

В. А. Драгинский, Л. П. Алексеева,  
С. В. Гетманцев

**КОАГУЛЯЦИЯ  
В ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ  
ПРИРОДНЫХ ВОД**

В. А. Драгинский, Л. П. Алексеева,  
С. В. Гетманцев

# КОАГУЛЯЦИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ ВОД

Москва 2005

УДК 628.1  
Д 72

*Драгинский В. Л., Алексеева Л. П., Гетманцев С. В.*

Д 72 Коагуляция в технологии очистки природных вод:

Науч. изд. — М., 2005. — 576 с., 75 табл., 147 ил., библиогр.  
362 назв.

ISBN 5-9900481-1-4

Книга посвящена проблемам очистки природных вод коагулянтами и флокулянтами. В ней систематизированы исследования, выполненные в последние годы в этой области. Приведены характеристики коагулянтов и флокулянтов; рассмотрено их производство в России и за рубежом, изложена технология промышленного получения и показаны тенденции применения различных реагентов.

Дано описание современных сооружений коагуляционной очистки воды и осветления на очистных сооружениях с указанием возможных методов их усовершенствования. Намечены основные направления повышения эффективности и интенсификации коагуляционной обработки воды.

Один из разделов посвящен эффективности применения различных реагентов на основании экспериментальных исследований и рассмотрен производственный опыт применения новых реагентов на водопроводных станциях России.

Книга рассчитана на научных работников и специалистов, работающих в области проектирования, наладки и эксплуатации водопроводных очистных сооружений; может быть полезна студентам вузов.

УДК 628.1

© Драгинский В. Л., Алексеева Л. П.,  
Гетманцев С. В., 2005

## Введение

Одним из важнейших факторов национальной безопасности любой страны является обеспечение населения питьевой водой.

Питьевая вода — необходимый элемент жизнеобеспечения населения, ибо от ее качества, количества и бесперебойной подачи зависят состояние здоровья людей, уровень их санитарно-эпидемиологического благополучия, степень благоустройства жилищного фонда и городской среды, стабильность работы коммунально-бытовой сферы.

В настоящее время в Российской Федерации централизованные системы водоснабжения имеют более тысячи городов (99 % от общего количества городов) и около 2000 поселков городского типа (81 %). Мощность водопроводов достигла в настоящее время примерно 102,5 млн м<sup>3</sup>/сут, в том числе коммунальных — 53,1 млн м<sup>3</sup>/сут.

Источниками централизованного водоснабжения служат поверхностные воды, доля которых в общем объеме водозабора составляет 68 %, и подземные воды — 32 %.

Необходимо отметить, что практически все поверхностные источники водоснабжения в последние годы подверглись существенному воздействию вредных антропогенных факторов. Особенно тяжелое положение с загрязнением поверхностных водисточников отмечается в Архангельской, Кемеровской, Калининградской, Томской, Тюменской областях, Приморском крае и др.

В последние годы заметно прогрессируют загрязнения и подземных вод, которые проникают со сточными и производственными водами в водоносные горизонты.

В настоящее время около 90 % поверхностной и не менее 30 % подземной воды подвергается обработке с удалением избыточных примесей. Поверхностная вода в основном проходит традиционную двухступенную очистку с отстаиванием и осветлением в слое взвешенного осадка и скорым фильтрованием; часть воды обрабатывается по одноступенной схеме на контактных осветлителях.

Основным технологическим приемом удаления из воды грубодисперсных примесей, находящихся во взвешенном состоянии, и коллоидных органических загрязнений, присутствующих в воде в растворенном виде, является процесс *коагуляции* за счет введения в воду *коагулянтов*.

В процессе коагуляционной очистки воды на 90—99 % удаляются различные микробиологические загрязнения. Эффективность их удаления зависит от глубины очистки воды по мутности, цветности и перманганатной окисляемости.

Важной особенностью коагулирования является также то, что в зависимости от условий проведения процесса определяются эффективность дальнейшего осветления и очистки воды на сооружениях первой ступени и фильтровальных сооружениях и в конечном итоге — качество питьевой воды.

Из-за повышенного загрязнения водоисточников традиционно применяемые технологии обработки воды стали в большинстве случаев недостаточно эффективными. Нормальной работе водоочистных сооружений препятствуют участвовавшие в последние годы случаи непредвиденного ухудшения качества воды вследствие аварийных ситуаций и сброса в водоемы жидкостей, содержащих повышенные концентрации загрязнений.

Действующие очистные сооружения в этих условиях не могут обеспечить надлежащего удаления из воды химических загрязнений.

Вследствие неудовлетворительного санитарного состояния, главным образом, поверхностных водоисточников, на

которых базируются водопроводы, обслуживающие почти две трети населения России, складывается напряженная ситуация с обеспечением населения водой питьевого качества [1].

По данным Госсанэпиднадзора России [2—4], качество питьевой воды, производимой коммунальными и ведомственными водопроводами, продолжает оставаться неудовлетворительным. По данным 1997 г., каждая пятая проба питьевой воды не отвечала гигиеническим требованиям: по санитарно-химическим показателям — 20,05 %, из которых 2,12 % содержали химические вещества в количестве, превышающем предельно допустимые концентрации, и представляли собой токсическую опасность; по микробиологическим показателям — 10,3 %, из которых около 5 % — эпидемиологическую опасность.

Основными причинами сложившегося тяжелого положения на большинстве существующих водопроводных станций, помимо продолжающегося загрязнения водоисточников, являются следующие.

1. Принятая схема очистки зачастую не соответствует качеству воды водоисточника. Так, для осветления маломутных цветных вод после обработки коагулянтам достаточно часто применяют отстойники или осветлители со взвешенным осадком, в которых отстаивания воды не происходит, а взвешенный слой не образуется. В таких случаях только за счет совершенствования реагентной обработки воды не всегда удается исправить ситуацию.

Другим примером являются случаи, когда контактное осветление эксплуатируется в условиях периодического повышения мутности воды — в паводки (весной и осенью) или в период дождей — до 200 мг/л. Или медленные фильтры используются для очистки воды водоисточника, имеющего цветность воды 60—80 град. В таких случаях прежде всего необходима реконструкция очистных сооружений с устройством второй ступени очистки, и только после этого можно говорить о поиске оптимальных режимов реагентной очистки и эффективных коагулянтов.



2. Поскольку многие станции построены в 50—60-е годы прошлого века, то техническое состояние их крайне неудовлетворительное, а износ сетей и сооружений водоснабжения превышает порой 50 %. Арматура и трубопроводы находятся в аварийном состоянии, и процент неучтенных расходов и утечек превышает допустимые нормы.

3. Строительное состояние зданий, техническое состояние резервуаров реагентного хозяйства и конструкций очистных сооружений таково, что требуются серьезные меры по их улучшению.

4. Эксплуатация очистных сооружений не всегда производится квалифицированно, что приводит к нарушению технологических процессов очистки воды, в том числе и ее реагентной обработки.

5. В ряде случаев отсутствуют системы автоматического контроля и поддержания процесса очистки в заданном режиме.

Это были высказаны, возможно, общеизвестные истины, но без их учета и преодоления указанных недостатков говорить о совершенствовании только одного из этапов — реагентной обработки воды, не принимая во внимание остальное, практически бесполезно.

Вместе с тем, независимо ни от каких факторов, технологическая схема и состав очистных сооружений на существующих водопроводных станциях (и особенно вновь строящихся) должны обеспечивать следующее:

- нормативные требования качества питьевой воды при изменении качества исходной воды в течение всего года, в том числе и при наличии антропогенных загрязнений, присутствующих постоянно или вызванных кратковременными аварийными ситуациями;

- высокую степень обеззараживания воды при наличии в исходной воде различных микробиологических загрязнений;

- исключение сброса промывных вод и осадков в водоемы и устройство на станциях систем обработки промывных вод фильтров и их повторного использования, а также обработки и утилизации осадков;

- необходимую степень очистки и обеззараживания воды не только на выходе со станции, но и с учетом ее транспортирования в разводящей водопроводной сети.

Решению этих задач, стоящих перед водопроводными станциями, по нашему мнению, должны предшествовать обследование и оценка работы водоочистных сооружений и их отдельных элементов, что включает в себя следующие этапы:

- анализ и оценка качества воды водоисточника и очищенной воды на основании данных лабораторий организаций водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ), территориальных органов Госсанэпиднадзора Минздрава России, независимых лабораторий и др.;

- оценка эффективности очистки воды по отношению ко всем нормируемым показателям, в том числе специфическим загрязнениям, имеющимся в воде водоисточника. В случае отсутствия данных и технологических решений по удалению специфических загрязнений они должны быть определены в процессе эксплуатации сооружений, а также должна быть предложена технология их удаления при существующей схеме очистки воды;

- обработка технологического режима очистки воды и составление технологических карт по отдельным процессам и сооружениям, в которых указываются: дозы реагентов (коагулянта, хлора, флокулянта и других реагентов, применяемых на станции), продолжительность отстаивания, фактические скорости фильтрации, интенсивность и периодичность промывок фильтрующей загрузки, периодичность удаления осадка из отстойника и пр.;

- анализ работы разводящей водопроводной сети города в отношении сохранения качества и безопасности питьевой воды при ее транспортировании по наружным коммуникациям;

- при невозможности эффективной очистки воды на станции проведение технологических исследований по со-

вершенствованию реагентной обработки воды (выбор коагулянтов и флокулянтов, определение их доз, порядок введения в обрабатываемую воду) и по основным технологическим процессам и методам очистки воды, принятым на станции. По результатам этой работы подготавливаются предложения и рекомендации по применению новых реагентов, переоборудованию или реконструкции отдельных сооружений, а также по применению новых технологических методов очистки воды, внедрение которых позволит во всех случаях обеспечить выполнение требований СанПиН;

• и, наконец, завершающий этап — применение в реальных условиях водопроводной станции принятых решений по модернизации отдельных или всех вместе этапов очистки воды.

Намечаемые в рамках предлагаемой работы мероприятия могут не только привести к улучшению процессов коагуляции и хлопьеобразования, осаждения и фильтрования, т. е. к повышению глубины очистки воды по основным показателям, но и обеспечить надежную и эффективную очистку воды на станции в любых условиях.

Хотелось бы еще раз отметить, что выбор технологии и режима реагентной обработки воды, так же как и методов ее осветления, определяется только качеством и свойствами природной воды. Однако режимы обработки воды коагулянтами и флокулянтами должны приниматься не на основе данных физико-химических анализов исходной воды, а на основании результатов экспериментальной проверки различных реагентов в процессах осветления и фильтрования. Только такой комплексный подход может гарантировать получение в конечном итоге высококачественной питьевой воды.

Остановимся кратко на истории развития коагуляции в мировой практике. Приведенная ниже историческая справка, взятая из монографии Е. Д. Бабенкова [5], достаточно подробна, так как дает четкую характеристику вопроса.

История применения коагулянтов для очистки воды берет начало в Древнем Египте, где еще в XVI в. до

нашей эры в качестве коагулянта использовали сок сладкого миндаля. Коагулирующие свойства алюмокалиевых квасцов были известны египтянам, римлянам, грекам. В Европе квасцы начали применять только в середине XVIII в. И относились к ним довольно долго с опасениями, о чем свидетельствует запись Дельвига в первом русском руководстве по водоснабжению: «Нельзя не осуждать всякого очищения, которое вводит в химический состав воды новое вещество, прежде в ней не заключающееся. По этой причине, а равно и по ценности квасцов способ очищения ими весьма редок и может быть употреблен только при малом количестве воды».

Первые эксперименты по использованию сернокислого алюминия проведены в 1827 г. В 1884 г. американец Хайят получил патент на очистку воды фильтрами с предварительной обработкой воды сернокислым алюминием. В 1865—1872 гг. рекомендованы для практического использования соли окисного железа.

Систематическое использование сульфатов алюминия и железа в практике очистки воды началось в 80—90-х годах прошлого столетия. В это же время проведено изучение технологических возможностей коагулирования, опубликованы сообщения об использовании коагулянтов при очистке торфяных и сточных вод.

По данным П. И. Пискунова, в России приоритет в очистке воды коагулянтами принадлежит И. О. Плятсу. В 1886 г. Зембицкий предложил использовать для подготовки питьевой воды хлорное железо, а первые исследования эффективности этого коагулянта провел в конце века Бунге. К этому времени полностью или частично 29 городских водопроводов работали на воде поверхностных источников, а на семи из них (города Гельсингфорс, Тифлис, Нижний Новгород, Двинск, Ново-черкасск, Нахичевань, Владимир) применяли коагулирование.

В начале XX в. после применения в практике водоснабжения скорых («американских») фильтров взамен широко применяемых ранее медленных («английских») началось повсеместное использование коагулянтов.

В 1937 г. Д. Бэйлис предложил использовать в качестве флокулянта активную кремнекислоту, а начиная с 50-х годов в практику очистки воды входят органические флокулянты.

В связи с ростом населения, бурным развитием всех отраслей промышленности объемы подготовки воды в целях хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения неизменно росли и масштабы применения реагентов также увеличивались.

Были периоды, когда в стране испытывался дефицит коагулянта, и мощностей Войковского химического завода, являющегося крупнейшим поставщиком реагентов, не хватало на обеспечение растущей в них потребности. В дальнейшем завод (в настоящее время ОАО «АУРАТ») начал выпускать коагулянты различных видов и в значительно больших количествах, что позволило снять основную напряженность. Кроме того, в стране появились предприятия небольшой производительности, что в целом обеспечивает отрасль коммунального и промышленного водоснабжения реагентами.

Расширение номенклатуры реагентов и повышение их потребности в стране и в мире на водоочистных станциях диктуются и постоянным повышением требований к качеству питьевой воды, которое нормируется отечественными документами (СанПиН 2.1.4.1074—01), а также зарубежными стандартами (в частности «Директивой Совета Европейского Союза 98/83/ЕС по качеству воды, предназначенной для потребления человеком», национальными нормативами различных государств и пр.). Планируется к выходу Федеральный закон — специальный технический регламент «О питьевой воде и питьевом водоснабжении».

Кроме того, за последние годы значительно расширилось применение коагулянтов при очистке коммунальных и промышленных сточных вод, при обработке и утилизации

осадков. Поэтому и до настоящего времени вопросы производства реагентов, интенсификации, совершенствования и повышения эффективности процесса коагуляции являются весьма актуальными.

На сегодняшний день многие специалисты институтов и предприятий ВКХ занимаются поиском новых реагентов, отработкой технологии по применению и внедрению наиболее эффективных реагентов в практику очистки природных и сточных вод. В связи с этим представляется полезным выпуск материала, в котором было бы раскрыто современное состояние вопросов производства реагентов, систематизированы результаты исследований, проведенных в последние годы, и дан практический опыт использования реагентов на предприятиях водопроводного хозяйства страны.

Подготовка этой книги была осуществлена авторами на основании рассмотрения выполненных в последние годы работ по производству коагулянтов и флокулянтов в России и за рубежом, видов реагентов и их характеристик и тенденций применения различных реагентов при очистке природных и сточных вод.

Был собран, обработан и проанализирован большой объем материалов по технологическим аспектам применения реагентов в технологии очистки природных (поверхностных и подземных) вод, результатам исследований различных видов коагулянтов и флокулянтов. Представлены производственный опыт и перспективы применения новых реагентов на водопроводных станциях России.

В книге даны также результаты многолетних исследований авторов на различных водоемностях России повышения эффективности коагуляционной обработки воды за счет применения различных технологических и технических методов.

Совершенствование технологических процессов и методов повышения эффективности реагентной обработки воды было бы невозможно без теории коагуляции и флокуляции, в разработку которой громадный вклад внесли советские ученые П. А. Ребиндер, Б. В. Дерягин и др. В дальнейшем



развитие идей коллоидной и физической химии, разработку научных основ коагуляционной очистки и их применения в процессах очистки природных и сточных вод продолжали в нашей стране советские ученые И. Э. Апельцин, Е. Д. Бабенков, Ю. И. Вейцер, И. Т. Гороновский, А. А. Кастальский, В. А. Клячко, В. П. Криштул, Л. А. Кульский, Е. Ф. Кургаев, О. И. Мартынова, Д. М. Минц, В. Т. Турчинович, С. А. Шуберт, С. В. Яковлев и др. [5—13, 36].

В создание, синтез и разработку новых коагулянтов и флокулянтов большой вклад внесли О. Г. Ананьев, А. А. Баран, Л. А. Бондарь, В. С. Гетманцев, Э. Б. Гитис, А. К. Запольский, Ю. К. Кисиль, А. И. и Ю. А. Лайнер, Э. А. Левицкий, В. И. Маркизов, В. А. Резниченко, В. С. Сажин, Л. М. Сурова, К. В. Ткачев, А. П. Шутько.

*Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории технологии очистки природных вод НИИ КВОВ и специалистам ОАО «АУРАТ», включая дочерние региональные предприятия, за участие в выполнении работ и помощь при подготовке и оформлении книги.*

## Глава 1. Характеристика загрязнений природных вод примесями естественного и антропогенного происхождения

### 1.1. Загрязнения естественного происхождения

**Поверхностные водоисточники.** Качество воды поверхностных водоисточников России характеризуется различным физико-химическим составом. Однако условно можно выделить некоторые водоисточники или регионы, имеющие общий характер природных загрязнений. В табл. 1.1 представлены данные по качеству воды некоторых поверхностных водоисточников. В ней даны основные показатели: цветность, мутность, перманганатная окисляемость (ПО), кроме того, указаны значения химического потребления кислорода (ХПК) и концентрация нефтепродуктов, которые обнаруживаются практически во всех источниках водоснабжения.

Основная водная артерия европейской части — р. Волга имеет в среднем небольшую цветность — от 24 до 40 град, малую мутность — от 0,6 до 5 мг/л. Эти показатели повышаются в период весеннего паводка соответственно до величин 55—90 град и 12—38 мг/л.

Перманганатная окисляемость и величина ХПК составляют соответственно от 5 до 12 мгО<sub>2</sub>/л (в период паводка до 15—17 мгО<sub>2</sub>/л) и 15—24 мгО<sub>2</sub>/л (в период паводка до 30—50 мгО<sub>2</sub>/л). Величина этих показателей зависит в основном от содержания в воде органических загрязнений природного происхождения.

Качество воды ряда поверхностных водосточников основных регионов России

Река	Город	Цветность, град	Мутность, мг/л	ПО, мгО <sub>2</sub> /л	ХПК, мгО <sub>2</sub> /л	Нефте- продукты, мг/л
Волга	Рыбинск	32—40 47	0,6—3,1 12,4	8—11,5 15	22—32 56	0
	Ярославль	33—39 50	1,7—4,3 6	11—12 13	20—27 32	0,2—0,4 0,8
	Кострома	27—43 53	1—15,5 20,5	8—14 17		0,1
	Жигулевск	18—25 48	0—1,1 1,6	4,5—8,6 11		
	Казань	25—50 90	0,7—4,5 38	5—8 12		0,001—0,014 0,035
	Камышин	20—30 35	0,3—3,6 4,5	4,2—7,1 7,8		
	Н. Новгород	45—60 70	1,5—6 11	9,8—13 17	20—24 29	0,008 0,017
	Кстово	30—40 52	0,8—4,6 10	6—10 14		0,6—0,8
	Новочебоксарск	23—39 55	0,9—3 7,7	6,4—8,9 11	15—30 38	0,005—0,04 0,07

Волга	Самара	18—35 55	0,5—2 6	5,5—7 9	15	0,006—0,16
	Саратов	20—40 50	0,5—3,6 6	6—9 10		1,8
	Энгельс	25—40	0,2—2,6	4,5—7,8		
	Астрахань	24—27 32	1,1—7,3 23	4,9—8,3 11		0,01—0,04
	Калуга	6—14 До 30	1—18 До 60	3—7 12	20—40 До 86	
	Рязань	20—30	3—8 25	3—7 11	30—50 70	0,07—0,5
	Тула	8—40 До 70	1—10 23	3—6 14	10—30 До 80	0,5—1,0 До 2,5
	Н. Новгород	18—31 52	2,1—10 37	5—9 13	13,5—29 35	0,007 0,018
	Котгорськ	13—34 48	3,3—12 18	8—9,5 11	12—22 27	0—0,2 0,4
	Клязьма	30—100	5—19	3—16		0,3—1,5
Водохранилища						
Угличское	Дубна	70—86	6—7,9	13—15,1		0,19—0,3
Волгоградское	Камышин	60—65	9,8—12	12,5		
Куйбышевское	Нижекамск	50—75	9,5—11	9—11		

Река	Город	Цветность, град	Мутность, мг/л	ПО, мгО <sub>2</sub> /л	ХПК, мгО <sub>2</sub> /л	Нефте- продукты, мг/л
Кама	Ижевск	20	0,5—2	9—11		
		50	5	13,5		
	Набережные Челны	21—34	0,8—14	4,4—6	12,3	0,02
		57	187	7,9	29	0,4
	Нижнекамск	20	1—4	4—6		До 0,5
		20				
Пруд	Альметьевск	0,6—3	5	3—5		0,02
		25	25			
	Нефтекамск		3—11	7,5—10		0,4
			0,4—2	7—9		0,2—0,26
Камбарка	Камбарка	15—45	7	13		
		70				
Северная Двина	Архангельск	5—15	1,3—10	3,3—4	20	0,25
		20	41	10,3	40	0,7
Вологда	Вологда	30—60	1—5	14—20	18—34	
		120	25	28	44	
Шексна	Череповец	13—53	0,6—3,6	1,6—11	14,8—40	0—0,15
		140	19,6	До 40	64	0,45
Ипуть	Клинцы	40—60	1,6—4	9—11,3	19,4—24	0,3
		93	13,5	14,4	До 30	0,4
		35—60	1—4	10—15		
		До 100	10	20		

Лежа	Грязовец	10—20	0,1—5	1,5—12		
Западная Двина	Западная Двина	До 80	8,6	До 21		
		50—200	0,5—1,5	10—18		
Ветлуга	Шарья	220	8	22		
		69—80	1,9—10	2—5		
Волхов	Волхов	267	36	До 16		
		50—140	1,3—12	11—20		
Оз. Краснохолм- ское	Выборг	260	25	34		До 0,45
		90—250	1,4—3,5	6,3—20		
Тихвинка	Тихвин	330	6,1	28		
		41—123	1—5	5,3—12,7	15—27	
Ловать	Великие Луки	250	25,5	21	40	
		57—187	1,5—5,2	11,5—20,3	20—34	0,05—0,17
Нерль	Владимир	До 300	10,7	24	До 72	До 0,35
		20,7—31,7	0,8—9	4—8,6		
Великая	Псков	До 80	12	13		
		45—180	0,6—6	6—24		
Кубань	Армавир	200	16	38		
		5,14		1,6—3		0,02—0,05
	Анапа	20	430	24		0,34
			12—275	1,4—6		
	Кисловодск		104	7,6		
		1—3	0,4—1,2	0,8—2,06	0,6—1,5	
		441		6,48	13,1	



Река	Город	Цветность, град	Мутность, мг/л	ПО, мгО <sub>2</sub> /л	ХПК, мгО <sub>2</sub> /л	Нефте- продукты, мг/л
Дон	Ростов-на-Дону	11—15 20	2—9 18	1,6—2,9 5	9,5—18 31	0,005 0,07
	Таганрог	12—21 44	1—15 25	3,3—5 8	60	
Миус	Таганрог	23—39 55	2—15 26	3,4—4,5 7,8		
	Пенза	10—13 20	1,2—6 10,5	3,5—5 10		
Сура	Саранск	20—40 30	6—15 400	5—10 21	19—40 142	0,5—2,2 1,4
	Екатеринбург	17—26 37	1—3 6	3,7—8 13	13—24 33	0,015—0,043 0,1
Пруд	Екатеринбург	21—36 50	0,5—1,5 2,7	6—9 14	24—28 33	0,02—0,3 3
	Екатеринбург	7—12 16	0,6—2,4 3,6	3—5 9	18—26 31	0,01—0,05 0,08
Большая Инга	Инга	0—110 117	0,01—1,9 2,4	1—5,3 23	5,2—18 37	0,05—0,1 0,11
	Кирово-Чепецк	15—70 150	1,5—35 90	2,6—6 10		

Черноисточинское водохранилище	Н. Тагил	21—38 48	1,1—2,2 3,4	4,9—6,8 9,6	14,4 22,7	
	Н. Тагил	30—45 65	0,5—1,74 2,35	4,8—7 11	14—24 30	
Волчихинское водохранилище	Ревда	38—55 82	0,8—3 16	4—6 8	9—21 34	0,04 0,28
	Сатка	40 100	2	10		
Вычегда	Сыктывкар	24—80 138	1—8 22	2,9—19 34	8,8—33 84	0—0,23 0,37
	Троицк	10—50 220	0,2—5	3—5 15		0,01—0,1
Уфимка	Уфа	20—37	100—150	5—8		0,9—3,5
	Братское водо- охранилище	1—8 12	0—0,2 0,45	1,2—1,5 2		0,03—0,2 0,55
Бердь	Бердск	2—20	2—6 70	1—8 9,3		
	Искитим	5—10 45	0,5—1,8 199	2,9—4,3 12,6		0,98
Кан	Канск	5—50 144	0,1—0,3 8,17	1—4 22		0,06—0,21
	Красноярск	9 20	0,6—2 5	1,7—3		0,17—0,5

Река	Город	Цветность, град	Мутность, мг/л	ПО, $\text{мгO}_2/\text{л}$	ХПК, $\text{мгO}_2/\text{л}$	Нефте-продукты, мг/л
Иртыш	Омск			1,7—3,2 6,6		0,04—0,1 0,31
		Тобольск	11—67 160	3,1—19 76		
Томь	Томск	10—60	18—25 207	2—11	6—35	0,3
		Кемерово	6—8 До 90	0,3—57 150	10—20 40	10—30 50
	Новокузнецк	1—12 40	0—60 170			0,5
Ручей	П. Камчатский	2—20 210	0,1—2 14	3—7		
Амур	Хабаровск	12—44 60	2—4 100	5,4—6,3 14	14,7—30	0,008—0,055
	Назарово	10—58 580	1,0—8,5 60			
Чулым	Ачинск	16—65 600	1,4—10 66			
	Боготол	18—73 740	2,0—15 82			

Примечание. В числителе дан диапазон значений в течение года, в знаменателе — в период весеннего паводка.

Притоки Волги — реки Ока и Кама имеют примерно такие же показатели ПО, а значения величины ХПК достигают 70—86  $\text{мгO}_2/\text{л}$ , что свидетельствует уже о наличии антропогенных загрязнений.

Реки северных регионов (Северная Двина, Вологда, Ипуть и др.) имеют цветность порядка 60 град, повышающуюся в период паводка и летний период до 260—330 град. Показатель ПО этих вод изменяется в пределах от 14 до 30  $\text{мгO}_2/\text{л}$ .

Для рек северо-западного региона (реки Волхов, Тихвинка, Шексна, Ловать, Великая и др.) характерны высокая цветность — до 200—330 град и показатель ПО, достигающий 24—40  $\text{мгO}_2/\text{л}$ . Мутность воды рек северо-запада и северной части характеризуется небольшими значениями — от 1 до 25 мг/л в паводок.

Реки южного региона России имеют небольшую цветность — обычно 20—50 град и повышенную мутность, достигающую, например, в р. Кубани — 400 мг/л.

Водоисточники Урала и Приуралья (реки, пруды, озера, водохранилища) обладают в обычное время цветностью от 10 до 50 град, повышающуюся в период паводка иногда до 150—220 град. Мутность этих вод находится на небольшом уровне — 0,8—8 мг/л.

Реки Сибири (Бердь, Кан, Енисей, Иртыш) характеризуются цветностью 5—60 град (в паводок 140—160 град) и небольшой мутностью 0,1—20 мг/л (в паводок до 80—210 мг/л).

На территории Кузбасса главным источником водоснабжения являются р. Томь и ее притоки. Качество воды существенно изменяется в течение года. Так, минимальные значения мутности отмечаются зимой (0,2 мг/л) и максимальные — во время весеннего паводка (до 150 мг/л), а цветность от 4 град зимой до 120 град в период весеннего паводка.

И, наконец, для рек Дальнего Востока характерны цветность в пределах от 2 до 200 град и мутность — от 2 до 100 мг/л.

Таким образом, очевидно, что для очистки таких вод требуются различные условия реагентной обработки (подбор оптимальных видов реагентов и доз, наиболее эффективных для каждой конкретной воды) и разные технологические схемы очистки.

**Подземные водоисточники.** Подземные воды по составу загрязнений можно разделить на несколько основных групп:

- содержащие железо;
- содержащие железо и марганец;
- содержащие железо и газы (углекислоту и сероводород);
- с повышенным солесодержанием;
- с повышенным содержанием органических загрязнений (высокой цветности, фенолов, нефтепродуктов и др.) и наличием мутности;

одновременное присутствие в воде железа, повышенной минерализации, солей жесткости и органических загрязнений.

На основании анализа имеющихся данных по содержанию железа в подземных водах было установлено, что около 50 % подземных вод России имеют содержание железа на уровне до 0,3 мг/л. Эти воды не требуют дополнительной очистки и обезжелезивания и могут быть использованы в системах хозяйственно-питьевого водоснабжения лишь с обеззараживанием воды. Однако ряд подземных водоисточников имеют повышенное содержание природных органических загрязнений, вызванных наличием на большой глубине торфяников, чем объясняется высокая цветность воды. Так, например, подземные воды г. Приморско-Ахтарска (Краснодарский край) характеризуются цветностью около 240 град на протяжении всего года, перманганатной окисляемостью 12—22 мгО<sub>2</sub>/л при практически полном отсутствии мутности воды. Некоторые подземные воды Ростовской области имеют цветность, изменяющуюся на ряде объектов от 100 до 600 град. Многие подземные воды Республики Саха-Якутия также характеризуются высокой цветностью, например, в пос. Намцы цветность воды отмечается на уровне до 1500 град.

## 1.2. Загрязнения антропогенного происхождения

Весьма тяжелое положение сложилось в ряде областей страны, некоторые из них признаны регионами с чрезвычайной экологической ситуацией. Это прежде всего — Кузбасс, Архангельская область и др.

Химический состав воды р. Томи формируется под влиянием загрязняющих веществ, поступающих со сточными водами предприятий угольной, химической, лесной, деревообрабатывающей промышленности, предприятий сельского хозяйства и др., а также за счет выбросов в атмосферу загрязняющих веществ предприятиями. Так, в р. Томи постоянно обнаруживаются химические вещества (фенолы, нефтепродукты — рис. 1.1, хлорорганические соединения и др.) и соединения 1—2-го классов опасности, обладающие эффектом суммации по санитарно-токсикологическому признаку. По данным наблюдений ЦГСЭН (г. Кемерово), качество воды открытого водоисточника в местах водозаборов до 73 % случаев не соответствует гигиеническим нормативам.

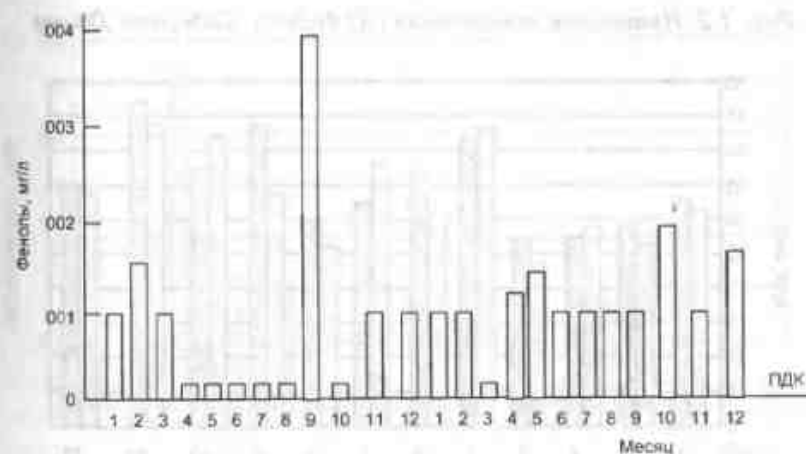


Рис. 1.1. Изменение концентрации фенолов воды р. Томи

Г. Архангельск (р. Северная Двина) находится в зоне влияния Архангельского целлюлозно-бумажного комбината

(ЦБК), и в речной воде постоянно определяются нефтепродукты, лигносульфаты, отмечаются высокие значения ПО (до 28 мгО<sub>2</sub>/л и ХПК (до 47 мгО<sub>2</sub>/л) (рис. 1.2 и 1.3).

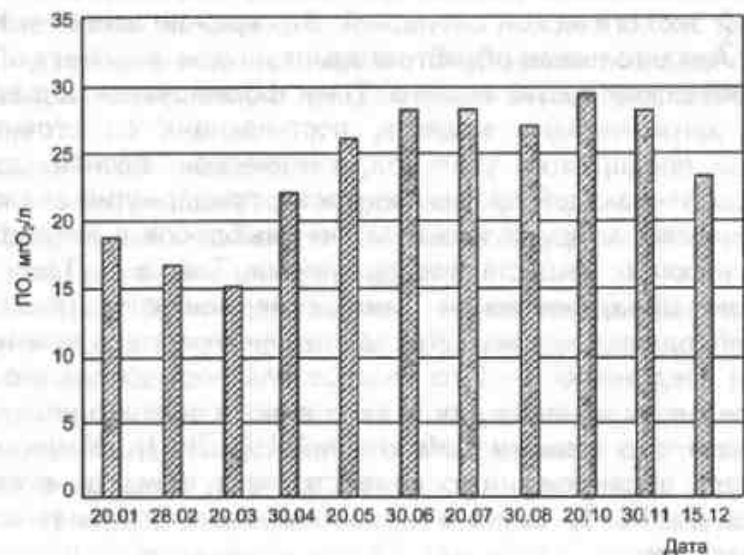


Рис. 1.2. Изменение показателя ПО воды р. Северной Двины

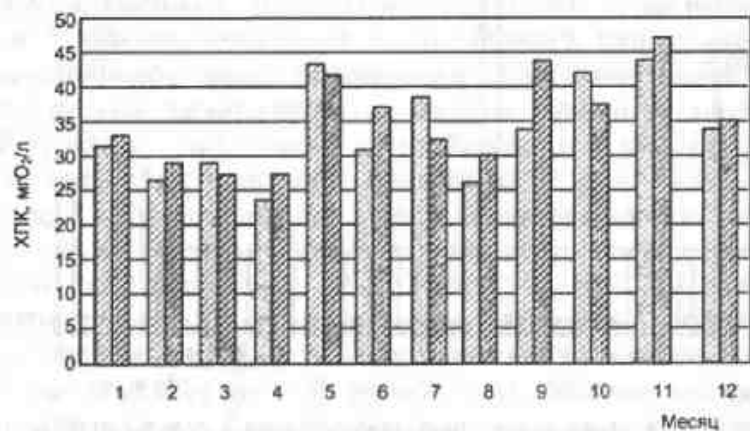


Рис. 1.3. Изменение значений показателя ХПК в воде в р. Северной Двине (в разные годы)

Весьма неблагоприятным является санитарное состояние р. Камы и Нижнекамского водохранилища (города Ижевск, Пермь, Нижнекамск).

В воде р. Волги, ее притоков и водохранилищ в последние годы отмечается в отдельные периоды наличие повышенных концентраций нефтепродуктов (рис. 1.4), фенолов, ионов тяжелых металлов.

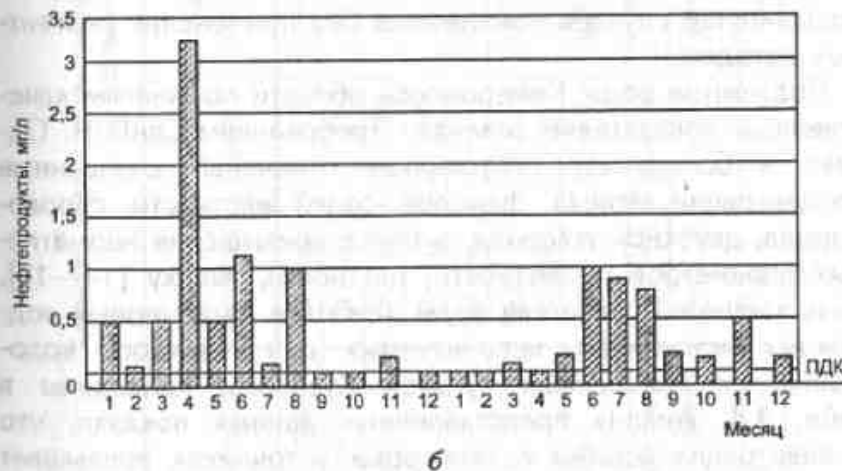
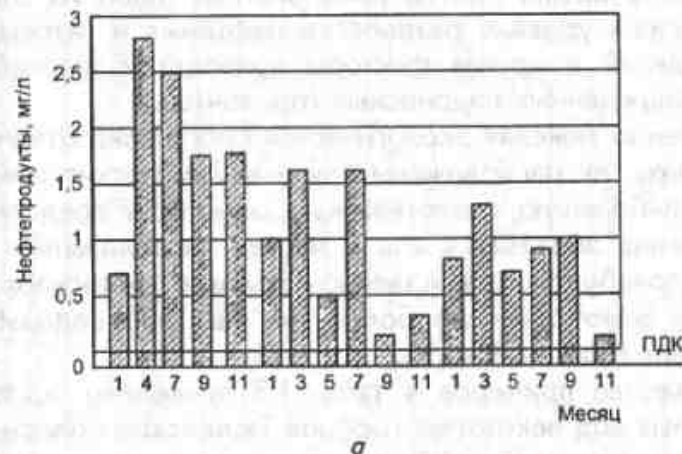


Рис. 1.4. Изменение концентрации нефтепродуктов в воде:  
а — р. Ока, район тульского водозабора;  
б — р. Которосль, г. Ярославль



В табл. 1.2 представлены данные по некоторым водоемам, имеющим повышенные концентрации органических загрязнений.

Подземные воды также подвержены антропогенному воздействию различными химическими загрязнениями. Сброс технологических стоков отдельных производств на рельеф или в водоемы, плохая организация городских очистных сооружений или на предприятиях (либо их отсутствие), низкий уровень разработки нефтяных и газовых месторождений и другие факторы приводят к загрязнению слабо защищенных водоносных горизонтов.

Особенно тяжелая экологическая обстановка отмечается в районах, где расположены крупные химические предприятия. Наибольшую экологическую опасность представляет загрязнение подземных вод в местах расположения крупных водозаборов хозяйственно-питьевого водоснабжения, которое было отмечено более чем на 1000 водозаборов различных городов России.

В качестве примеров в табл. 1.3 приведено состояние подземных вод некоторых городов Тюменской области.

Как видно из табл. 1.3, очистка воды такого качества в большинстве случаев невозможна без применения реагентных методов.

Подземные воды Кемеровской области по многим качественным показателям отвечают требованиям СанПиН. Однако в большинстве источников отмечены повышенные концентрации железа, фенолов, солей жесткости, сероводорода, двуокиси углерода, а также превышение нормативных параметров по мутности, цветности, запаху [14—18]. Качественные показатели воды наиболее характерных подземных источников, используемых для питьевого водоснабжения населенных пунктов Кузбасса, приведены в табл. 1.4. Анализ представленных данных показал, что концентрация железа в некоторых источниках превышает нормативные показатели в 2,5—30 раз, по марганцу в 2—15 раз, по фенолу до 20 раз, по жесткости более чем в 2 раза и т. д.

Таблица 1.2

Качество воды водоемчиков (рек) с повышенным содержанием органических загрязнений

Параметры	Волга (Балазна)	Ока (Тула)	Клязьма (Владимир)	Которосль (Ярославль)	Дон (Таганрог)	Кондома (Калтан)	Томь (Кемерово)	Сев. Двина (Архан- гельск)
Цветность, град	40—70	15—70	50—100	12—80	40—70	17—310	6—65	30—120
Мутность, мг/л	2—18	3—20	5—19	2—30	1—20	0—9	0,3—57	2—25
ПО, мгО <sub>2</sub> /л	14—17	4,5—19	3—16	7—15	5—12	1,5—15	1,5—10	15—30
ХПК, мг/л	75—90	30—80	15—52	5—50	48—60	1—10	1,5—94	15—44
БПК <sub>5</sub> , мг/л	1,0—4,2	1—10	2—4,6	0,7—3,8	3,5—6	0,7—3,8	—	1,6—5,4
Фенолы, мг/л	0,001— 0,008	0,001— 0,008	0,001— 0,009	0,001— 0,003	0,001— 0,022	0,001— 0,006	0,001— 0,008	0,001— 0,003
Нефтепродук- ты, мг/л	0,6—1	0,2—2	0,3—2	0—3	0,1—1,1	0,2—0,7	0,1—0,6	—
Хлороформ, мкг/л	0,2—1,5	0—0,8	—	0—0,6	—	2—4,2	0,2—9	1,2—54
Пестициды, мкг/л	0—0,02	—	0,04—0,8	0,006— 0,024	0,001— 0,6	—	0—0,02	0,002— 0,067
Амины, мкг/л	—	—	—	0,05	—	—	0,2—2	—

Таблица 1.3

Качество подземных вод в некоторых городах Томенской области

Показатели	Мегион	Ханты-Мансийск	Нефте-юганск	Пыть-Ях	Ялуторовск	Салехард	
						городской водозабор	мыс Корчаги
Мутность, мг/л	0,8—3,4	3—10	0,8—2	<1	2—40	2—10	14—23
Цветность, град	200—400	30—37	36—64	70—130	25—50	5—90	10—40
Железо общее, мг/л	1,8—3,4	5—7	1,5—2	1,5—4	3—4	0,5—22	0,1—13
ПО, мгО <sub>2</sub> /л	5—14	4,8—4,9	4—5,8	10—16	2—4	1,2—5	1,4—14
Запах, баллы	2—3		0		До 3	2—3	2—3
Марганец, мг/л	0,01—0,03	0,2—0,3	0,015—0,03	<0,05	0,4—0,5	0,1—4	0,3—1,4
Нефтепродукты, мг/л	0,15—0,2		0,1	0,9—1,4		Н/о	0—4,9

Таблица 1.4

Качество подземных вод населенных пунктов Кузбасса

Месторождение	Качественные показатели									
	мутность	Fe <sub>общ.</sub>	Fe <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>			H <sub>2</sub> S	фенол	Fe <sup>+2</sup> Mg <sup>+2</sup>	Ж <sub>общ.</sub> , мг/л
				CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	Mn <sup>+2</sup>				
Г. Кемерово	1,0—1,8	0,3—1,2	0,1—0,8	0,1—0,3	30—50	0,01—0,6	0,001—0,005	1,0—2,7	4,5—6,2	
Р.п. Промыш- ленная	1,0—8,0	0,8—6,0	0,3—3,5	0,5—1,5	30—52	—	0,001—0,005	1,0—2,9	9,0—15,0	
Р.п. Яшкино	0,8—2,1	1,8—4,2	0,5—3,8	0,7—1,5	60—86	0,08—0,11	0,001—0,0056	0,7—2,5	6,5—8,2	
Р.п. Зеленогор- ский	0,3—1,6	0,5—1,3	0,4—1,1	0,1—0,15	—	—	0,01—0,02	4,0—7,3	6,0—6,5	
П. Карагайла	0,8—2,3	3,0—8,6	1,1—4,5	0,1—0,35	50—90	0,065—0,1	0,001—0,005	8—12,0	10,0—12,0	
Г. Мыски	0,6—1,8	0,6—1,5	0,3—1,2	0,1—0,3	—	—	0,001—0,002	3,0—4,0	6,3—7,0	



Таким образом, качественный анализ подземных вод Кузбасса показал, что основными соединениями, превышающими нормативы СанПиН, являются соли железа, марганца, фенол, сероводород. При этом отмечено присутствие двуокси углерода с концентрацией более 40 мг/л, что позволяет отнести их к водам, способным растворять железо и марганец. Особенностью подземных вод Кемеровской области является часто встречающееся соотношение концентраций железа (II) к марганцу (II) менее 3:1, что не позволяет традиционными методами получить требуемое качество очищенной воды. В некоторых водах, наряду с вышеуказанными соединениями, отмечено присутствие повышенных концентраций солей жесткости. В связи с изложенным для обеспечения населения качественной питьевой водой необходимо удалить избыточные концентрации присутствующих в ней загрязнений.

### 1.3. Микробиологические загрязнения

Главными гигиеническими требованиями к качеству питьевой воды являются гарантия ее безопасности в эпидемическом отношении, соответствие нормативам по микробиологическим и паразитологическим показателям, отсутствие в воде патогенных микроорганизмов. Это нормируется рядом документов [СанПиН, 19-21 и др.].

В качестве примера приведем микробиологические показатели ряда водоемисточников, в которых обнаруживаются клостридии и колифаги (табл. 1.5).

В частности, вода р. Которосли по общим бактериальным загрязнениям (коли-индекс и ОМЧ — общее микробное число) характеризуется как среднезагрязненная. В то же время в зимний период при контроле качества воды на патогенные бактериальные загрязнения отмечается постоянное присутствие колифагов, которые косвенно указывают на наличие в воде энтеровирусов. Группа энтеровирусов включает в себя разные по устойчивости к действию дезинфицирующих реагентов вирусы.

Таблица 1.5

Микробиологические показатели некоторых водоемисточников России

Река	Город	Клостридии, число спор в 20 мл	Колифаги, БОЕ в 100 мл	ОМЧ, число колоний в 1 мл	Коли-индекс, мг/л
Ловат	Великие Луки	1—12	1—2		
Ока	Калуга	12—76	4—16	45—390	100—5700
Ипуть	Клинцы	До 50	До 10		
Ока	Рязань			200—1000 2000	4—27000 180000
Волга	Рыбинск	0—4,5 12	0—26 220	4—56 700	300—14000 220000
Волга	Ярославль		60—90	34—110	2000—57000
Которосль	Ярославль		120—533	44—178 206	2000—51700 25800
Волга	Казань		1—16		
Волга	Н. Новгород	0—4 19	0—122 500	25—1500 215000	
Ока	Н. Новгород	0—14 37	0—356 3800	18—262 3000	
Кама	Ижевск	400	4500—5000	25—30 600—1000	
Пруд	Ижевск				

Примечание. В числителе дан диапазон значений в течение года, в знаменателе — в период весеннего паводка.

Традиционные технологические схемы водопроводных станций имеют стадию реагентного обеззараживания. Как правило, в качестве обеззараживающих реагентов используются хлор или его соединения: диоксид хлора, хлорная известь, гипохлорит натрия.

После того как было выявлено негативное влияние хлорированной водопроводной воды на здоровье человека и образование при хлорировании природной воды токсичных хлорорганических соединений [22, 23] и что дозу хлора для повышения эффективности обеззараживания воды приходится увеличивать, большее внимание стало уделяться другим методам обеззараживания, таким как озонирование, ультрафиолетовое облучение, использование мембран и др.

Значительная часть микроорганизмов, присутствующих в природной воде поверхностных водоемов, удаляется при очистке от взвешенных и растворенных веществ на стадиях коагуляции, осветления и фильтрации.

Необходимая степень очистки воды в отношении колифагов и энтеровирусов, обладающих относительно невысокой или умеренной устойчивостью к действию дезинфектантов, может быть достигнута при проведении глубокой очистки воды (по мутности и цветности) и использовании хлора в максимальных дозах, допустимых в питьевой воде согласно табл. 3 СанПиН 2.1.4.1074-01.

Если установлено, что источник водоснабжения загрязнен вирусом гепатита А или цистами лямблий, то в этом случае возникает необходимость применения специальных мер обеззараживания воды. Мировая практика показывает, что при снижении мутности водопроводной воды с 1 до 0,5 мг/л, число заболеваний населения вирусным гепатитом сокращается в 5 раз, а до 0,2 мг/л — в 10—12 раз [345].

Исследования, проведенные Ростовским областным центром санэпиднадзора, подтвердили факты отсутствия в воде вирусных загрязнений благодаря высокой степени осветления воды [24].

#### 1.4. Анализ качественных показателей природных вод и технологических схем очистки

Наряду с изучением данных по качеству воды водоемов был собран материал по принятым технологическим схемам очистки воды, эффективности работы водочистных станций и качеству очищенной воды примерно на 150 водоканалах городов России. В этом списке имеются около 30 областных и республиканских центров. В основном представлены характерные источники водоснабжения различных городов и основных регионов России.

Анализ данных, представленных на рис. 1.5, позволил определить необходимость реконструкции и модернизации водочистных станций при использовании поверхностных вод.

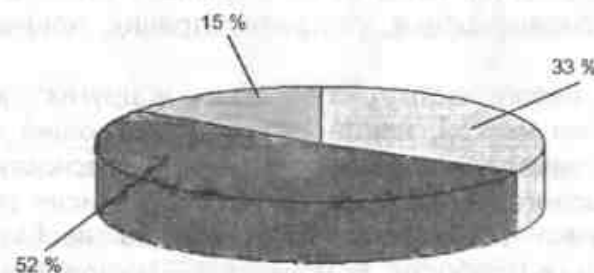


Рис. 1.5. Диаграмма необходимости совершенствования технологии очистки поверхностных вод на водопроводных станциях

1. При этом было установлено:

применение методов глубокой очистки воды от природных и антропогенных органических загрязнений, без которых существующими традиционными методами невозможно получить воду, отвечающую нормативным требованиям, требуется в 33 % случаев;

должна быть определена целесообразность применения озона, совершенствования реагентной обработки воды и технологической схемы очистки для повышения качества питьевой воды (52 %);

в 15 % случаев качество поверхностных вод — удовлетворительное по величине основных показателей: мутности, цветности и окисляемости и не имеется антропогенных и повышенных значений микробиологических загрязнений. На этих станциях нет необходимости применять дополнительные методы для глубокой очистки воды.

2. Вместе с тем практически на всех рассмотренных объектах требуется совершенствование технологической схемы очистки воды за счет повышения эффективности процессов реагентной обработки, обеззараживания воды или изменения конструкции отдельных элементов очистных сооружений и соответствующей реконструкции водоочистных станций.

3. Естественно, наиболее серьезная реконструкция и новое капитальное строительство потребуются в тех городах, где необходимо применение специальных методов очистки, таких как озонсорбция, ультрафильтрация, ионный обмен и др.

4. Реки европейской части России и других районов с развитой химической, нефте- и газодобывающей промышленностью находятся в зоне повышенной опасности загрязнения антропогенными веществами, в том числе токсичными. Особенно важна для этих городов необходимость создания и разработки комплексных технологий, позволяющих повысить надежность работы водоочистных станций.

5. Имеется множество станций, где вода большую часть года не коагулируется (имеет малую мутность и небольшую цветность). В этих случаях целесообразно использование озона для удаления цветности или, как будет показано далее, постоянного коагулирования воды небольшими дозами реагентов для обеспечения санитарно-гигиенической безопасности работы станций.

6. Во многих городах в природных водах присутствуют запахи и привкусы, вызванные органическими загрязнениями природного и антропогенного происхождения. В этих случаях следует рассматривать вопросы реагентной обработки воды совместно с методами ее глубокой очистки с

использованием озона и активных углей в дополнение к традиционным.

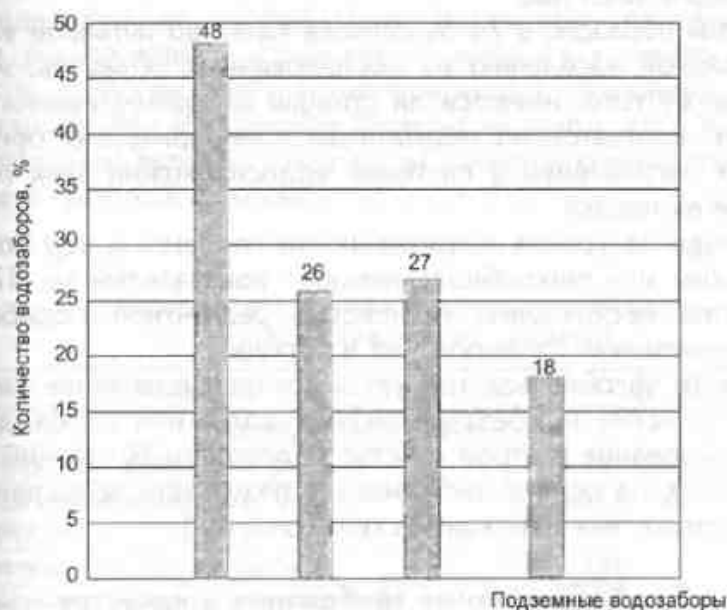


Рис. 1.6. Диаграмма необходимости совершенствования методов очистки подземных вод на водопроводных станциях.

Как известно, подземные воды по сравнению с поверхностными обладают большей защищенностью и стабильностью качества воды. Отсутствие значительного антропогенного воздействия окружающей среды на подземные воды делает возможным и диктует необходимость более широкого их использования. Анализ использования подземных водозаборов, как это видно из рис. 1.6, свидетельствует о следующем:

в ряде случаев (48 %) качество подземных вод по всем показателям соответствует требованиям СанПиН, поэтому их очистки не требуется, и очистные сооружения отсутствуют; проводится только обеззараживание воды, подаваемой в город;



26 % из рассмотренных водозаборов имеют станции обезжелезивания воды, и потребителю подается вода нормативного качества;

таким образом, в 74 % случаев качество питьевой воды, подаваемой населению из обследованных объектов, независимо от того, имеются ли станции обезжелезивания или их нет, соответствует нормативам. Специфических органических загрязнений в системах водоснабжения этих городов не выявлено;

исходя из уровня загрязненности подземных вод по химическим или микробиологическим показателям на 27 % объектов необходимы технология реагентной обработки или применение озонирования и сорбции;

для 18 % объектов требуется совершенствование технологии очистки и обеззараживания воды или необходимы проектирование и строительство водоочистных станций (естественно, на основе выбранной в результате проведенных технологических изысканий схемы очистки).

### 1.5. Современные требования к качеству питьевой воды

Вода может быть использована для: хозяйственно-питьевых целей, нужд пищевой промышленности, охлаждения, нужд паросилового хозяйства, технологических нужд промышленности, сельского хозяйства, заводнения нефтяных пластов и др. В зависимости от назначения к ней и предъявляются различные требования.

Остановимся лишь на требованиях к питьевой воде. Качество питьевой воды в коммунальных водопроводах нормируется «Санитарно-эпидемиологическими правилами и нормативами СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества».

СанПиН оценивает качество питьевой воды по трем группам нормативов, охватывающим: эпидемиологическую безопасность воды (микробиологические показатели); безвредность химического состава (санитарно-токсикологические показате-

тели) и благоприятные органолептические свойства воды (органолептические показатели).

Безвредность питьевой воды по химическому составу определяется ее соответствием нормативам по обобщенным показателям и содержанию вредных химических веществ, наиболее часто встречающихся в природных водах на территории Российской Федерации (табл. 1.6), а также содержанию вредных химических веществ, образующихся в воде в процессе ее обработки (табл. 1.7).

Таблица 1.6

Предельно допустимые концентрации (ПДК) на некоторые химические вещества

Показатели	Нормативы ПДК, не более
<i>Обобщенные показатели</i>	
Водородный показатель, pH	6—9
Общая минерализация (сухой остаток), мг/л	1000 (1500)*
Жесткость общая, мг-экв/л	7,0(10)*
Окисляемость перманганатная, мг/л	5,0
Нефтепродукты, суммарно, мг/л	0,1
Поверхностно-активные вещества (ПАВ), анионоактивные, мг/л	0,5
Фенольный индекс, мг/л	0,25
<i>Неорганические вещества (даны выборочно), мг/л</i>	
Алюминий (Al <sup>3+</sup> )	0,5
Железо (Fe, суммарно)	0,3(1,0)*
Марганец (Mn, суммарно)	0,1(0,5)*
Медь (Cu, суммарно)	1,0
Никель (Ni, суммарно)	0,1
Нитраты (по NO <sub>3</sub> )	45
Свинец (Pb, суммарно)	0,03
Сульфаты (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	500
Хлориды (Cl)	350

\* В скобках указана величина, которая может быть установлена по решению главного государственного санитарного врача по соответствующей территории. (То же в табл. 1.8).

Таблица 1.7

ПДК на химические вещества, мг/л, образующиеся в воде в процессе ее обработки

Показатели	Нормативы ПДК
Хлор:	
остаточный свободный	0,3-0,5
остаточный связанный	0,8-1,2
Хлороформ (при хлорировании воды)	0,2
Озон остаточный	0,3
Формальдегид (при озонировании воды)	0,05
Полиакриламид	2,0
Активированная кремнекислота (по Si)	10
Полифосфаты (по $PO_4^{3-}$ )	3,5
Алюминий	0,5
Железо	0,3

ПДК на органолептические свойства воды представлены в табл. 1.8.

Таблица 1.8

ПДК на органолептические свойства воды

Показатели	Единицы измерения	Нормативы ПДК, не более
Запах	баллы	2
Привкус	баллы	2
Цветность	град	20(35)
Мутность	ЕФМ (единицы мутности по формазину)	2,6(3,5)
	или мг/л (по каолину)	1,5(2)
Железо	мг/л	0,3(10)
Марганец	мг/л	0,1(0,2)

В СанПиН подробно приводятся нормативы ПДК около 800 наименований органических и неорганических веществ.

Токсикологические показатели качества питьевой воды, характеризующие ее безвредность, включают нормативы для веществ, встречающихся в природных водах (бериллий, молибден, мышьяк, стронций и т. д.), добавляемых к воде в процессе ее обработки (например, полиакриламид, формальдегид, хлороформ и др.) и появляющихся в результате промышленного и сельскохозяйственного загрязнения водоемосточника: нефтепродукты, пестициды, фенолы, тяжелые металлы, аммонийные соли, лигнины и другие соединения.

Качество воды и здоровье населения — эти факторы тесно связаны между собой. Превышение допустимых уровней содержания в питьевой воде химических элементов и соединений проявляется постепенно и не только в повышении общей или специфической заболеваемости населения. Длительное использование питьевой воды с высоким уровнем загрязнения химическими веществами природного и антропогенного характера является одной из причин развития различных соматических заболеваний. Установлено, что превышение содержания в питьевой воде марганца приводит к развитию анемии, нарушению функционального состояния центральной нервной системы; меди — постепенному поражению слизистых оболочек почек и печени; никеля — поражению кожи; мышьяка — поражениям центральной нервной системы; кадмия — развитию злокачественных опухолей, повреждению костей; цинка — заболеванию почек; пестицидов (ДДТ) — поражению нервной системы как центрального, так и периферических отделов, печени (от гипертрофии липосфер до поражения клеток); полихлорированных бифенилов — постепенному их накоплению в печени (сначала происходит ее увеличение, затем поражение), а превышение полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) приводит к мутагенным и канцерогенным изменениям и т. д. [4, 25—28]. Недостаточное поступление в организм фтора повышает растворимость зубной эмали, вызывает поражение зубов кариесом. Вследствие избытка фтора в питьевой воде в Мордовии зарегистрированы случаи заболевания населения флюорозом.

Вынужденное использование населением степных зон страны и отдельных районов Поволжья воды с высокой концентрацией хлоридов и сульфатов, превышающей норматив в 5 раз, определяет повышенный уровень желче- и мочекаменной болезни, заболеваний сердечно-сосудистой системы.

Рост заболеваемости хроническими нефритами и гепатитами, более высокая мертворождаемость, токсикозы беременности, врожденные аномалии развития в городах Кемерове и Юрге связаны с использованием питьевой воды, загрязненной азотсодержащими и хлорорганическими соединениями, а потребление воды с «чрезвычайно высоким» природным содержанием бора и брома привело к росту показателей заболеваемости органов пищеварения у детей Курганской области. Углубленное медицинское обследование населения Красноярского края и Амурской области выявило неблагоприятное воздействие вод с дефицитом солей кальция и магния на минеральный обмен и функциональное состояние центральной нервной системы.

Среди микробиологических и паразитологических загрязнений серьезную опасность представляют показатели, нормативы которых представлены в табл. 1.9.

Таблица 1.9

**Нормативы по микробиологическим показателям питьевой воды**

Показатели	Единицы измерения	Нормативы
Термотолерантные колиформные бактерии (ТКБ)	Число бактерий в 100 мл	Отсутствие
Общие колиформные бактерии (ОКБ)	Число бактерий в 100 мл	Отсутствие
ОМЧ	Число образующих колонии бактерий (КОЕ) в 1 мл	Не более 50
Колифаги	Число бляшкообразующих единиц (БОЕ) в 100 мл	Отсутствие
Споры сульфитредуцирующих клостридий	Число спор в 20 мл	Отсутствие
Цисты лямблий	Число цист в 50 л	Отсутствие

Нарушение нормативов данных показателей может привести к вспышкам кишечных и других инфекционных заболеваний.

Высокая степень выживаемости отдельных видов патогенных микроорганизмов и практически постоянное их обнаружение в воде, поступающей на водозаборные сооружения, выдвигают задачу переоценки источников водоснабжения и водоочистных сооружений с точки зрения эпидемической безопасности воды в отношении возбудителей кишечных инфекций, вирусного гепатита и других заболеваний.

Из-за неудовлетворительного обеззараживания питьевой воды особое распространение получили желудочно-кишечные заболевания. В развитых странах вспышки этих заболеваний обычно носят локальный характер, но в развивающихся странах зачастую приобретают форму эпидемий [29, 30].

Таким образом, принимая во внимание сложившуюся ситуацию, единственное решение проблемы улучшения питьевого водоснабжения и качества питьевой воды может быть достигнуто только на основе комплексного использования законодательного и нормативно-технического регулирования, охватывающего все аспекты деятельности в области нормирования и контроля качества воды, ее очистки и обеззараживания.

Кроме того, обеспечение населения качественной питьевой водой при использовании поверхностных вод зависит также от эффективности существующих на водопроводных станциях технологических методов очистки, включающих коагулирование, отстаивание, фильтрование и обеззараживание воды. Правильно выбранная технология очистки воды обеспечивает надежность системы водоснабжения в санитарно-гигиеническом и эпидемиологическом отношении.

В рассматриваемом Государственной Думой Федеральном законе — специальном техническом регламенте «О питьевой воде и питьевом водоснабжении» [37] планируется повысить требования к содержанию в питьевой воде остаточного алюминия до 0,2 мг/л и хлороформа до



0,06 мг/л, что потребует существенного изменения технологических схем очистки воды на водопроводных станциях. Предполагается также снизить ПДК по различным группам органических загрязнений и неорганических веществ, что вынуждает использовать новые более эффективные и современные методы очистки (табл. 1.10). В таблице приводятся лишь некоторые из новых нормативов.

Таблица 1.10

**Некоторые показатели проекта Федерального закона «О питьевой воде и питьевом водоснабжении» (специальный технический регламент)**

Показатель	Единица измерения	Величина	
		в СанПиН 2.1.4.1074-01	предлагается
<b>Химические показатели</b>			
Алюминий	мг/л	0,5	0,2
Барий	мг/л	0,1	0,7
Мышьяк	мг/л	0,05	0,01
Никель	мг/л	0,1	0,02
Акриламид	мг/л	0,01	0,0001
Свинец	мг/л	0,03	0,01
Стирол	мг/л	0,1 (кл. опасн.3)	0,02 (кл. опасн. 1)
Сурьма	мг/л	0,05	0,005
ПАВ	мг/л	0,5	0,1
<b>Хлорорганические загрязнения</b>			
Хлороформ	мг/л	0,2	0,06
Четыреххлористый углерод	мг/л	0,006	0,002
Дихлорметан	мг/л	7,5	0,02
2,4,6-Трихлорфенол	мг/л	0,004 (кл. опасн.4)	0,004 (кл. опасн.1)
Винилхлорид	мг/л	0,05	0,005
Гексахлорбензол	мг/л	0,05	0,001

Окончание табл. 1.10

Показатель	Единица измерения	Величина	
		в СанПиН 2.1.4.1074-01	предлагается
<b>Хлорорганические загрязнения</b>			
Гексахлорбутадиен	мг/л	0,01 (кл. опасн.3)	0,0006 (кл. опасн.1)
1,2-Дибром-3-хлорпропан	мг/л	0,01	0,001
1,2-Дихлорпропан	мг/л	0,4	0,02
1,3-Дихлорпропен	мг/л	0,4	0,02
Ди(2-этилгексил)фталат	мг/л	0,5	0,008
<b>Микробиологические и паразитологические показатели</b>			
Глюкозоположительные колиформные бактерии (ГКБ)	Число бактерий в 300 мл	—	Отс. в 300 мл
E.coli (индикатор св. фекального загрязнения, вместо ТКБ)	Число бактерий в 100 мл	—	Отс. в 100 мл
Ооцисты криптоспоридий	Число бактерий в 50 л	—	Отс. в 50 л
ОМЧ	Число бактерий в 1 мл	Не более 50 КОЕ в 1 мл	Не более 20 КОЕ в 1 мл

В проекте закона предусматривается введение новых более объективных микробиологических и паразитологических показателей, которые более надежны в плане оценки гигиенической и эпидемической безопасности питьевой воды. Некоторые загрязнения должны полностью отсутствовать в очищенной воде. Это в свою очередь потребует применения современных методов обеззараживания воды и использования эффективных технологических приемов удаления микробиологических загрязнений.

Введенный в 1937 г. первый стандарт качества питьевой воды в России неоднократно пересматривался с учетом достижений отечественной науки, техники контроля качества воды, уровня нормативов в зарубежных стандартах, а также принимались во внимание технические и экономические возможности обеспечения его требований.

С начала нормирования качества питьевой воды требования к ней в основном повышаются и число нормируемых показателей постоянно увеличивается. Однако представляют интерес результаты, полученные при сравнении отечественных нормативов, данные по изменению которых представлены в табл. 1.11.

Как видно из данных таблицы, требования к питьевой воде в довоенный период (стандарт 1937 г.) по основным показателям были в значительной степени более жесткими, чем в последующие годы (1954, 1973, 1982) [31—35]. Так, «Временным стандартом качества очистки хозяйственно-питьевой водопроводной воды, подаваемой в городскую сеть» (1937 г.) были нормированы:

мутность на уровне среднегодового значения до 0,5 мг/л с повышением в отдельные месяцы до 0,6 мг/л, а для отдельных определений — не выше 0,75 мг/л;

цветность — среднегодовая 15 град с повышением в отдельные месяцы и отдельные определения, соответственно не выше 20 и 25 град;

запах болотисто-землистый и иные привкусы и запахи, а также хлористый запах должны отсутствовать.

Некоторые послабления в последующих стандартах не могли не отразиться на принимаемых проектных решениях. Так, в целях сокращения затрат и сроков строительства увеличение производительности станции достигалось не за счет строительства дополнительных технологических линий или блоков, а путем увеличения гидравлической нагрузки на существующие (увеличение скорости движения воды в отстойниках, скорости фильтрования на фильтрах и т. п.) и расширения некоторых сооружений и частичного изменения их конструкции.

Таблица 1.11

Изменение российских нормативов качества питьевой воды

Показатель	Временный стандарт 1937 г. *	ГОСТ 2874—54	ГОСТ 2874—73	ГОСТ 2874—82	СанПиН 2.1.4.559-96 2.1.4.1074-01
Мутность	≤ 0,5 мг/л — среднегодов.; ≤ 0,6 мг/л — среднемесячн.; ≤ 0,75 мг/л — отдельные определения	≤ 2,0 мг/л (3,0**)	≤ 1,5 мг/л	≤ 1,5 мг/л (2,0 ***)	≤ 1,5 мг/л (2,0 **)
Цветность	$^{90}\text{Pt}/\text{Co} \leq 15$ — среднегодов.; ≤ 20 — среднемесячн.; ≤ 25 мг/л — отдельные определения	$^{90}\text{Pt}/\text{Co} \leq 20$ (35**)	$^{90}\text{Pt}/\text{Co} \leq 20$ (35**)	$^{90}\text{Cr}/\text{Co} \leq 20$ (35**)	$^{90}\text{Cr}/\text{Co} \leq 20$ (35**)
Алюминий остаточный	Не нормир.	Не нормир.	Не нормир.	≤ 0,5 мг/л	≤ 0,5 мг/л
Перманг. окисляемость	Не нормир.	Не нормир.	Не нормир.	Не нормир.	5 мг/л

Показатель	Временный стандарт 1937 г. *	ГОСТ 2874—54	ГОСТ 2874—73	ГОСТ 2874—82	СанПиН 2.1.4.559-96 2.1.4.1074-01
Запах	Не должен быть болотно-землистым или иметь иных привкусов и запахов	≤ 2 баллов при 20°C	≤ 2 баллов при 20°C и 60°C	≤ 2 баллов при 20°C и 60°C	≤ 2 баллов при 20°C и 60°C
Остаточный хлор	≤ 0,1—0,2 мг/л в первой точке водопотребления	0,3—0,5 мг/л в первой точке водопотребления	Связанный: 0,8—1,2 мг/л через 60 мин. Свободный: 0,3—0,5 мг/л через 30 мин	Связанный: 0,8—1,2 мг/л через 60 мин. Свободный: 0,3—0,5 мг/л через 30 мин	Связанный: 0,8—1,2 мг/л через 60 мин. Свободный: 0,3—0,5 мг/л через 30 мин
ОМЧ при 20—23°C через 48 ч	≤ 30 КОЕ/мл — среднегодов.; ≤ 50 — отд. среднемесячн.; ≤ 75 — отд. определения	Не нормир.	Не нормир.	Не нормир.	Не нормир.
ОМЧ при 37°C через 24 ч	Не нормир.	≤ 100 КОЕ/мл	≤ 100 КОЕ/мл	≤ 100 КОЕ/мл	≤ 50 КОЕ/мл

Количество кишечных палочек	≤ 3 КОЕ/л	≤ 3 КОЕ/л	≤ 3 КОЕ/л	≤ 3 КОЕ/л	Не нормир.
Общие колиформные бактерии	Не нормир.	Не нормир.	Не нормир.	Не нормир.	Отсутствие в 100 мл
Термотолерантные бактерии	Не нормир.	Не нормир.	Не нормир.	Не нормир.	Отсутствие в 100 мл

\* Временный стандарт качества очистки хозяйственно-питьевой водопроводной воды, подаваемой в городскую сеть (утвержден Главной гос. санитарной инспекцией РСФСР, вводится в действие с 1 июля 1937 г. приказом № 17/М-2 по НКХ РСФСР и ГПСИ РСФСР от 29/1 1937 г.). **На водопроводах Москвы и Ленинграда очистка воды выше данного стандарта.**

\*\* Допустимо в исключительных случаях по согласованию с органами санитарного надзора.

\*\*\* Допускается в паводковый период по согласованию с органами санитарно-эпидемиологической службы.

Действующие в настоящее время требования к качеству питьевой воды: мутность до 1,5—2,0 мг/л, цветность до 20 град — позволяли осуществлять процесс очистки с акцентом на применение хлора и при минимальном расходе коагулянта.

Введение в действие планируемых нормативов на питьевую воду потребует коренного пересмотра технологических методов и приемов очистки и обеззараживания воды.

Наряду с рассмотрением российских стандартов интересны результаты изучения зарубежных стандартов. За рубежом существуют местные, государственные или национальные и межгосударственные стандарты качества питьевой воды. Местные стандарты действительны лишь в отдельных городах или на ограниченной территории некоторых стран, например в США, где в ряде штатов и крупных городов имеются собственные стандарты, нередко отличающиеся от федерального (общегосударственного), как правило, тем, что требования по отдельным показателям качества повышены.

Государственные стандарты действуют на территории отдельных государств, например России, где установлен единый для всей страны стандарт — СанПиН 2.1.4.1074-01.

Межгосударственный стандарт может быть установлен для группы стран, например стран—членов Европейского экономического сообщества (ЕЭС) [38, 348].

До 1984 г. многие страны придерживались Международного или Европейского стандартов качества питьевой воды, разработанных и изданных Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ). В 1984 г. ВОЗ аннулировал эти стандарты, выпустив взамен Руководство по качеству питьевой воды, являющееся основой при создании каждой страной собственного стандарта, учитывающего ее экономические и технические возможности, природно-климатические условия, образ жизни населения и другие факторы [39].

Для сравнения приведем санитарно-гигиенические требования, предъявляемые к питьевой воде в ряде стран по некоторым показателям (табл. 1.12) [39—43].

Таблица 1.12

Сводная таблица регулируемых (физико-химических) показателей качества питьевой воды в России, США, Канаде, странах ЕЭС, Финляндии, Швейцарии и рекомендации ВОЗ

Показатель	Россия, СанПиН	США, [348], макс. уровень загрязнения	Канада, макс. допустимый предел	Европейские стандарты ЕЭС [348]		ВОЗ [348] Рекомендательный уровень	Финляндия [41]	Швейцария [41]	Директива Совета Европейского Союза 98/83/ЕС по качеству воды, предназначенной для потребления человеком
				Рекомендательный уровень	ПДК				
Цветность, град	20 (35)*	15	15	1	20	15	15	15	Принятая для потребителей < 1 ЕМФ
Мутность, мг/л	1,5(2,0)*	1—5	5,0	0—4	4	<1	1	0,5	
Окисляемость перманганатная, мгО <sub>2</sub> /л	5								5
Медь, мг/л	1	1,3	1,0	0,1	1,0	1,0			2
Алюминий, мг/л	0,5	—		0,05	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
Фтор, мг/л	1,2—1,5	2	1,5	2,0	2,0	1,5			—
Железо, мг/л	0,3(1)*	0,3	0,3	0,05	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2
Марганец, мг/л	0,1(0,5)*	0,05	0,05	0,02	0,05	0,5	0,1	0,05	—
Запах, баллы	2	3		0	3	—	—	3	Принятый для потребителей
pH	6—9	6,5—8,5	6,5—8,5	6,5—8,5	6,5—8,5	6,5—8,5			—
Хлориды, мг/л	350	250	250	25	250	250	100	—	250
Сульфаты, мг/л	500	250	500	25	250	250	—	—	250
Сухой остаток, мг/л	1000 (1500)*	500	500	—	—	500	—	—	—
Цинк, мг/л	5	5	5	0,1	5	3			—

\* В скобках — по разрешению ГСЭН территории.



В последние годы в некоторых странах были установлены новые стандарты на качество питьевой воды, в которых наряду с традиционными микробиологическими и органолептическими показателями повышены требования к содержанию токсичных веществ. В табл. 1.13 даны приоритетные неорганические и органические токсиканты, регламентируемые стандартами ВОЗ, США и России.

Таблица 1.13

**Стандарты на содержание приоритетных неорганических и органических токсикантов в питьевой воде**

Вещество	Предельная концентрация, мг/л		
	ВОЗ	США	Россия
<b>Неорганические вещества</b>			
Мышьяк	0,01	0,05	0,05
Кадмий	0,003	0,005	0,001
Хром	0,05	0,1	0,5
Цианиды	0,07	0,2	0,035
Свинец	0,01	0	0,03
Ртуть	0,001	0,002	0,0005
Нитраты	50	10	45
Нитриты	3	1,0	3,0
Селен	0,01	0,05	-
Серебро	—	—	0,05
Таллий	—	0,0005	—
Барий	0,7	2,0	0,1
<b>Органические вещества</b>			
Бензол	0,0007	0,005	0,01
Четыреххлористый углерод	0,002	0,005	0,006
Хлороформ	—	—	0,2
Трихлорэтилен	0,07	0,005	—
1,2-дихлорэтан	0,03	0,005	0,02
Акриламид	0,0005	0	0,01
Бенз(а)пирен	0,0007	0,0002	0,000005
Стирол	0,02	0,1	0,1
Линдан	—	0,0002	0,002

Как видно из представленных таблиц, отдельные показатели имеют одинаковые или близкие значения ПДК. Ряд показателей существенно отличается.

Другим различием между отечественным и зарубежными стандартами является то, что в российском стандарте однозначно указано предельно допустимое значение всех показателей, кроме нескольких органолептических, для которых оно может быть увеличено по согласованию с органами Госсанэпиднадзора, тогда как в зарубежных стандартах большинство показателей имеет как предельно допустимые, так и рекомендуемые значения. Так, например, ВОЗ допускает максимальную мутность питьевой воды — пять нефелометрических единиц (по формазину), но рекомендует поддерживать ее в пределах единицы в целях большей надежности обеззараживания.

В отношении микробиологических загрязнений в отечественном стандарте даются однозначные указания на их содержание, в то время как в зарубежных стандартах в отдельных пробах воды допускается превышение нормативов, в связи с чем их рекомендации в большей степени соответствуют фактической ситуации на водопроводных станциях.

В российском стандарте содержится значительно больший перечень нормируемых показателей. Однако контроль за выполнением стандарта следует проводить не по всем имеющимся ингредиентам, а по согласованию с органами санитарно-эпидемиологического надзора его выполняют лишь по некоторым загрязнениям воды, характерным для данного конкретного водисточника или региона.

Как уже отмечалось, для полного выполнения требований СанПиН необходимы проведение детального обследования качества природной и очищенной воды, оценка эффективности работы очистных сооружений, и только тогда можно говорить о методах совершенствования технологической схемы, подготовке и реализации мероприятий по улучшению работы очистных сооружений, включая и применение новых технологий.

Все это позволит обеспечить требуемую эффективность очистки воды от всех физико-химических и микробиологических примесей и выполнить нормативные требования стандарта на питьевую воду.

## Глава 2. Возможности коагуляционной обработки воды

### 2.1. Роль коагуляции в отношении различных загрязнений природных вод

Процесс коагуляции является практически единственным методом очистки воды от мутности, цветности, органических и неорганических, природных и антропогенных загрязнений (взвешенных, коллоидных и растворенных). И от того, как осуществляется этот процесс на водопроводной станции, в основном зависит качество питьевой воды.

При правильно проведенном процессе коагуляции и осветлении воды можно полностью удалить *взвешенные вещества*, снизить *цветность* воды до необходимого уровня, уменьшить концентрацию общих *органических загрязнений*, характеризуемых показателем перманганатной окисляемости, на 50—65 %.

При коагулировании удаляются *ионы тяжелых металлов*, а также истинно растворенные микрозагрязнения, такие, например, как *СПАВ от 30 до 100 %*, *фенолы, амины*, а также *нефтепродукты, пестициды от 10 до 90 %* и *радиоактивные вещества на 70—90 %*. К трудноудаляемым относятся *стронций, йод, барий* (не более 30 %).

Из ионов тяжелых металлов при обычных условиях коагулирования удаляются:

- железо и марганец — до 65—80 %;
- свинец, хром — на 30 %;
- медь и никель — на 50 %.

При использовании для коагулирования извести и солей железа уменьшается концентрация таких загрязнений, как:

- мышьяк — на 98 %;
- кадмий — на 95 %;
- ртуть — на 60—90 %;
- барий, радий, селен — на 60 %;
- молибден — на 80—90 %.

При коагулировании частично удаляются биологические загрязнения воды — *планктон и водоросли*, эффективность удаления которых связана с процессом хлопьеобразования и осветления воды.

Очистка воды коагулированием и флокулированием представляет собой сложный физико-химический процесс, на эффективность протекания которого оказывают влияние многочисленные факторы. Прежде всего — качество воды:

- количество взвешенных и коллоидных частиц, степень их дисперсности;
- ионный состав воды, например присутствие ионов хлора способствует коагуляции;
- щелочность;
- количество растворенных органических соединений;
- температура — при низкой температуре воды повышается вязкость дисперсионной среды, снижается интенсивность броуновского движения и уменьшается степень гидролиза коагулянта.

Изменение качества исходной воды по сезонам года требует оперативного и в ряде случаев радикального изменения режима обработки воды, особенно при использовании коагулянтов, имеющих узкий диапазон значений некоторых параметров процесса и малую эффективность при низкой температуре осветляемой воды. В результате во многих случаях качество очищенной на водопроводных станциях воды не отвечает нормативным требованиям по ряду показателей.

Как правило, наибольшие трудности с проведением коагулирования воды возникают в паводковый период, когда вода имеет еще низкую температуру, и резко возрастает



количество загрязнений, соответственно возрастает нагрузка на очистные сооружения. Кроме того, ухудшение процесса коагуляции наблюдается при коагулировании маломутных цветных вод в холодное время года.

В паводок — холодная вода, высокие цветность и мутность, низкая щелочность, при коагуляции требуются высокие дозы коагулянта. В эти периоды наиболее важно выполнять следующие требования.

- Поддерживать значения pH воды в интервале 6,5—7,5.

Обычное осветление воды лучше осуществляется при повышенных значениях pH, очистка цветных мягких вод — при пониженных pH. Величина pH является доминирующим фактором в процессе коагулирования.

Технологический опыт показывает, что воды, имеющие в своем составе коллоидные глинистые частицы, или цветные воды значительно скорее коагулируют и осветляются при подкислении. Это объясняется тем, что необходимым условием взаимной коагуляции является равенство противоположных зарядов частей золь. В противном случае коагуляция протекает неполно либо вовсе не наступает. В процессе гидролиза коагулянта — сульфата алюминия образуется гидроокись алюминия — амфотерное соединение, которое обладает кислотными и основными свойствами: в щелочной среде заряд частиц — отрицательный, в кислой — положительный.

Большинство коллоидных загрязнений имеет отрицательный заряд (гумус, мельчайшие почвенные и глинистые частицы, кремнекислота и др.), поэтому коагуляция эффективнее проходит при низких значениях pH.

- Вторым важным условием успешного протекания процесса коагулирования является обеспечение необходимого щелочного резерва, особенно в холодное время года при низких температурах воды, в целях повышения степени гидролиза коагулянта и увеличения концентрации твердых частиц.

- Очень важно правильно установить вид, дозу и место ввода подщелачивающего реагента (при подщелачивании

известью увеличивается pH, что не всегда хорошо, при использовании соды в воде повышается содержание  $\text{CO}_2$ ). Следует правильно определить порядок введения реагентов. Так, при введении подщелачивающего реагента в цветную воду перед добавлением коагулянтов ухудшается качество очистки, а остаточная цветность увеличивается в ряду подщелачивающих реагентов: гидроксид натрия > карбонат натрия > известь > карбонат кальция. Гидроксид и карбонат натрия следует применять для подщелачивания очищенной воды, известь лучше вводить в осветленную воду, после отстойников.

- Необходимо вовремя в соответствии с изменением качества исходной воды определять и корректировать оптимальные дозы коагулянта и флокулянта.

## 2.2. Значение коагуляции в обеззараживании воды

Как известно из практического опыта работы водоочистных станций и многочисленных экспериментальных исследований, значительная часть микроорганизмов (до 99 %), присутствующих в природной воде, прежде всего поверхностных водоисточников, удаляется при реагентной обработке воды при очистке от взвешенных и растворенных веществ на стадии коагуляции, осветления и фильтрования [349, 350].

При очистке воды на водопроводных сооружениях содержание вирусов, в частности, снижается на 80—93 % в зависимости от применяемых технологических схем. Обычно на этапе отстаивания из воды удаляется в среднем 60—65 % вирусов, при последующем фильтровании — 50—55 % от количества вирусов, поступающих на фильтр [351—353]. Таким образом, только очисткой нельзя получить питьевую воду, удовлетворяющую требованиям стандарта по микробиологическим загрязнениям. Обрабатываемая вода в обязательном порядке должна подвергаться обеззараживанию.

Обработка воды коагулянтами повышает эффективность обеззараживания воды, поскольку микроорганизмы, в том

числе и вирусы, адсорбируются на взвешенных частицах. Известно, что бактерицидная и вирусологическая эффективность всех известных способов обеззараживания питьевой воды в значительной мере зависит от глубины ее очистки от взвешенных веществ. Последние оказывают отрицательное влияние на протекание процесса обеззараживания, так как защищают от инактивации адсорбированные на них микроорганизмы и вирусы. Поэтому мутность является самым значимым фактором, влияющим на количество микробиологических загрязнений в питьевой воде.

На эффективность обеззараживания воды влияет в значительной степени глубина очистки воды, что достигается применением наиболее эффективных коагулянтов и флокулянтов.

В экспериментальных исследованиях [354—356], включающих в схему водоподготовки обработку воды коагулянтами, эффективность водоочистки после отстаивания и фильтрации составила по числу ОКБ — около 80 %, ТКБ — свыше 90 %, ОМЧ при 37 °С — 95%, ОМЧ при 22 °С — 80—94 %, спорам сульфитредуцирующих клостридий — 78,9 %. Вирусологический анализ воды показал, что после этапа отстаивания колифаги в воде отсутствовали.

Эффективность обеззараживания с помощью сульфата алюминия оказалась несколько ниже, чем при использовании коагулянтов АКВА-АУРАТ™10 и АКВА-АУРАТ™18. Наибольшую эффективность по удалению вируса полиомиелита показал коагулянт РАХ-18 (83,5 %). Эффективность РАХ-10 составила 37,2 %, а при обработке воды сульфатом алюминия концентрация вируса практически не изменялась.

Добавление высокодисперсных глинистых минералов в сочетании с пониженным значением рН среды повышает эффективность очистки маломутной воды от микроорганизмов. Показано, что высокая степень очистки воды от патогенных эшерихий (в среднем до 97,2 %), энтеровирусов и бактериофагов (90,5—98,1 %) достигается при совместном использовании коагулянта (сернокислого алюминия дозой 10 мг/л по  $Al_2O_3$ ) и клиноптилолита (13,3 мг/л).

Анализ имеющихся данных, представленных в работе [350], показывает, что не всегда применяемые методы очистки воды обеспечивают требуемую эффективность обеззараживания (табл. 2.1).

Таблица 2.1

**Эффективность удаления микробиологических загрязнений в процессах коагуляции, отстаивания и фильтрации**

Тип загрязнения	Вид загрязнения	Эффективность очистки, %	Реагент	Доза, мг/л	
<i>Коагулирование и отстаивание</i>					
Вирусы		40	Квасцы		
	Вирус Коксаки	95,7	Сульфат алюминия	15	
	Вирус Коксаки	98,6	Сульфат алюминия	25	
	Вирус Коксаки	95,7	Хлорид железа	15	
	Вирус Коксаки	98,6	Хлорид железа	25	
	Энтеровирусы	50—60	Сульфат алюминия	40—50	
	Гепатит А		80—90	Сульфат алюминия	40—50
				Флокулянт ПАА	1
		90—95	Сульфат алюминия	5—10	
		90,5—98,1	Сульфат алюминия	60	
			Клиноптилолит	13,3	
		99	Сульфат алюминия	200—500	
Бактерии	Кишечная палочка	85	Квасцы		
	Бактериофаги кишечной палочки	80			
	Бактериофаги	90,5—98,1	Сульфат алюминия	60	
			Клиноптилолит	13,3	
Цисты лямблий		50—70* 25**	Сульфат алюминия		
<i>Фильтрация</i>					
Вирусы		72	Песчаная загрузка $d_{\text{зас}} = 0,5 \pm 0,6$ мм $h = 0,5 \pm 0,7$ м $V = 5$ м/ч		
		77—99			
Бактерии		99			

\* В летний период; \*\* в зимний период.

НИИ КВОВ были проведены исследования по очистке воды р. Оки с определением бактериологических показателей исходной и очищенной воды. Источник водоснабжения имеет повышенную бактериальную загрязненность. Колиндекс в среднем составляет 40000, а в некоторых случаях достигает 2380000. Показатель ОМЧ изменяется от 20 до 400. В водоисточнике, помимо высоких показателей колииндекса, отмечается наличие таких форм бактериальных загрязнений, как колифаги и клостридии. Наиболее тяжелая ситуация наблюдается в зимний период. Отмечалось наличие нестандартных проб и в очищенной воде. Необходимая степень очистки воды от колифагов и клостридий может быть достигнута при проведении глубокой очистки воды и эффективным ее обеззараживанием.

Повышение глубины очистки воды на действующих водопроводных станциях может быть обеспечено за счет уменьшения нагрузки на очистные сооружения, интенсификации процесса коагулирования и осветления воды, а также применением озонсорбционной технологии. При использовании для питьевого водоснабжения сильно загрязненных водоисточников по бактериальным показателям наиболее эффективно и целесообразно применять для очистки и обеззараживания воды озон. Озон в этом случае используется не только для удаления специфических органических загрязнений природного и антропогенного происхождения, но и для достижения необходимого бактерицидного действия, которое не всегда могут обеспечить хлорреагенты.

В табл. 2.2 приведены обобщенные результаты экспериментальных исследований влияния различных методов обработки окской воды на микробиологические показатели по стадиям ее очистки. Представленные результаты свидетельствуют о том, что реагентная обработка воды и хлорирование не всегда обеспечивают необходимый обеззараживающий эффект и что для надежной эффективности обеззараживания зачастую требуется применение озонирования воды.

Таблица 2.2

Влияние методов обработки окской воды на микробиологические показатели

Период года	Режим обработки	Бактериологические показатели				
		ОМЧ, КОЕ/1 мл	ОКБ, КОЕ/100 мл	ТКБ, КОЕ/100 мл	Клостридии, число спор/20 мл	Колифаги, БОЕ/100 мл
Декабрь	Речная вода	85	1500	1500	8	61
	Коагулирование СА + контактное осветление (КО)	60	920	820	6	50
	Коагулирование ОХА + КО	40	700	615	6	45
	То же + хлор	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	1,4
Март	То же + озон	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о
	Речная вода	60	1200	1100	60	16
	Коагулирование СА + КО	4	20	22	10	5,6
	Коагулирование ОХА + КО	2	Н/о	Н/о	Н/о	1,4
Апрель	То же + озон	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	1,4
	То же + озон + хлор	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о
	Речная вода	42	250	72	50	25
	Коагулирование СА + КО	16	7	7	2	Н/о
Июнь	Коагулирование ОХА + КО	10	4	3	1	Н/о
	То же + хлор	4	2	1	1	Н/о
	То же + озон	4	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о
	То же + озон + хлор	1	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о
Июнь	Речная вода	560	12000	—	18	9,3
	Коагулирование + КО	140	144	—	Н/о	1,6
	То же + хлор	4	9	—	1	3,2
	То же + озон	2	8	—	Н/о	Н/о



В последние годы появилось несколько интересных работ по гигиенической оценке действия различных реагентов на обеззараживание воды [357—361]. Однако проблемы комплексной оценки реагентов, способов очистки и обеззараживания воды, по нашему мнению, должны рассматриваться несколько шире. Очевидно, необходимо анализировать технологическую цепочку: удаление—дезинфекция—консервация — с точки зрения наличия микробиологических загрязнений (бактерий и их спор, вирусов, цист простейших) [362]. При этом коагуляционный способ обеззараживания питьевой воды нужно рассматривать как первую стадию удаления бактериальных загрязнений и соответственно в целях уменьшения хлорорганических соединений (ХОС) вводить ограничения на дозы первичного хлорирования с последующим проведением постоянной коагуляции воды.

Коагуляционная обработка воды позволяет снизить концентрацию простейших на 2—3 порядка, бактерий и вирусов на 1—2 порядка. При этом удаляются микроорганизмы, находящиеся внутри и на поверхности частиц, труднодоступные при обеззараживании дезинфектантами. Патогенные микроорганизмы обычно адсорбированы на частицах взвеси. Известно, что бактерицидная и вирусологическая эффективность всех известных способов обеззараживания питьевой воды в значительной мере зависит от степени предварительной ее очистки от взвешенных веществ. Поэтому мутность должна быть снижена до величины, достаточной для поддержания санитарной безопасности: при снижении мутности водопроводной воды число заболеваний населения вирусным гепатитом сокращается в несколько раз.

Применительно к мутным водам в СанПиН 2.1.4.1074-01 содержится несоответствие между нижними уровнями микробиологических показателей и требованиями к мутности питьевой воды. Так, если в нормативе США (по состоянию

на 1994 г.) устранение вирусов должно быть не ниже 99,99 %, а мутность не более 0,5 NTU (0,29 мг/л), то согласно требованиям СанПиН присутствие вирусов, индикатором которых приняты колифаги, вообще не допускается, в то же время мутность питьевой воды может достигать 1,5—2 мг/л. Мировая практика работы водопроводных станций показывает, что надежная защита от патогенных микроорганизмов обеспечивается снижением мутности до 0,1—0,5 мг/л, т. е. в несколько раз меньше российского нормативного предела 1,5 мг/л [362]. Необходимое снижение мутности воды достигается коагуляционной обработкой.

Повышенная мутность исходной воды, особенно в период паводка, требует применения высоких доз коагулянта и флокулянта. При этом возникает риск превышения нормативного предела по остаточному алюминию 0,2 (0,5) мг/л. Именно в этот период важнейшее значение приобретает гигиеническая оценка способов очистки и обеззараживания воды. В работе [355] показано, что повышение глубины очистки воды при использовании полиоксихлорида алюминия повышает эффективность обеззараживания воды по сравнению с применением сульфата алюминия. По эффективности очистки воды коагулянты можно расположить в следующем порядке АКВА-АУРАТ™18 > АКВА-АУРАТ™10 > сульфат алюминия.

На основании результатов проведенных исследований [355] отмечается, что применение полиоксихлорида алюминия позволит либо исключить первичное хлорирование, либо существенно снизить дозу активного хлора. По нашему мнению, полностью исключить первичное хлорирование нельзя. Это должно быть подтверждено проведением широких испытаний в производственных условиях при разном качестве воды и на станциях с различными технологическими схемами очистки.



На основании имеющихся данных, безусловно, можно говорить о существенном снижении дозы хлорреагента. Повышение же эффективности обеззараживания воды обеспечивается, по-видимому, не обеззараживающим действием коагулянтов, а повышением глубины очистки воды при их применении.

В связи с этим для проверки данных положений в настоящее время на ряде водоканалов России проводятся такие работы в производственных условиях с привлечением местных органов санитарно-эпидемиологической службы.

Таким образом, из материалов главы видно, что для обеспечения надежного эффекта обеззараживания воды должна быть обеспечена ее глубокая очистка всеми возможными способами.

## Глава 3. Теоретические аспекты коагуляционной обработки воды

### 3.1. Физико-химическая характеристика различных групп примесей воды

Все примеси природных вод, независимо от их свойств и концентрации, по их фазово-дисперсному состоянию могут быть разделены на четыре группы: взвеси и коллоиды, представляющие собой гетерогенные системы, и молекулярные и ионные растворы, образующие гомогенные системы [44].

Между состояниями веществ, четко определяющими их положение в каждой из перечисленных групп, существуют еще и промежуточные состояния, обусловленные динамической связью между описанными системами. Так, молекулярные растворы могут быть частично диссоциированы (слабые электролиты), а при ассоциации частиц они приближаются к коллоидным растворам. Промежуточное положение между коллоидными и молекулярными растворами занимают и высокомолекулярные соединения. Они также могут содержать ионогенные группы, способные (в определенных условиях) обменивать подвижные ионы на ионы, находящиеся в растворе.

*Первая группа* веществ представляет собой нерастворимые в воде взвеси (суспензии, эмульсии или пены) с величиной частиц  $10^5$ — $10^3$  см, которые оседают (или всплывают) в гравитационном поле. Эти примеси обуславливают мутность воды, в некоторых случаях они могут придавать ей цветность.

В состав группы входят глинистые вещества, карбонатные породы, ил, мелкий песок, малорастворимые гидроксиды металлов, эмульсии нефтепродуктов, взвеси органических веществ, детрит, планктон и т. д. Взвешенные частицы могут быть средой обитания болезнетворных бактерий, спор микроорганизмов, а также вирусов. Частицами могут сорбироваться радиоактивные вещества и токсические соединения.

Системы, образованные примесями первой группы, кинетически неустойчивы. Нерастворимые вещества удерживаются во взвешенном состоянии динамическими силами потока и попадают в водоемы в результате размывания окружающих пород и смыва почв. В состоянии покоя для таких систем характерна седиментация взвешенных частиц. Она может протекать без слипания частиц или с их агрегацией в процессе осаждения. Кроме того, различают свободное осаждение частиц системы, когда взвешенные вещества не оказывают взаимного влияния друг на друга, и сопряженное или стесненное осаждение, когда мы имеем дело с концентрированными суспензиями. При седиментации очень часто наблюдается ортокинетическая коагуляция, аутокоагуляция и другие явления. В зависимости от адгезионного взаимодействия седиментирующих взвесей осадок образуется либо рыхлый, объемный и легко подвижный, либо плотный, малоподвижный и занимающий малый объем.

*Вторая группа* веществ объединяет гидрофильные и гидрофобные коллоидные примеси, а также высокомолекулярные вещества с величиной частиц  $10^{-5}$ — $10^{-6}$  см. Высокодисперсные гетерогенные системы существуют в виде дисперсий трех- или двумерных кристаллических или аморфных структур.

В эту группу входят коллоидные (минеральные и органо-минеральные) частицы почв и грунтов, а также недиссоциированные и нерастворимые формы гумусовых веществ, придающие воде окраску. Последние вымываются в природные водоемы из лесных, болотистых и торфяных почв, а также образуются в самих водоемах в результате жизне-

деятельности водных растений и водорослей. К этой группе могут быть отнесены также вирусы и другие организмы, приближающиеся по размерам к коллоидным частицам. Так как среди них находятся болезнетворные (патогенные) виды, то удаление их из воды является весьма ответственным мероприятием.

Кинетическая устойчивость гидрофобных примесей второй группы в воде характеризуется соотношением сил гравитационного поля и броуновского движения, обуславливающих седиментационное равновесие в системе. Агрегативная устойчивость этих дисперсий создается силами отталкивания между частицами, возникающими вследствие электростатического состояния межфазной поверхности и образования диффузных слоев.

Отталкивание обуславливается не кулоновскими силами, так как заряд частицы скомпенсирован противоионами, а возникает в результате деформации диффузных электрических слоев в достаточно узком зазоре между ними. Энергия отталкивания и соответствующее расклинивающее давление по Б. В. Дерягину [45] убывают экспоненциально с расстоянием. Большое значение при образовании диффузных и гидратных оболочек имеет создание на поверхности частиц стабилизирующих слоев по П. А. Ребиндеру [46].

Примеси, входящие во вторую группу, характеризуются особыми молекулярно-кинетическими свойствами — медленная диффузия, низкое осмотическое давление, неспособность к диализу, аномалия вязкости при различных скоростях потока и др. Для гидрофобных веществ характерна коагуляция под действием электролитов.

*Третья группа* веществ включает в себя растворенные в воде газы, органические соединения как биологического происхождения, так и вносимые промышленными и хозяйственно-бытовыми стоками. К ним относятся разнообразные продукты жизнедеятельности и отмирания плесневых грибов, антиномицетов, бактерий, водорослей, а также фенолы и другие органические вещества, обычно попадающие в воду со стоками. Они придают воде самые разнообраз-

ные привкусы и запахи, а иногда и окраску. Ряд вносимых со сточными водами примесей обладает токсичностью. Вещества этой группы характеризуются размером частиц  $10^6$ — $10^7$  см. Обычно это — соединения с ковалентной связью.

Представляя собой гомогенные растворы, примеси природных вод, относящиеся к третьей группе, могут вступать во взаимодействие как друг с другом, так и с водой. Эти взаимодействия, как правило, обусловлены ван-дер-ваальсовыми силами.

Молекулы растворенного вещества могут существенно изменять взаимодействие между молекулами воды и сами взаимодействовать между собой. Кроме того, они могут образовывать с водой соединения, существующие лишь в растворе. В этих непрочных соединениях в большинстве случаев основную роль играет водородная связь.

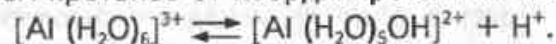
*Четвертая группа* объединяет вещества, диссоциирующие в воде на ионы и имеющие размер частиц менее  $10^7$  см. Основными действующими между ионами силами являются электростатические. Связь — электростатическая (ионная) или ковалентная (атомная).

В соответствии с теорией электролитической диссоциации молекулы веществ с ионной или сильно полярной связью под влиянием характерной полярной структуры молекул воды распадаются на ионы. Работа разрушения кристаллических структур производится главным образом в результате процесса гидратации. Ионно-дипольное взаимодействие наиболее интенсивно при гидратации катионов. При гидратации анионов со значительным отрицательным зарядом или малым радиусом более специфично присоединение молекул воды за счет водородных связей.

Гидратацию катионов можно рассматривать как образование аквакомплексов, прочность которых определяется величинами констант нестойкости. Легкость, с которой ионы металлов образуют гидраты, возрастает с увеличением их заряда и уменьшением радиуса. Гидраты ионов щелочных металлов нестойки, щелочно-земельных — более прочны.

Например, гидратированный ион кальция, в основном определяющий жесткость природной воды, может быть представлен в виде октаэдра  $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ , в центре которого находится ион кальция, электростатически связанный с шестью молекулами воды, расположенными в его вершинах. Особыми свойствами обладает ион водорода; протон образует прочный аквакомплекс с донорно-акцепторной связью — ион гидроксония  $\text{H}_3\text{O}^+$ . В водных растворах к этому иону присоединяются еще три молекулы воды, менее прочно связанные с протоном, и образуется комплекс  $\text{H}_5\text{O}_4^+$ . Другие аквакомплексные ионы также способны ориентировать вокруг себя дополнительные молекулы воды, например  $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$  и  $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_{12}]^{3+}$ .

Аквакомплексы могут переходить в гидроксокомплексы с отщеплением протонов от координированных молекул воды



Подобным образом происходит гидролиз ионов алюминия, железа и других металлов, дающих слабые основания.

Примеси природных вод, относящиеся к четвертой группе, представляют собой электролиты. Количественными характеристиками равновесного состояния их в растворе являются степень диссоциации и константа диссоциации. Обычно электролиты, диссоциирующие в 0,1-н растворах на 30 % и более, называют сильными, а электролиты, степень диссоциации которых не превышает 3 % — слабыми.

### 3.2. Теоретические основы осветления и обесцвечивания воды

Представленная выше классификация носит условный характер. Грубодисперсные и коллоидные системы, в которых существует физическая граница раздела фаз, в отличие от истинных (гомогенных) растворов являются гетерогенными, т. е. многофазными (в простейшем случае — двухфазными).



Коллоидные примеси, находящиеся в природной воде, позволяют рассматривать ее как гетерофазную систему, в которой вода является дисперсионной средой, а масса распределенных в воде коллоидных частиц — дисперсной фазой.

Характерной особенностью коллоидно-дисперсионных систем является большая удельная поверхность частиц. Это придает дисперсным системам особые свойства, которые проявляются прежде всего в поверхностных явлениях, происходящих на границе раздела фаз в межфазных поверхностных слоях. В таких системах значительная доля атомов или молекул локализована на поверхности раздела фаз. Эти молекулы или атомы находятся в несимметричном силовом поле и обуславливают появление избыточной свободной энергии системы, что и является причиной *термодинамической неустойчивости* коллоидных систем. В результате в дисперсиях происходят самопроизвольные процессы агрегации, снижающие этот избыток энергии путем уменьшения дисперсности.

Устойчивость дисперсных систем зависит от свойств дисперсионной среды и дисперсной фазы. Дисперсионная среда характеризуется содержанием растворенных солей, газов, органических и других веществ, кислотностью, щелочностью, жесткостью, плотностью, вязкостью, поверхностным натяжением и пр. Свойства дисперсной фазы определяются размером и формой частиц, химическим и минералогическим составом, плотностью, пористостью, ионообменной емкостью, зарядом поверхности частиц, адсорбционными свойствами и др. Эти свойства дисперсионных систем могут изменяться в широких пределах в зависимости от их происхождения.

В природных водах концентрация нерастворимых коллоидно-дисперсных и взвешенных веществ может достигать значительных величин. Наряду с нерастворимыми веществами присутствуют примеси органического и биологического происхождения.

Устойчивость коллоидных систем и тонких суспензий определяется их способностью сохранять дисперсное со-

стояние. Она может нарушаться под влиянием многих внешних факторов, в частности нагревания, замораживания, добавления электролитов и др.

В практике водоподготовки приходится иметь дело с *гидрофобными и гидрофильными коллоидами*. Гидрофобные коллоиды не связывают сколько-нибудь существенных количеств воды. Отдельные коллоидные частицы несут значительные электрические заряды. Нейтрализация их приводит к потере устойчивости и коагуляции гидрофобных коллоидов, которая большей частью необратима.

Гидрофильные коллоиды, наоборот, способны связывать большое количество воды. Частицы гидрофильных коллоидов в природных водах — это в основном органические загрязнения, представляющие собой большие высокополимерные молекулы. Их способность удерживать значительное количество воды обусловлена наличием на их поверхности полярных групп, таких как  $-OH$ ,  $-COOH$ ,  $-NH_2$ . Эти группы водорастворимы и поэтому удерживают вокруг себя водную оболочку. Гидрофильные коллоидные частицы перемещаются в дисперсионной среде вместе с водной оболочкой. Частицы гидрофильных коллоидов несут незначительные электрические заряды и под влиянием электролитов обычно не коагулируют. Устойчивость гидрофильных коллоидов обусловлена не только зарядом, но и наличием гидратной оболочки, в то время как устойчивость гидрофобной частицы зависит лишь от ее заряда.

Частицы глины, ила и подобная взвесь природных вод по преимуществу образуют гидрофобные коллоидные системы. К числу гидрофобных относятся также золи гидроокисей металлов, в частности алюминия и железа, используемые в технологии обработки воды. Поскольку гидрофобные коллоиды играют важную роль в очистке воды, ниже кратко рассмотрим основные их свойства.

Коллоидные частицы представляют собой совокупность большого числа молекул вещества, содержащегося в воде в диспергированном состоянии. В подавляющем большинстве случаев коллоидные частицы имеют кристаллическую



структуру, постоянно находятся в броуновском движении, при этом смещение частиц относительно воды происходит не по границе твердой частицы, а по поверхности, находящейся на некотором расстоянии от нее, т. е. коллоидные частицы, перемещаясь, прочно удерживают покрывающий их тонкий слой воды. Благодаря огромной удельной поверхности коллоидных частиц последние обладают высокой адсорбционной емкостью. Это обстоятельство имеет большое значение, так как основной процесс обработки воды — коагулирование — связан с адсорбцией на коллоидных частицах примесей, содержащихся в воде.

Возникновению коллоидных частиц предшествует образование твердой фазы (ядра), адсорбирующей из раствора потенциалобразующие ионы. Сильнее адсорбируются ионы, которые больше понижают свободную энергию поверхности твердой фазы. В результате поглощения ионов поверхность ядра приобретает заряд. Находящиеся в растворе противоположно заряженные ионы (противоионы) собираются у поверхности ядра вследствие электростатического притяжения между разноименными электрическими зарядами, образуя коллоидную частицу.

Ионы, непосредственно прилегающие к ядру, образуют слой поверхностно-ядерных ионов или так называемый *адсорбционный слой*. В этом слое может находиться также небольшое количество противоположно заряженных ионов, суммарный заряд которых не компенсирует заряд поверхностно-ядерных ионов. В связи с тем что на границе адсорбционного слоя создается электрический заряд, вокруг ядра с адсорбционным слоем создается *диффузный слой*, в котором находятся остальные противоионы, компенсирующие заряд гранул (ядра с адсорбционным слоем).

Коллоидная частица вместе с окружающим ее диффузным слоем называется *мицеллой*. Если бы мицелла находилась в состоянии покоя, то заряд ее был бы компенсирован противоионами диффузного слоя. Но вследствие броуновского движения коллоидных частиц, перемещающихся вместе с адсорбционным слоем, противоионы диф-

фузного слоя отстают от гранулы, и коллоидная частица оказывается электрически заряженной. Изменение напряженности электрического поля мицеллы показано на рис. 3.1. Потенциал на границе ядра — термодинамический потенциал ( $\varepsilon$  — потенциал, ордината  $m-n$  на рис. 3.1, а) — равен сумме зарядов всех поверхностно-ядерных ионов. На границе адсорбционного слоя потенциал уменьшается на величину, равную сумме зарядов, находящихся в адсорбционном слое противоионов. Потенциал на границе адсорбционного слоя носит название электрокинетического потенциала или дзета-потенциала ( $\zeta$  — потенциал, ордината  $p-q$  на рис. 3.1, а).

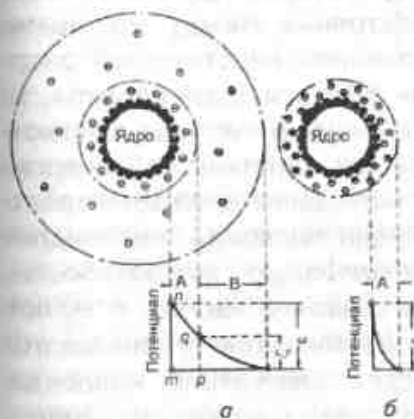


Рис. 3.1. Строение мицеллы  
 а —  $\zeta > 0$ ; б — изоэлектрическое состояние,  $\zeta = 0$ ;  
 А — адсорбционный слой;  
 В — диффузный слой

Частицы коллоидов находятся в воде под действием диффузионных сил, обусловленных броуновским движением, под их влиянием частицы стремятся равномерно распределиться во всем объеме жидкости. При достаточно малых размерах коллоидных частиц силы диффузии преобладают над силами тяжести, и частицы остаются во взвешенном состоянии, даже если удельный вес вещества коллоида больше единицы. Для того чтобы произошло осаждение этих частиц, необходимо их укрупнение за счет слипания.

Наличие у частиц электрических зарядов одного знака, вызывающих их взаимное отталкивание, мешает слипанию частиц.

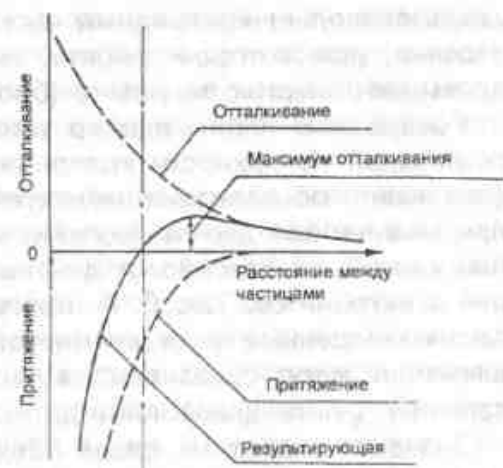
Одновременно между коллоидными частицами имеются молекулярные силы взаимного притяжения, называемые *силами Ван-дер-Ваальса*. Силы притяжения между частицами проявляются лишь при небольшом расстоянии между ними и быстро убывают при увеличении этого расстояния. Для того чтобы начали действовать как силы взаимного отталкивания, так и притяжения между частицами, нужно, чтобы частицы под влиянием кинетических факторов — броуновского движения или перемешивания — начали сближаться. По мере сближения частиц возрастают обе силы — и отталкивания, и притяжения, но вначале сила отталкивания больше силы притяжения, поэтому результирующим является отталкивание, которое достигает максимума при определенном расстоянии между частицами (рис. 3.2). Если частицы под влиянием кинетической энергии своего движения преодолели этот «силовой барьер», то резко увеличивается сила притяжения, и частицы слипаются. Однако необходимость большой кинетической энергии частиц для преодоления сил отталкивания снижает вероятность слипания частиц и коагуляции коллоида, коллоидная система сохраняет свою *агрегативную устойчивость*. При снижении же электрического заряда частиц, т. е. при уменьшении  $\zeta$ -потенциала, силы отталкивания уменьшаются и становится возможным процесс коагуляции коллоида. Экспериментально установлено, что  $\zeta$ -потенциал гидрофобных коллоидных систем колеблется в пределах 0,05—0,1 В. Для того чтобы силы взаимного притяжения между коллоидными частицами могли преобладать над электрическими силами отталкивания,  $\zeta$ -потенциал систем должен быть меньше 0,03 В, с максимальной же интенсивностью идет коагуляция, когда  $\zeta$ -потенциал станет равным нулю.

Состояние коллоидной системы при  $\zeta = 0$  носит название *изоэлектрического состояния*, а величина pH, отвечающая этому состоянию, называется *изоэлектрической точкой системы*.

$\zeta$ -потенциал изменяется при прибавлении к коллоидным системам электролитов. В случае отрицательно заряженных

частиц величина  $\zeta$ -потенциала зависит от катионов электролита, а положительно заряженных частиц — от анионов.

Рис. 3.2. График сил взаимодействия коллоидных частиц



С увеличением концентрации в воде электролита возрастает концентрация противоионов и все большее их количество переходит из диффузного слоя в адсорбционный слой коллоидных частиц, толщина диффузного слоя уменьшается. Противоионы, переходя из диффузного слоя в адсорбционный, нейтрализуют заряд гранулы и понижают  $\zeta$ -потенциал коллоидных частиц. В результате устраняются причины, препятствующие их сближению, коллоидные частицы, соединяясь, образуют сравнительно крупные агрегаты, которые начинают выпадать в осадок. Способность электролита вызывать коагуляцию коллоидной системы возрастает с увеличением валентности коагулирующего иона, обладающего зарядом, противоположным заряду коллоидных частиц.

Так выглядит коагуляция зелей, обусловленная адсорбцией ионов и созданием двойного электрического слоя на поверхности коллоидных частиц. Их устойчивость в растворе определяется гидратацией ионов и влиянием зарядов поверхности на ориентированную адсорбцию дипольных молекул воды. В гидрофобных золях после достижения

пороговых концентраций электролитов наблюдаются явные признаки коагуляции, так как сжатие двойного электрического слоя и соответствующее уменьшение гидратных оболочек позволяет коллоидным частицам сближаться на расстояние, при котором энергия их взаимного притяжения превышает энергию теплового (броуновского) движения.

Совершенно иной характер устойчивости золь при гидрофильной поверхности коллоидных частиц, которая обуславливает образование молекулярных сольватных слоев при участии ван-дер-ваальсовых, водородных и комплексных связей, независимо от действия небольших концентраций электролитов. Так, В. А. Каргиным было показано, что высокоочищенные золи кремневой кислоты и гидроокиси алюминия могут сохраняться в растворе даже при падении величины  $\zeta$ -потенциала почти до нуля [47].

Значение гидратных слоев объяснено Б. В. Дерягиным, который установил, что для сближения коллоидных частиц необходимо затратить работу на преодоление сопротивления так называемого «расклинивающего давления», обусловленного силами молекулярного сцепления воды с поверхностью частиц. На расстоянии  $10 \text{ \AA}$  и меньше силы взаимного притяжения частиц преобладают над силами сцепления в гидратном слое. При больших расстояниях гидратные слои являются термодинамически устойчивым стабилизирующим фактором.

Аналогичное влияние оказывают поверхностно-активные вещества. Изменение гидрофильности поверхности частиц золя в данном случае зависит от ориентации молекул поверхностно-активных веществ в адсорбционном слое. Увеличение гидрофильности и возрастание устойчивости коллоидных частиц в водных системах наблюдается, если полярные группы адсорбированных соединений обращены в сторону дисперсионной среды. Работами П. А. Ребиндера и его сотрудников установлено, что ориентация приобретает особое значение при образовании молекулами поверхностно-активных веществ в адсорбционных слоях двухмер-

ных гелеобразных структур, обладающих повышенными структурно-механическими свойствами [46].

Это явление лежит в основе защитного действия, которое заключается в том, что при добавлении гидрофильных веществ к гидрофобным коллоидам они образуют структурно-прочные адсорбционные слои на поверхности частиц и повышают устойчивость последних по отношению к коагулирующим электролитам.

Во многих случаях стабилизация золя достигается, если гидратные и адсорбционные слои имеют прерывистый характер, покрывая монослоем лишь 40—60 % поверхности коллоидных частиц. Подобное явление наблюдается в растворах высокомолекулярных соединений, для которых характерно расположение гидратных образований островками у ионогенных групп. Термодинамическая устойчивость таких растворов определяется тем, что связь молекул полимерного соединения с водой сильнее их взаимной связи в твердой фазе, и тем, что они равномерно распределены во всем объеме растворителя.

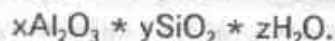
Многие вещества, обуславливающие мутность и цветность природных вод, относятся к числу коллоидных примесей. Кроме того, коллоиды образуются и в процессе очистки воды вследствие гидролиза вводимых в нее коагулянтов. Поэтому при очистке воды коагуляция коллоидов протекает под влиянием сложной смеси электролитов, находящихся в воде, и под влиянием ионов, вносимых в воду при введении в нее коагулянта. Так, при применении сернокислого алюминия в воду вносят значительные количества сульфат-ионов  $\text{SO}_4^{2-}$ . Если в качестве коагулянта используется хлорное железо, в очищаемой воде повышается содержание хлор-ионов  $\text{Cl}^-$ . Наличие смеси электролитов усложняет картину коагуляции, так как при этом эффекты отдельных коагулирующих ионов усиливаются или ослабляются.

Коагуляция коллоидов вызывается не только электролитами, но и взаимодействием противоположно заряженных коллоидов, наступающим при адсорбции одного коллоида поверхностью другого. Этот процесс играет некоторую



роль при осветлении воды коагулированием. Необходимым условием взаимной коагуляции является равенство противоположных зарядов частиц золь. При несоблюдении этого условия коагуляция протекает неполно либо вовсе не наступает, независимо от того, прибавлено ли коагулирующего коллоида слишком мало или слишком много. Отсюда следует, что взаимная коагуляция коллоидов может протекать лишь в узкой зоне соотношения их концентраций.

Большинство коллоидов природных вод в отличие от золь коагулянтов заряжено отрицательно. К таким коллоидам относятся распространенные в природных водах кремнекислота, мельчайшие глинистые и почвенные частицы, а также гумусовые вещества. Глинистые почвенные взвеси состоят в основном из гидроалюмосиликатов, имеющих общую формулу:



Анионы алюмосиликата образуют основу отрицательно заряженной глинистой частицы, окруженной сферой положительных компенсирующих ионов водорода. Величина заряда глинистой частицы и его знак зависят от pH воды, в которой суспендирована глина, так как при повышении концентрации ионов водорода уменьшается диссоциация алюмосиликатной кислоты, а благодаря этому и количество свободных ионов, обуславливающих устойчивость коллоидных частиц. Технологический опыт подтверждает, что глинистые взвеси значительно скорее отстаиваются либо коагулируют при подкислении воды.

Гумусовые вещества, также имеющие кислотный характер, в природных водах встречаются в виде стойких высокодисперсных отрицательно заряженных золь. Основу частиц составляют анионы гуминовых кислот; ионы водорода или катионы металлов составляют внешнюю оболочку двойного слоя.

Как уже указывалось, большинство веществ, обуславливающих мутность и цветность природных вод, является

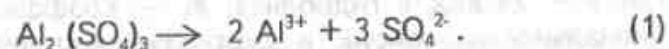
гидрофобными или слабогидрофильными коллоидами. Защита гидрофобных коллоидов с точки зрения технологии очистки воды является нежелательным явлением, так как она вызывает образование стойких взвесей и существенно замедляет осаждение хлопьев коагулянта. В практике имеет место защита глинистых частичек адсорбирующимися на их поверхности гумусовыми веществами. Соотношение глины и гумуса в образующемся комплексе зависит от pH среды.

Снижение устойчивости гидрофильных систем достигается их химической обработкой, за счет которой уменьшается количество полярных групп в молекуле. Для этой цели на станциях водоочистки применяется предварительное хлорирование воды перед введением коагулянта.

В практике очистки воды в качестве коагулянтов используются преимущественно соли алюминия и железа: сернокислый алюминий  $Al_2(SO_4)_3$ , хлорное железо  $FeCl_3$ , железный купорос  $FeSO_4$ , сернокислое трехвалентное железо  $Fe_2(SO_4)_3$ .

Значение этих коагулянтов заключается в том, что они способны образовывать гидрофобные коллоидные системы, которые при коагуляции дают хлопья, сорбирующие и захватывающие при осаждении частицы природных загрязнений воды. Определенное значение имеет также влияние polyvalentных катионов коагулянтов в отношении снижения  $\zeta$ -потенциала отрицательно заряженных частиц загрязнений, благодаря чему понижается стабильность коллоидов, загрязняющих воду.

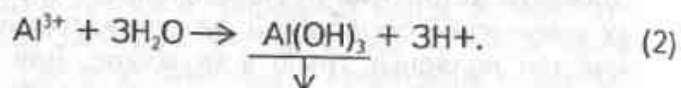
При введении в воду сульфата алюминия происходит его диссоциация:



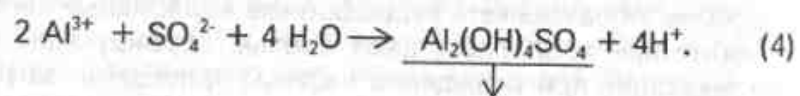
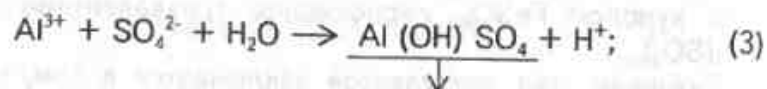
Ионы алюминия вступают в обмен с катионами, которые находятся в адсорбционном слое глинистых частиц, загрязняющих воду. При этом может произойти частичное снижение устойчивости коллоидной системы глинистых частиц за счет обмена одно- и двухвалентных катионов глины на трехвалентные катионы  $Al^{3+}$  и сжатия вследствие этого диффузного слоя.



Процесс ионного обмена частиц взвеси протекает быстро и заканчивается по исчерпанию обменной емкости частиц взвеси и установления равновесия между катионами в адсорбционном слое глинистых частиц и в растворе. После этого идет гидролиз избытка добавленного к воде сульфата алюминия с образованием промежуточных соединений — ионов  $Al(OH)^{2+}$  и  $Al(OH)_2^+$ , заканчивающийся получением коллоида малорастворимой гидроокиси алюминия:



Наряду с гидроокисью алюминия в зависимости от условий гидролиза могут образовываться коллоиды основных солей алюминия, дающих также малорастворимые соединения:



Скорость протекания химических реакций прямо пропорциональна концентрации реагирующих молекул, и скорость гидролиза можно описать уравнением:

$$v = k_1 [Me^{n+}] [H_2O],$$

где  $v$  — скорость гидролиза;  $k_1$  — коэффициент пропорциональности, константа скорости гидролиза;  $[Me^{n+}]$  — концентрация катионов в растворе коагулянта;  $[H_2O]$  — концентрация воды в растворе, моль/л.

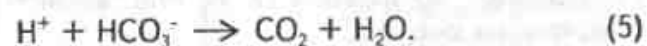
Из уравнения следует, что скорость гидролиза пропорциональна концентрации катионов коагулянта. Но ввиду того, что применяющиеся концентрации его растворов очень незначительны, можно считать, что скорость гидролиза коагулянта прямо пропорциональна его концентрации (или

его дозе), введенной в воду. С повышением температуры скорость гидролиза, как и всех химических реакций, возрастает примерно в два раза на каждые  $10^\circ C$ .

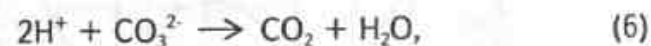
Гидролиз усиливается с разбавлением коагулянта.

Ионы водорода, выделяющиеся при гидролизе сульфата алюминия, задерживают дальнейший гидролиз. Одновременно снижение величины рН воды сдвигает коллоидную систему гидроокиси алюминия и основных ее солей от изоэлектрической точки и ухудшает условия коагуляции.

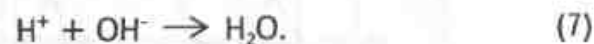
Полнота гидролиза имеет большое значение как для самой коагуляции, так и для качества очищаемой воды, поскольку наличие растворенных ионов алюминия в воде недопустимо. Поэтому необходимо, чтобы образующиеся при гидролизе ионы водорода удалялись из сферы реакции. Это осуществляется за счет реакции ионов  $H^+$  с бикарбонатными ионами, обычно имеющимися в природных водах, т. е. за счет нейтрализации кислотности, получающейся в результате гидролиза, естественной щелочностью воды:



Если щелочность воды недостаточна, то к воде добавляют известь или соду. При добавлении к воде соды связывание ионов  $H^+$  происходит по реакции



а при введении извести —



Из приведенных реакций видно, что величина рН будет наиболее низкой, если нейтрализация получающейся в результате гидролиза кислотности осуществляется за счет бикарбонатной щелочности воды — при этом выделяется наибольшее количество углекислоты (на один ион водорода образуется одна молекула  $CO_2$ , реакция 5). Вдвое меньшее количество свободной углекислоты образуется при нейтрализации кислотности содой, следовательно, ве-

личина pH получается выше и, наконец, наиболее высокое значение pH — при нейтрализации известью ( $\text{CO}_2$  при этом не выделяется). Это следует учитывать при выборе реагента для подщелачивания воды при коагуляции в целях получения оптимального значения pH, обеспечивающего удаление загрязнений, в частности при очистке цветных вод.

В отдельных случаях можно улучшить хлопьеобразование, а следовательно, и общий эффект очистки воды ее продувкой воздухом в смесителе или в камере хлопьеобразования. При этом происходит повышение значения pH воды вследствие удаления части растворенной в воде углекислоты, которой вода обогащается при обработке коагулянт (реакция 5).

При обработке воды сульфатом алюминия, если величина  $\text{pH} < 7,5$ , помимо гидроокиси алюминия в осадок выделяются основные соли алюминия состава, получающегося по уравнениям (3) и (4). Соотношение различных соединений алюминия в получающихся при различных значениях pH осадках, по данным О. И. Мартыновой [48, 49], представлено на рис. 3.3.

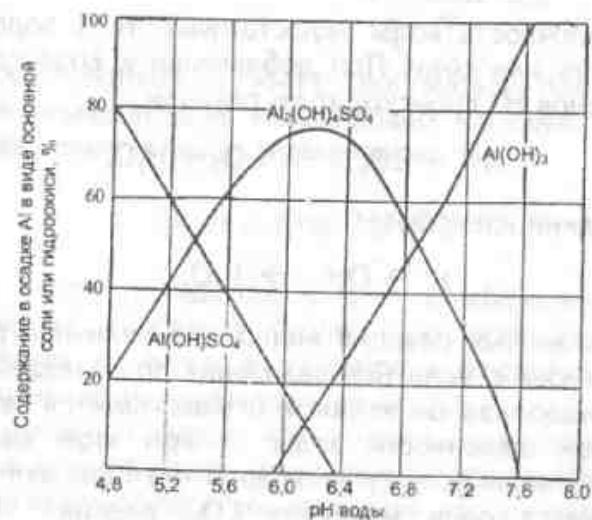


Рис. 3.3. Соединения алюминия в осадках, образующихся при различных значениях pH воды

Коллоидные частицы гидроокиси и основных солей алюминия в нейтральной и слабокислой среде вследствие сорбции катионов водорода и алюминия имеют положительные заряды. Поэтому процесс коагуляции этих коллоидов улучшается при увеличении концентрации в воде поливалентных анионов, в частности  $\text{SO}_4^{2-}$ , которые для положительно заряженных коллоидов являются противоионами (рис. 3.4). Повышение концентрации в воде одновалентных анионов, например Cl, в значительно меньшей степени стимулирует коагуляцию.

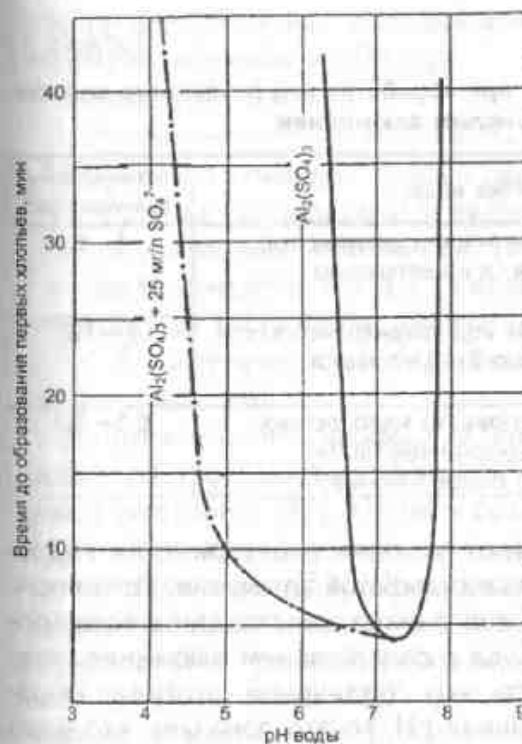


Рис. 3.4. Скорость коагуляции коллоидных соединений алюминия в зависимости от величины pH воды и концентрации ионов  $\text{SO}_4^{2-}$

При высоких значениях pH коллоидные частицы гидроокиси алюминия имеют отрицательные заряды за счет сорбции алюминатных ионов  $\text{AlO}_2^-$ , и в этом случае коагуляция стимулируется катионами, лучше поливалентными.

При значениях  $pH > 8,5$  образуются растворимые алюминаты ( $AlO_2^-$ ). При величине  $pH < 4,5$  гидролиз сульфата алюминия не идет, и введенный в воду сульфат алюминия остается в растворе. При низких значениях  $pH$  возможна прямая реакция ионов алюминия с некоторыми органическими соединениями, в частности анионами гуминовых кислот, с образованием малорастворимых соединений, выпадающих в осадок.

Примерные значения величин  $pH$ , при которых протекает процесс коагуляции после введения в воду сульфата алюминия, приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

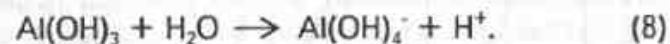
Оптимальные значения  $pH$  при обработке вод различного состава сернокислым алюминием

Характеристика воды	Оптимальные значения $pH$
Осветление и обесцвечивание мягких цветных вод щелочностью до 1,5 мг-экв/л и цветностью более 50 град	5—6
Осветление и обесцвечивание вод средней жесткости (4—5 мг-экв/л) щелочностью 3—4 мг-экв/л и цветностью до 40 град	6—7,2
Осветление жестких (6—8 мг-экв/л) малоцветных вод с повышенным соледержанием (800—1000 мг/л) и щелочностью более 5 мг-экв/л	6,5—7,5

Большое значение имеют условия растворимости гидроксида алюминия и основных сульфатов алюминия. Если после отстаивания и фильтрования с очистной станции в водопроводную сеть поступает вода с содержанием алюминия, превышающим растворимость его соединений, которые образуются при данных величинах  $pH$ , то это означает, что вода находится в состоянии пересыщения соединениями алюминия и возникает опасность так называемой «отлежки», т. е. выделения осадка соединений алюминия в трубах.

Ларсон и Солло [50] отмечают опасность подобных отложений, достигающих иногда значительной толщины (до

10 мм) и заметно отражающихся на пропускной способности труб. Особенно опасно, если в водопроводной сети изменяются температурные условия или величина  $pH$  — в направлении уменьшения растворимости соединений алюминия. Это вызывает дополнительное выделение осадка. Анализируя имеющиеся литературные данные о растворимости гидроксида алюминия, авторы указывают для растворения по реакции



следующие значения отрицательных логарифмов произведений растворимости  $pPR_{Al(OH)_3}$ :

температура, °C	15	20	25	30
произведение растворимости $pPR_{Al(OH)_3}$	12,4	12,5	12,6	12,9

На рис. 3.5 приведен график растворимости  $Al(OH)_3$  в зависимости от температуры и величины  $pH$  воды, построенный по указанным константам. Из этого графика следует, что растворимость  $Al(OH)_3$  уменьшается при повышении температуры и снижении величины  $pH$  воды. При величине  $pH < 5$  растворимость соединений алюминия быстро возрастает (рис. 3.6).

Основные соли сульфата алюминия также отличаются малой растворимостью, близкой к растворимости гидроксида алюминия [47]. Однако существует мнение, что растворимость солей алюминия повышается с увеличением температуры воды [51]. Очевидно, что и те и другие авторы правы, так как влияние температуры на разные процессы, происходящие при коагулировании, может быть противоположное. Если, например, при низких температурах воды снижается растворимость солей алюминия и уменьшается их остаточная концентрация в очищенной воде, то при этом уменьшается и эффективность протекания процесса коагулирования (повышается вязкость воды, снижается интенсивность броуновского движения, снижается скорость химических реакций).



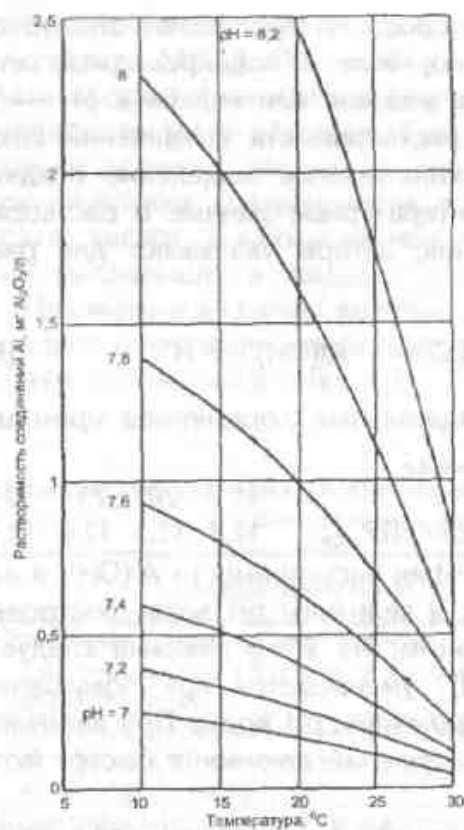
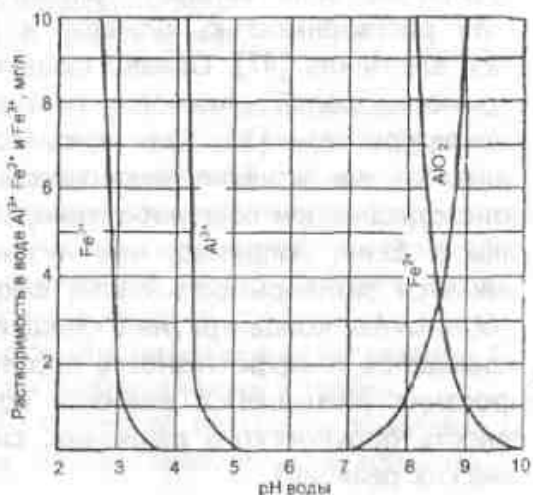


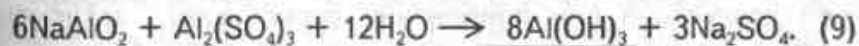
Рис. 3.5. График растворимости  $Al(OH)_3$  в зависимости от температуры и величины рН воды

Рис. 3.6. Растворимость образующихся при коагуляции соединений алюминия и железа в зависимости от величины рН воды



На ход коагуляции при использовании всех видов коагулянтов сильное влияние оказывает температура воды. По мере понижения температуры значительно повышается вязкость дисперсионной среды, уменьшается степень гидролиза коагулянта. Так, при уменьшении температуры воды от 30 до 0 °С вязкость воды увеличивается в 2,24 раза. Увеличение вязкости снижает интенсивность броуновского движения и в итоге скорость коагуляции. Из-за малой кинетической энергии образуются слабые рыхлые хлопья. В этом случае для улучшения качества коагуляционной очистки воды применяются повышенные дозы коагулянта. Также весьма эффективно применение коагулянтов с повышенной основностью — гидросульфатов и гидроксохлоридов алюминия. Они представляют собой полимерные гидроксокомплексы и требуют значительно меньшего щелочного резерва.

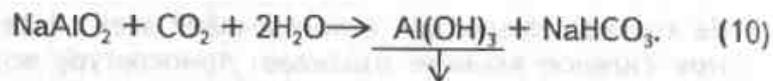
В качестве коагулянта можно применять также алюминат натрия  $NaAlO_2$  самостоятельно или совместно с сульфатом алюминия. Алюминат натрия в отличие от сульфата алюминия является щелочным реагентом, поэтому для проведения коагуляции требуется нейтрализация его щелочности, что может быть осуществлено совместным применением алюмината натрия и сульфата алюминия:



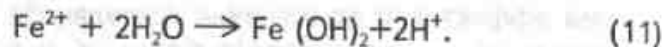
Самостоятельное использование алюмината натрия может оказаться целесообразным в тех случаях, когда нежелательно увеличивать концентрацию в воде сульфатов или хлоридов, содержание которых возрастает при использовании в качестве коагулянтов сернокислых или хлористых солей алюминия или железа. Такое обстоятельство возникает, например, в том случае, если проводится коагуляция для осветления или обесцвечивания воды, поступающей далее на установку для ионитового обессоливания.

В этом случае для нейтрализации щелочности алюмината натрия может быть применена углекислота:





В качестве коагулянтов, как указано выше, применяются также соли железа — сернистое закисное железо  $\text{FeSO}_4$ , хлорное железо  $\text{FeCl}_3$  и сернистая окись железа  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ . При растворении в воде сернистое закисное железо диссоциирует с образованием катионов двухвалентного железа, которые участвуют в ионном обмене с катионами адсорбционного слоя коллоидных частиц загрязнений, а избыток сернистого железа гидролизует:

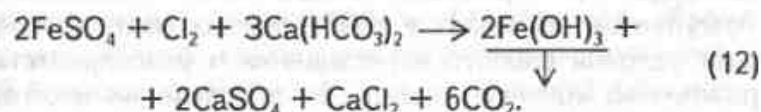


Гидрат закиси железа коагулирует только при величинах  $\text{pH} > 9,5$ , в то время как гидрат окиси железа — при более низких значениях  $\text{pH}$ . Поэтому стремятся обеспечить условия для окисления двухвалентного железа в трехвалентное. Однако с приемлемой для практики скоростью окисление двухвалентного железа растворенным в воде кислородом происходит только при значениях  $\text{pH} > 7,5$ . При недостаточной величине  $\text{pH}$  воды или при недостатке в воде растворенного кислорода железо может оставаться в воде, выходящей из очистной станции. Поэтому для хорошей коагуляции при применении сернистого закисного железа нужно обеспечить величину  $\text{pH}$  воды более 8 и окисление двухвалентного железа в трехвалентное.

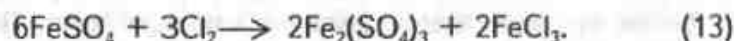
Для создания необходимой величины  $\text{pH}$  воды во всех случаях очистки природных вод приходится воду подщелачивать, в то время как при применении сульфата алюминия подщелачивание производят только в периоды недостаточной щелочности воды.

Для окисления 1 мг закисного железа в окисное требуется 0,143 мг растворенного в воде кислорода. При обычном содержании летом в воде открытого водоема 8—9 мг/л кислорода, учитывая необходимый избыток, можно окислить около 35 мг/л  $\text{Fe}^{2+}$ , т. е. допустимая доза  $\text{FeSO}_4$  (в расчете на безводный) составляет около 100 мг/л.

При недостатке в воде растворенного кислорода железо может быть окислено хлорированием, при этом расход хлора равен 0,24 мг на 1 мг  $\text{FeSO}_4$ . Железный купорос и хлор можно вводить в воду отдельно. Реакцию образования гидрата окиси железа в этом случае можно представить уравнением



Можно также предварительно обработать раствор сернистого железа хлором, а затем к воде добавлять так называемый хлорированный железный купорос, получаемый по реакции



Недостатком сернистого закисного железа как коагулянта является необходимость повышения  $\text{pH}$  воды подщелачиванием и обеспечения условий для окисления двухвалентного железа.

Хлорное железо, сернистое окисное железо и хлорированный железный купорос можно применять без подщелачивания воды, если значение  $\text{pH}$  после добавления коагулянта не становится ниже 5—5,5.

Условия получения малого остаточного содержания железа в воде после ее обработки солями железа показаны на рис. 3.6.

Для очистки воды на водопроводных сооружениях осуществляют процессы осветления и обесцвечивания воды, т. е. удаление гетерофазных примесей, входящих в первую и вторую группы рассмотренной выше классификации. С этой целью в практике водоочистки применяются коагулянты, которые в результате гидролиза образуют малорастворимые хлопья гидроокиси металлов. В процессе своего формирования последние адсорбируют содержащиеся в

воде взвеси и коллоидные соединения и удаляются из воды последующим осаждением и фильтрованием.

Для нормального хода коагуляции большую роль играют размеры и структура частиц гидроокисей, причем размеры выделяющихся при гидролизе коагулянтов частиц гидратов окисей зависят главным образом от степени пересыщения раствора. В процессе водоочистки гидролиз солей-коагулянтов протекает в разбавленных растворах, что создает условия слабого пересыщения и благоприятствует образованию крупных частиц при обеспечении необходимого времени на их формирование.

Весь процесс осветления воды, начиная с образования мицелл — первых "кирпичиков" построения структуры хлопьев и заканчивая их осаждением, условно можно разделить на несколько этапов. На первом этапе после введения коагулянта в очищаемую воду происходит гидролиз его с образованием мицелл и последующим их агрегированием в более крупные шарообразные частицы золя. Появляется опалесценция. Этот период называют стадией скрытой коагуляции. Затем начинается период построения цепочечных структур и образование огромного количества мельчайших хлопьев, которые агрегируются в более крупные и, достигнув определенных размеров, под действием силы тяжести оседают. Наступает стадия седиментации. В действительности эти этапы не следуют друг за другом, а перекрываются, осложняя процесс осветления.

Для того чтобы достигнуть эффективной очистки воды от коллоидно-взвешенных веществ, необходимо обеспечить наиболее благоприятные условия для гидролиза коагулянтов и максимальную скорость образования мицелл первичных агрегатов золя на первом этапе, а также максимальную скорость образования достаточно крупных и быстрооседающих хлопьев на последующем этапе.

Структура хлопьев зависит от состава дисперсной системы, химической природы применяемых коагулянтов и технологических параметров процесса коагулирования. Кроме того, процесс коагулирования зависит от солевого состава воды, главным образом от присутствия тех или иных анио-

нов, так как гидроокиси алюминия и железа заряжены положительно и коагулирующими ионами для них являются анионы. Самыми распространенными анионами большинства природных вод являются  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  и  $\text{HCO}_3^-$ . Концентрация этих анионов, обеспечивающая максимальную скорость коагуляции гидроокисей алюминия и железа, составляет: для  $\text{SO}_4^{2-}$ —0,001-0,002-н, для  $\text{Cl}^-$ —0,07-н и для  $\text{HCO}_3^-$ —0,005-н. В природных водах концентрация этих анионов обычно ниже, следовательно, коагуляция гидроокисей протекает с меньшей скоростью. Большую роль в процессе образования хлопьев играет также анион соли, из которой образуются гидроокись сульфата или хлориды алюминиевых и железных коагулянтов.

При использовании для коагулирования железосодержащих коагулянтов наличие в воде повышенных концентраций хлоридов и гидрокарбонатов способствует упрочнению структуры хлопьев, тогда как сульфаты, наоборот, понижают их прочность. При большом содержании хлоридов и малой щелочности в дисперсионной среде хлопья гидроксидов алюминия не образуются. Ионы хлора при высоких значениях pH воды оказывают сенсibiliзирующее влияние на коагуляцию гидроксидов, а при низких pH — стабилизирующее. При добавлении сульфатов алюминия и железа скорость процесса образования хлопьев и их осаждения зависит от pH среды.

Катионы натрия, кальция, магния меньше влияют на процесс коагуляции, так как их заряд по знаку совпадает со знаком заряда этих зольей.

Ионы кальция оказывают большее влияние в водах, содержащих большие количества ионов сульфата, что объясняется формированием микрокристаллов сульфата кальция в адсорбционных слоях коллоидных мицелл, являющихся центрами кристаллизации [52].

В результате применения коагулянтов наряду с осветлением воды от взвешенных веществ одновременно осуществляется ее обесцвечивание — очистка от гумусовых и других органических веществ, а также удаление растворенных органических и неорганических примесей. Очистка воды от

гумусовых веществ эффективнее осуществляется с помощью алюмосодержащих коагулянтов, чем при использовании сульфата железа [53], так как в последнем случае образуются окрашенные хелаты, увеличивающие цветность очищенной воды.

Применение в определенных соотношениях смеси коагулянтов на основе сульфатов и хлоридов позволяет заметно снизить чувствительность процесса коагуляции к солевому составу воды.

Необходимые дозы коагулянта возрастают при увеличении содержания в воде взвешенных веществ и повышении цветности. Однако процесс коагуляции, как уже отмечалось, существенно зависит от характера взвеси, степени ее дисперсности, заряда, состава гумусовых веществ и т. п. Поэтому предложить в настоящее время какие-либо формулы для определения доз коагулянтов для всех возможных видов взвесей и веществ, вызывающих цветность воды, не представляется возможным. Метод экспериментального определения доз коагулянта является наиболее достоверным.

#### Глава 4. Характеристика коагулянтов и флокулянтов

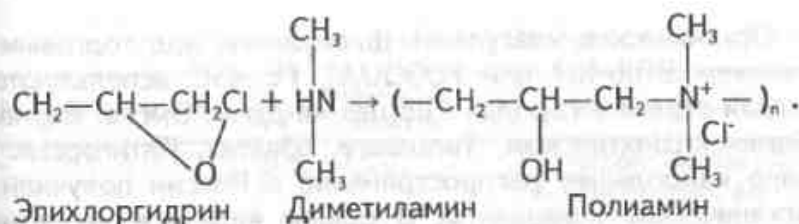
В последние годы на рынке нашей страны появилось много различных коагулянтов и флокулянтов, при этом не существует строгого разделения веществ на коагулянты и флокулянты. Некоторые фирмы классифицируют свои реагенты как органические коагулянты, хотя в российских источниках они всегда относились к флокулянтам [54, 55]. В общем виде к коагулянтам, приводящим к агрегации частиц, относят низкомолекулярные неорганические или органические электролиты, к флокулянтам — неорганические или органические высокомолекулярные соединения, способствующие образованию агрегатов за счет объединения нескольких частиц через макромолекулы адсорбированного или химически связанного полимера [54]. Ключевым отличительным признаком в данном случае является молекулярный вес. С химической точки зрения, отражающей физико-химические взаимодействия при осветлении и обесцвечивании воды, флокулянты обуславливают агрегацию частиц в результате химического взаимодействия в отличие от коагулянтов, воздействующих на электрокинетический потенциал частиц [8]. В зарубежных изданиях, как правило, нет разделения на коагулянты и флокулянты, а все химические реагенты, участвующие в агрегации и седиментации примесей воды, называют флокулянтами. Тем не менее Ла Мер [56] предложил коагуляцией называть агрегацию частиц под действием простых ионов, а флокуляцией — агрегацию под действием полимеров [54].



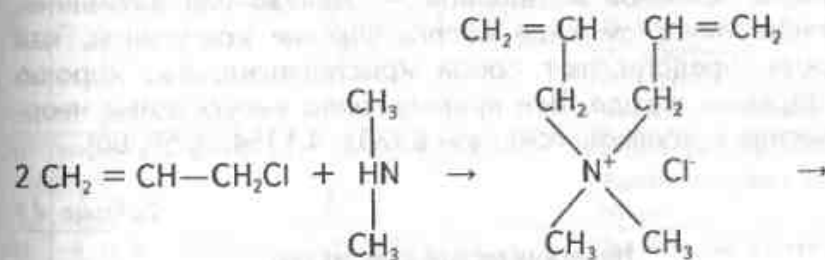
#### 4.1. Виды коагулянтов и флокулянтов

Все химические реагенты классифицируются на органические и неорганические. Не являются исключением и коагулянты и флокулянты. В нашей стране наибольшее распространение получили неорганические коагулянты, представляющие собой соли алюминия, железа или их смеси и существенно реже соли титана, магния, цинка. Последние три металла все же являются экзотикой для коагулянтов и в основном исследовались в лабораторных и опытно-промышленных условиях. Органические коагулянты представляют собой катионные полиэлектролиты, которые ведут себя как первичные (неорганические) коагулянты. Но если действие неорганических коагулянтов основано на дестабилизации путем сжатия двойного электрического поля, окружающего частицы, то органические коагулянты осуществляют дестабилизацию за счет абсорбции длинных молекулярных цепочек с последующим образованием мостиков между частицами и молекулами полимера [57, 58]. Органические коагулянты в отличие от флокулянтов являются низкомолекулярными водорастворимыми полимерами с молекулярной массой 10000—300000. К ним относятся меламинформальдегидные, эпихлоргидриндиметиламиновые и полихлордиаллилдиметил-аммонийные полиэлектролиты [58].

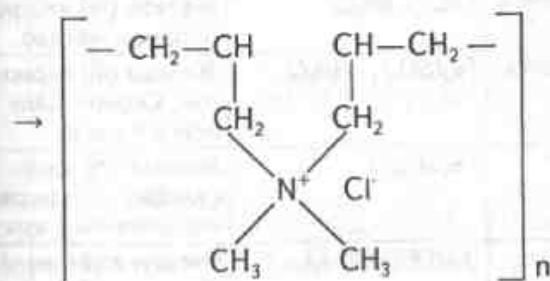
Эпихлоргидрин-диметиламин (ЭПИ-ДМА) является общепринятым названием полимеров на основе полиамина, получаемых путем реакции конденсации диметиламина и эпихлоргидрина. За счет управления последовательностью добавления мономера в реактор молекулярная масса получаемого полимера может меняться в пределах от 10000 до 1000000. Удельный катионный заряд и связывающая способность этих коагулянтов определяется именно действием аминов. Полиамины отличаются от других полиэлектролитов тем, что их катионный заряд располагается на главной молекулярной цепи:



Другой коагулянт, применяемый для подготовки питьевой воды, — полидиаллилдиметиламмоний хлорид (полиДАДМАХ). Производство полиДАДМАХа включает в себя две последовательные ступени — образование мономера и полимеризацию. Мономер обычно образуется в результате реакции стехиометрической смеси аллилхлорида с диметиламином в водном растворе. Молекулярная масса получаемого полимера может составлять от 10000 до 1000000.



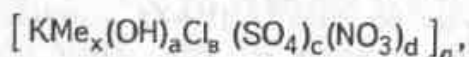
Аллилхлорид    Диметиламин    ДАДМАХ



ПолиДАДМАХ



Органические коагулянты-флокулянты под торговым названием ВПК-402 или FLOQUAT FL 45С используются в нашей стране в городах Ростове-на-Дону, Омске, Барнауле, Каменск-Шахтинском, Таганроге, Шахтах, Пятигорске. Однако наибольшее распространение в России получили неорганические коагулянты. В общем виде все неорганические коагулянты можно представить химической брутто-формулой [59, 60]:



где  $a + b + c + d = 2 \div 6$ , K — катион, Me — ион металла, X = 1 ÷ 2.

В качестве катиона могут выступать калий, натрий, аммоний, а основной металл-ион — железо или алюминий. В кристаллическом виде неорганические коагулянты, как правило, представляют собой кристаллогидраты, хорошо растворимые в воде. Все промышленно выпускаемые неорганические коагулянты показаны в табл. 4.1 [54, 5, 59, 60].

Таблица 4.1

Неорганические коагулянты

Me	K	Коэффициенты	Химическая формула	Наименование
Fe	—	a = 0, c = 0, d = 0	FeCl <sub>3</sub> · 6H <sub>2</sub> O	Железо (III) хлорид. Хлорное железо
Fe	—	a = 0, b = 0, d = 0	Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> · 9H <sub>2</sub> O	Железо (III) сернокислое. Сернокислая окись железа
Fe	—	a = 0, d = 0	Fe(SO <sub>4</sub> )Cl	Железа (III) хлорсульфат. Хлорированный железный купорос
Fe	—	b = 0, d = 0	[Fe(OH) <sub>a</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>c</sub> ] <sub>n</sub>	Оксисульфат железа (III). Полиоксисульфат железа

Продолжение табл. 4.1

Me	K	Коэффициенты	Химическая формула	Наименование
Fe	—	c = 0, d = 0	[Fe(OH) <sub>a</sub> Cl <sub>b</sub> ] <sub>n</sub>	Оксихлорид железа (III). Полиоксихлорид железа
Fe	—	a = 0, b = 0, d = 0	FeSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	Железо (II) сернокислое. Железный купорос
Al	—	a = 0, b = 0, d = 0	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> · nH <sub>2</sub> O	Алюминия сульфат. Сернокислый алюминий
Al	—	a = 0, c = 0, d = 0	AlCl <sub>3</sub> · 6H <sub>2</sub> O	Алюминия хлорид. Хлористый алюминий
Al	—	a = 0, b = 0, c = 0	Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> · 9H <sub>2</sub> O	Алюминия нитрат. Азотнокислый алюминий
Al	—		[Al <sub>2</sub> (OH) <sub>a</sub> Cl <sub>b</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>c</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>d</sub> ] <sub>n</sub>	Оксихлорсульфатонитрат алюминия. Полиоксихлорсульфатонитрат алюминия
Al	—	c = 0, d = 0	[Al <sub>2</sub> (OH) <sub>a</sub> Cl <sub>b</sub> ] <sub>n</sub>	Оксихлорид алюминия. Полиоксихлорид алюминия
Al	—	b = 0, d = 0	[Al <sub>2</sub> (OH) <sub>a</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>c</sub> ] <sub>n</sub>	Оксисульфат алюминия. Полиоксисульфат алюминия
Al	—	d = 0	[Al <sub>2</sub> (OH) <sub>a</sub> Cl <sub>b</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>c</sub> ] <sub>n</sub>	Оксихлорсульфат алюминия. Полиоксихлорсульфат алюминия
Al	—	b = 0	[Al <sub>2</sub> (OH) <sub>a</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>c</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>d</sub> ] <sub>n</sub>	Оксисульфатонитрат алюминия. Полиоксисульфатонитрат алюминия
Al	K	a = 0, b = 0, d = 0	KAl(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> · 12H <sub>2</sub> O	Алюмокалиевые квасцы
Al	NH <sub>4</sub>	a = 0, b = 0, d = 0	NH <sub>4</sub> Al(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> · 12H <sub>2</sub> O	Алюмоаммониевые квасцы
Al	Na	a = 0, b = 0, d = 0	NaAl(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> · 12H <sub>2</sub> O	Алюмонатриевые квасцы
Al	Na	b = 0, c = 0, d = 0	NaAl(OH) <sub>4</sub>	Алюминат натрия

## 4.2. Производство коагулянтов в России и за рубежом

Очистка природной и сточной воды с применением химических реагентов является единственной возможностью стабильного хозяйственно-питьевого водоснабжения в условиях интенсивного воздействия на водные источники. Поэтому в последнее время во всем мире уделяется значительное внимание производству коагулянтов и флокулянтов. Номенклатура и виды реагентов, как правило, определяются сырьевой базой и историческими традициями. Значительная роль, а в некоторых случаях решающая, принадлежит нормативной базе в области водоснабжения (ГОСТ, СанПиН, ГН, СНиП) и личности руководителя водочистой станции (водоканала).

Наша страна является крупнейшим государством, добывающим и экспортирующим нефть, природный газ, цветные металлы. Вышеперечисленные природные ископаемые содержат значительное количество серы, которую необходимо утилизировать. Для этой цели на всех нефтеперерабатывающих заводах построены установки обессеривания нефти (сера является сильнейшим ядом для катализаторов в процессах нефтепереработки и нефтехимии). Поэтому практически все нефтеперерабатывающие предприятия являются поставщиками сотен тысяч тонн технической серной кислоты (ГОСТ 2184). Для очистки экспортного газа в Западной Сибири построено более 10 газоперерабатывающих заводов. Широко известны крупнейшие в мире Оренбургский и Астраханский газоперерабатывающие заводы, которые в качестве товарного продукта производят десятки тысяч тонн гранулированной и жидкой серы, являющейся сырьем для производства серной кислоты на крупных химических предприятиях (Воскресенском заводе минеральных удобрений, череповецких ОАО «Азот» и «Аммофос», «Щекиноазот», НАК «Азот» (Новомосковск), пермских и березняковских ОАО «Минудобрения»). В 2004 г. Россия экспортировала около 5 млн т гранулированной и жидкой серы (ГОСТ 127). Сульфидные руды цветных металлов так-

же являются источником значительных количеств серы. Среднеуральский и Красноуральский медеплавильные заводы, Мончегорский комбинат полиметаллов и др. также производят десятки тысяч тонн серной кислоты. Общее производство технической серной кислоты в России в 2004 г. превысило 9 млн т. В связи с этим в нашей стране наибольшее распространение особенно в последние годы получили сульфатные коагулянты (суммарная мощность производства — более 1 млн т). Во времена Советского Союза значительное количество серной кислоты шло на производство взрывчатых веществ и удобрений. Однако после либерализации цен, перехода экономики на рыночные методы хозяйствования и политики разоружения и сокращения армии освободились значительные мощности по выпуску серной кислоты, направленной на производство сернокислого алюминия.

Общие мощности по производству газообразного хлора в России составляют около 1,5 млн т в год. В настоящее время мощности загружены на 70 %, из них 77,5 % используются непосредственно в хлорной промышленности, из которых только около 5 % заняты производством соляной кислоты. Таким образом, в пересчете на 100%-ный хлористый водород Россия выпускает 80—85 тыс. т соляной кислоты или по товарному продукту 250—260 тыс. т [61]. Основными производителями соляной кислоты являются следующие предприятия: ОАО «Каустик» (г. Волгоград), ЗАО «Каустик» (г. Стерлитамак, Башкирия), ОАО «Саянскхимпласт» (г. Саянск, Иркутская обл.), ОАО «Химпром» (г. Кемерово), ООО «Усольехимпром» (Усолье-Сибирское, Иркутская обл.), ОАО «Капролактам» (г. Дзержинск, Нижегородская обл.). Даже при равенстве расходных коэффициентов (ниже мы увидим это на конкретных примерах) для выпуска сульфатных и хлоридных алюминиевых коагулянтов потенциал производства сернокислого алюминия (ГОСТ 12966) в нашей стране на порядок превышает производство хлоридных коагулянтов. Только в последнее время в связи с принятием новых нормативных требований по остаточному алюминию в питьевой воде на-

метилась тенденция по увеличению производства и использования оксихлоридов алюминия [59, 60].

Соседние с Россией страны — Финляндия и Украина — крупнейшие производители двуоксида титана ( $TiO_2$ ), являющейся прекрасным пигментом для лакокрасочной промышленности. Источником титана служат железотитановые руды, в частности ильменит. При первичной переработке этой руды состава 40—60 %  $TiO_2$  — 40—50 %  $FeO + Fe_2O_3$  напрямую образуется сернокислое железо  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ , которое можно сразу использовать в качестве коагулянта. Однако двухвалентное железо является окислителем и приводит к значительной коррозии водопроводных труб. Поэтому необходимо переводить  $Fe^{2+}$  в  $Fe^{3+}$ . Вышеназванный продукт производят в настоящее время фирмы Kemira (Финляндия) и ОАО «Сумыхимпром» (Украина). Однако в Украине выпускается значительное количество алюмосодержащих коагулянтов (мощности по  $Al_2(SO_4)_3$  составляют свыше 450 тыс. т/год). Например, ОАО «Сумыхимпром», наладившее производство водного раствора сульфата железа ( $Fe^{3+}$ ) — СЖК, имеет крупнейшее в Европе производство сульфата алюминия (267 тыс. т/год). Сырьевым источником являются бокситы, привозимые из Африки и перерабатываемые на Николаевском глиноземном комбинате.

Бокситы (от французского *bauxite*) именуются по названию местности Ле-Бо (Les Baux) на юге Франции, где впервые были обнаружены залежи этих алюмосодержащих материалов. Поэтому при оценочных запасах во Франции более 100 млн т бокситов и добыче около 4 млн т в этой стране применяются только алюмосодержащие коагулянты. Аналогичная ситуация и в Италии, имеющей на о. Сардиния богатые месторождения бокситов, а на о. Сицилия — крупнейшие запасы чистой природной серы. В Испании имеются богатые промышленные месторождения каолиновых и апатитовых руд. Помимо производства алюмосодержащих коагулянтов, значительное количество гидрооксида алюминия Испания экспортирует в Швецию на крупнейший в мире завод по производству коагулянтов в г. Хельсинборге (мощность производства более 300 тыс. т/год).

Кроме того, в Швеции имеются крупные запасы железной руды (пирита) — свыше 4 млрд т, а также сульфидные месторождения руд меди, цинка, свинца (г. Болиден и Шеллефтео). Поэтому на заводе в г. Хельсинборге также производятся железосодержащие сульфатные коагулянты.

В США и Канаде производятся как алюмосодержащие, так и железосодержащие коагулянты. Так, в США на производство сульфата алюминия расходуется до 150 тыс. т 100%-ного  $Al(OH)_3$  или 100 тыс. т  $Al_2O_3$ . В Канаде подобные расходы составляют до 40 тыс. т 100%-ного  $Al(OH)_3$  или 25 тыс. т  $Al_2O_3$ . В то же время осуществляется значительный выпуск железосодержащих коагулянтов, в том числе оксихлорида железа или полиоксихлорида железа. В Западной Европе на производство сульфата алюминия используется до 320 тыс. т 100%-ного  $Al(OH)_3$  или 200 тыс. т  $Al_2O_3$ , а для производства хлоридов алюминия — 100 тыс. т 100%-ного  $Al(OH)_3$  или 65 тыс. т  $Al_2O_3$ . В Японии на производство сульфата и полиоксихлорида алюминия, а также алюмината натрия ежегодно используется до 265 тыс. т 100%-ного  $Al(OH)_3$  или 170 тыс. т  $Al_2O_3$ .

В России на производство сульфата и полиоксихлорида алюминия ежегодно используется до 135 тыс. т 100%-ного  $Al(OH)_3$  или 85 тыс. т  $Al_2O_3$ . Однако, если в СССР было 10 производителей сернокислого алюминия, то в современной России — более 20 производителей жидкого и кристаллического сульфата алюминия (табл. 4.2). Данные таблицы (мощность и производство) указаны в пересчете на 15%-ный  $Al_2O_3$ . Суммарные мощности российских производителей сульфата алюминия (СА) превышают 800 тыс. т/год. Но географическая близость крупнейших европейских производителей СА и производителей из бывших республик СССР сказывается на объеме импорта в Россию, хотя после дефолта 1998 г. существенно изменилась структура и объем импорта в Россию сернокислого алюминия. В табл. 4.3 представлены иностранные производители СА из сопредельных с Россией государств, а в табл. 4.4 приведены структура и объем импорта и экспорта за последние годы. Из данных табл. 4.4 видно, что



рыночная ситуация в России и соседних государствах влияет на объем импорта СА. Так, во времена стабильного обменного курса рубль/доллар США были большие поставки из Финляндии и Швеции. Справедливости ради отметим, что и качество этого продукта (сульфата алюминия — ALG) значительно выше — содержание  $Al_2O_3$  не менее 17 %, гранулированный коагулянт расфасован в полиэтиленовые герметичные мешки по 35 кг, уложенные на поддоны.

Таблица 4.2

Российские производители сульфата алюминия

Предприятие	Город, регион	Мощность тыс. т/год	Производство, тыс. т	
			2003 г.	2004 г.
ОАО «Южно-Уральский криолитовый завод»	Кувандык, Оренбургская обл.	120	60	110
ОАО «Фосфор»	Тольятти, Самарская обл.	85	40	75
ОАО «АУРАТ»	Москва	85	57	46
ОАО «Святогор»	Красноуральск, Свердловская обл.	60	45	30
ОАО «Полевской криолитовый завод»	Полевской, Свердловская обл.	60	20	5
ЗАО «Кемира-Эко»	Санкт-Петербург	50	35	30
ОАО «Ачинский глиноземный комбинат»	Ачинск, Красноярский край	30	20	20
ООО «АКВА-Реагент»	Дзержинск, Нижегородская обл.	50	—	5
ООО «Химпродукт»	Набережные Челны, Татарстан	40	5	15
ООО «Мисо»	Буй, Костромская обл.	30	18	6
ООО «Синтез»	Кострома	25	6	10
ООО «Урал-Коагулянт»	Первоуральск, Свердловская обл.	20	10	12

Окончание табл. 4.2

Предприятие	Город, регион	Мощность тыс. т/год	Производство, тыс. т	
			2003 г.	2004 г.
ЗАО «Граск»	Канаш, Чувашская Республика	20	2	5
ОАО «Волховский алюминиевый завод»	Волхов, Ленинградская обл.	20	10	4
ОАО «Сорбент»	Пермь	20	13	12
ЗАО «Аллико»	Сала, Ленинградская обл.	20	8	10
ООО «НПО "Завод химических реагентов"»	Архангельск	15	10	12
ОАО «Котласский ЦБК»	Коряжма, Архангельская обл.	25	15	10
ООО «Завод химических реагентов»	Ярославль	15	12	15
ОАО «Амурскбумпром»	Амурск, Хабаровский край	15	5	5
ОАО «Капролактам»	Дзержинск, Нижегородская обл.	10	3	2
ОАО «Галоген»	Пермь	10	2	2
ОАО «Нижегородские сорбенты»	Нижний Новгород	5	2	2
ОАО «ТОКЕМ»	Кемерово	5	5	4
ОАО «Каустик»	Волгоград	5	—	—
ООО «Корсиб»	Курск	5	2	2

Однако количество импортируемого серноокислого алюминия после дефолта 1998 г. резко уменьшилось, и в настоящее время осуществляется только приграничная торговля. В 2000—2001 гг. из Казахстана, а в 1996—1999 гг. из Украины импортировалось значительное количество СА за счет низких цен на основное сырье и дешевой рабочей силы, а также за счет государственных преференций в этих странах. Но по мере полного перехода на рыночные отношения во внешней торговле, информатизации коммерческих отношений и глобализации экономики стоимость СА становится примерно одинаковой, что отражается на значи-



тельном уменьшении импорта этого продукта (снижение объема закупок до 10 раз в сравнении с объемами 1998 г.), и внешняя торговля ограничивается только приграничным товарообменом.

Таблица 4.3

Производители сульфата алюминия из сопредельных с Россией государств

Фирма	Страна, город	Мощность, тыс. т/год
Kemira Chemicals, Oy	Finland, Harjavalta	130
Kemira Kemi, AB	Sweden, Helsingborg	260
Kemivesi, AS	Эстония, Таллин	10
Kemipol, Sp.z.o.o.	Poland, Wroclaw	40
Siarkopol, Sp.z.o.o.	Poland, Tarnobrzeg	10
Polkem, Sp.z.o.o.	Poland, Torun	10
Achema, JSC	Литва, Ионава	10
ООО «СП «Ксант» РУП «Гомельский химический завод»	Беларусь, Гомель	60
ДП «Завод Коагулянт» ОАО «Сумыхимпром»	Украина, Сумы	267
ОАО «Пологовский химический завод "Коагулянт"»	Украина, Пологи	176
ГАК «Титан»	Украина, Армянск	24
АООТ «Азералюминиум»	Азербайджан, Сумгайыт	50
ОАО «Алюминий Казахстана»	Казахстан, Павлодар	100

Таблица 4.4

Объемы импорта и экспорта сульфата алюминия России по годам, тыс. т/год

Страна	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Украина	35148	15912	38186	25810	4659	2861	1639	914	1243
Казахстан	9760	9325	13921	13905	39112	39347	13549	7540	5184
Финляндия	10647	10548	15917	2033	2494	403	445	489	708
Китай	6505	4549	6476	1464	289	66	—	—	—
Швеция	3001	1059	1742	—	—	—	20	—	—

Окончание табл. 4.4

Страна	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Другие	589	311	478	5384	2883	645	22	414	294
Всего импорт в Россию	65650	41704	76720	48596	49437	43322	15675	9357	7429
Всего экспорт из России	2801	2556	2547	2724	2073	1836	1881	1755	2437

Первые опытные и полупромышленные разработки по производству оксихлорида алюминия были выполнены в 50—60 годы XX века. Отечественные ученые и разработчики всегда ориентировались на использование различных алюминийсодержащих отходов [63, 64]. Это не позволило добиться удовлетворительной чистоты реагентов за счет наличия большого числа примесей, в том числе тяжелых металлов. Такие коагулянты нельзя было применять для очистки питьевой воды, и все получаемые из отходов реагенты использовались для очистки сточных вод. При этом эффективность применения оксихлорида алюминия (ОХА) намного превосходила СА. В настоящее время существуют семь основных способов получения оксихлоридов алюминия или полиоксихлоридов алюминия (ПОХА), в международной классификации — polyaluminium chlorides (PAC). Эти способы будут подробно описаны в разделе 4.4. Получаемые при этом продукты имеют различную основность, которая определяется по формуле:

$$\% = \frac{[\text{OH}^-]}{3[\text{Al}^{3+}]} \cdot 100 \%,$$

где  $[\text{OH}^-]$  — содержание гидроксид-иона, а  $[\text{Al}^{3+}]$  — содержание иона алюминия в товарном продукте.

Существуют и другие оценки основности, например, модуль основности [65], показывающий степень замещения гидроксид-иона на ионы хлора в товарном продукте. Так, по реакции:



в конечном продукте из возможных шести гидроксид-ионов один замещен ионом хлора (Cl), и степень замещения равна 1, следовательно, модуль основности  $(6-1)/6 = 5/6$ , что соответствует основности 83 %. С учетом дальнейшей интеграции нашей страны в мировую экономику мы будем придерживаться международной терминологии и использовать понятие "основность". В Советском Союзе у разработчиков технологии получения ПОХА сложилось устойчивое мнение, что чем выше основность, тем лучше коагулянт для очистки питьевой и сточной вод. Однако вопрос основности должен решаться не в общем теоретическом плане (когда априори считается, что наиболее приемлем высокоосновный коагулянт), а применительно к конкретным характеристикам очищаемой воды. Многочисленные примеры свидетельствуют о противоположном результате, и после лабораторных и опытно-промышленных испытаний оптимальными по затратам (высокоосновные реагенты более дорогие) и коагулирующей способности оказываются среднеосновные и даже низкоосновные оксихлориды алюминия. В табл. 4.5 представлены марки ПОХА различных европейских производителей, расположенные по мере уменьшения основности. Большинство продуктов зарубежных фирм имеют основность в пределах 40—60 %. В СССР первое промышленное производство было спроектировано и построено в г. Ионава (Литовская Республика) в 1990—1991 гг.

Таблица 4.5

Торговые марки PAC (ПОХА)

Фирма— производитель	Торговая марка	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Основность	SO <sub>4</sub>
			%	
Hoechst	Locron L	22,1	89	0
Вода Евразии	БОПАК-Е	20,0	83	0
Полипром	ПОЛВАК-80	10,0	80	0
Soltech	Soltech HB	10,5	73	1,6
Kemira	PAX-XL1	10	70	1
АУРАТ	АКВА-АУРАТ-10	10	70	0

Окончание табл. 4.5

Фирма— производитель	Торговая марка	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Основность	SO <sub>4</sub>
			%	
Breustedt	PAC	12,1	69	0
Rhone-Poulenc	Agualenc	8,1	58	2,7
Atochem	WAC	9,9	55	2,6
Montedison	Alpoclar AB	9,9	54	2,7
Sachtleben	Sachtoklar	10	53	2,7
Sachtleben	PaperPacN	9,7	53	2,7
Caldic	PAC	9,7	52	2,6
Atochem	WAC	9,8	51	2,6
Veitsiluoto	Oulupac	17,4	48	0
Akzo	Redifloc	16,8	47	0
Atochem	PAC	17,3	45	0
АУРАТ	Аква-Аурат-18	17,1	43	0
Kemira	PAX-18	17	40	0
Montedison	Alpoclar 200	17,2	40	1,2
Kemira	PAX-21	13,4	36	0
Hoechst	Povimal	12,5	34	0
Ekokemi	Ekofock	10,1	29	0,8
Ekokemi	Ekofock	9,8	28	1,2
Kemira	PAX-14	13,6	26	0

Однако это производство было введено в промышленную эксплуатацию только после распада СССР, в 1994 г. В России решающим фактором перехода в водоподготовке на использование ПОХА явились подготовка и вступление в действие СанПиН 2.1.4.559-96, которые значительно ужесточили требования к качеству питьевой воды, в том числе к содержанию остаточного алюминия в питьевой воде после обработки. Поэтому производство ПОХА во всех регионах нашей страны активно увеличивается. В табл. 4.6 представлены российские производители ПОХА (ОХА). Мощность производства указана по рекламным буклетам производителей или по данным сайтов Интернета. Обраща-

ет на себя внимание тот факт, что большинство производителей имеют небольшую мощность установок, работают на дорогостоящем металлическом алюминии и поставляют реагенты для очистки в рамках одного города или области.

Таблица 4.6

Российские производители ПОХА (ОХА)

Предприятие	Город, регион	Сырье	Мощность, тыс. т/год	Содержание $Al_2O_3$ , %
ОАО «АУРАТ»	Москва	$Al(OH)_3$	75 20	Жидкий, 10 Сухой, 30
ОАО «Сорбент»	Пермь	Al	10 3	Жидкий, 10 Сухой, 45
ОАО «Капролактан»	Дзержинск, Нижегородская обл.	$Al(OH)_3$ Al	10	Жидкий, 10
ОАО «Бокстогорский глинозем»	Бокстогорск, Ленинградская обл.	$Al(OH)_3$	10	Жидкий, 10
ЗАО «Сибресурс»	Новосибирск	Al	10	Жидкий, 20
ЗАО «Реагенты водоканала»	Екатеринбург	Al	10	Жидкий, 20
ОАО «Даль-ОХА»	Хабаровск	Al	6	Жидкий, 20
ОАО «Галоген»	Пермь	Al	5	Жидкий, 15
ЗАО «Реагенты водоканала»	Азов, Ростовская обл.	Al	5	Жидкий, 20
МУП «Водоканал»	Новосибирск	Al	3	Жидкий, 20
ООО ПО «Спектр»	Волгоград	Al	3	Жидкий, 15
ОАО «Химпром»	Кемерово	$Al(OH)_3$	3	Жидкий, 10
ЗАО «Северхимпром»	Череповец, Вологодская обл.	$Al(OH)_3$	3	Жидкий, 15
ОАО «Каустик»	Стерлитамак, Башкортостан	Al	1	Жидкий, 15

Географическая близость крупнейших из ближайших к нашей стране европейских производителей PAC и произво-

дителей из бывших республик СССР практически не сказывается на объеме импорта в Россию. В табл. 4.7 представлены иностранные производители PAC и ПОХА из сопредельных государств, а в табл. 4.8 — объем импорта за последние годы [8]. Основными импортерами PAC в Россию являются предприятия транснациональной фирмы Kemira, имеющей заводы в Швеции, Финляндии и Польше. Эта фирма имеет устойчивые связи с предприятиями и водоканалами Северо-Западного федерального округа: ОАО «Пивоваренная компания "Балтика"», ОАО «Светогорск» — Светогорский целлюлозно-бумажный комбинат, водоканалы Калининграда, Выборга, Петрозаводска. Из всего объема импорта PAC в Россию 65—95 % приходится на фирму Kemira. В данном разделе проанализировано производство коагулянтов в России и сопредельных государствах, в конце представлены данные по другим регионам мира.

Таблица 4.7

Производители PAC из сопредельных государств

Фирма	Страна, город	Мощность тыс. т/год	Содержание $Al_2O_3$ , %
Kemira Chemicals, Oy	Finnland, Aesta	30	18, жидкий
Kemira Chemicals, Oy	Finnland, Harjavalta	15	10, жидкий
Eka Chemicals, Oy	Finnland, Oulu	40	18, жидкий
Ekoflock, AB	Sweden, Vetlanda	45	18, жидкий
Kemira Kemi, AB	Sweden, Helsingborg	60 20	18, жидкий 30, сухой
Kemipol, Sp.z.o.o.	Poland, Police	15	18, жидкий
Kemipol, Sp.z.o.o.	Poland, Wroclaw	30	18, жидкий
Achema, JSC	Литва, Ионава	10	10, жидкий
ОАО «Пологовский химический завод "Коагулянт"»	Украина, Пологи	25	10, жидкий
КЭС-7	Украина	2	20, жидкий



Таблица 4.8

## Объемы импорта РАС в Россию по годам, тыс. т/год

Страна	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Финляндия	675	475	527	677	827	1116	1256	1134	1665
Швеция	447	677	638	67	96	47	98	—	—
Польша	—	—	450	557	—	10	57	98	23
Литва	2	318	—	—	5	—	6	—	—
Германия	64	179	58	6	72	9	19	133	113
Ирландия	—	—	—	—	382	106	—	344	384
США	4	—	19	16	11	11	40	37	131
Другие	66	26	3	10	17	57	15	5	78
Всего	1258	1675	1695	1333	1410	1356	1491	1751	2395

В США в настоящее время производится до 1400 тыс. т/год сернокислого алюминия, импортируется около 50 тыс. т/год из Канады и Мексики. Реагент производится в основном из бокситов (количество нерастворимых веществ до 10 мас. %). Более половины выпускаемого СА используется для водочистки. Необходимо отметить, что, по данным [66], в 1974 г. выпускалось 1374 тыс. т/год сернокислого алюминия. Таким образом, за последние 30 лет производство СА стабилизировалось, а с учетом роста населения и промышленного производства (увеличение водопотребления) предпочтение отдается применению полиоксихлоридов алюминия и железосодержащих коагулянтов. Ежегодное потребление полиоксихлорида стабилизировалось на уровне 300 тыс. т/год (содержание 10,5 %  $Al_2O_3$ ). За последние тридцать лет его производство выросло в 1,7 раза (по данным [66], в 1973 г. оно составляло 180 тыс. т/год).

Практически половина сернокислого алюминия используется для водочистки, а остальная часть — для производства целлюлозы и бумаги, примерно 4—5 % применяется для технических целей: обработки кожи, фотографии, косметики, фармацевтики и т. д.

Европейские производители сернокислого алюминия обладают мощностью около 3 млн т (17 % по  $Al_2O_3$ ). (В эту цифру не входят данные российских производителей.) Крупнейшие химические концерны, такие как Kemira, Akzo-Nobel и Rhone-Poulenc, проводят агрессивную политику по захвату рынка как в Западной, так и в Восточной Европе. В табл. 4.9 указаны мощности европейских производителей СА (кроме России).

Таблица 4.9

## Европейские производители сернокислого алюминия

Фирма—производитель	Страна, город	Мощность, тыс. т/год
Kemira Chemie GmbH	Австрия, Krems an der Donau	30
Kemira Chemicals S.A./N.V.	Бельгия, Wavre	30
Ксант ООО	Белоруссия, Гомель	60
UM Cobalt & Energe Products	Бельгия, Overpelt	40
MOTIM	Венгрия, Mosonmagyarovar	65
Alcan Chemicals Europe Water Treatment	Великобритания, Gravesend Widnes	20 100
R. & J. Garroway Ltd	Великобритания, Glasgow	80
Laporte plc	Великобритания, Widnes	120
Rhodia Limited	Великобритания, Bristol	20
Akzo Nobel Chemicals GmbH	Германия, Düren	50
Chemische Fabriken Oker und Braunschweig AG	Германия, Goslar	20
Chemische Fabrik Fahrbücke GmbH	Германия, Langenbach	60
GFE Gesellschaft für Elektro-metallurgie mbH	Германия, Nürnberg	15
BK Giulini Chemie GmbH	Германия, Ludwigshafen	100
Akzo Nobel Chemicals B.V.	Голландия, Amsterdam	25
Rhodia Chemische Fabrieken	Голландия, Sas van Gent	80
Athens Papermill SA	Греция, Drama	10
Ste. Industries Chimiques du Nord de la Grece SA	Греция, Thessaloniki	20



Фирма—производитель	Страна, город	Мощность, тыс. т/год
Viofarm SA	Греция, Athinai	35
Alumina Chemicals Ltd	Ирландия, Dublin	20
Electroquimica Andaluza SA	Испания, Ubeda	30
Kemira Iberica SA Kemwater	Испания, Astillero	25
	Испания, Flix	10
	Испания, Sant Fost	30
	Испания, Sevilla	30
	Испания, Tarragona	30
Akzo Chemicals SpA	Италия, Soave	35
BASLINI SpA	Италия, Treviglio	30
Rhone-Poulenc Italia SpA	Италия, Livorno	50
Salento Industrie Chimiche SpA	Италия, Lecce	50
SEITA Srl	Италия, Empoli	20
Italchemical SpA	Италия, Frosinone	20
Achema, JSC	Литва, Ионава	5
Kemira Chemicals AS	Норвегия, Fredrikstad	10
Siarkopol, Sp.z.o.o.	Польша, Tarnobrzeg	10
Polchem, Sp. z.o.o.	Польша, Torun	5
Kemipol Ltd	Польша, Wroclaw	35
Aliada Quimica de Portugal Ltd	Португалия, Estarreja	30
Quimitecnica S.A	Португалия, Barreiro	15
Alchim Kemwater	Румыния, Tulcea	30
Bicara S.A	Румыния, Tirnaveni	85
Kemwater Cristal	Румыния, Bucharest	30
Kemwater Chimbis	Румыния, Fundulea	10
Yambol	Румыния, Yambol	50
ОАО «Сумыхимпром»	Украина, Сумы	267
ОАО «Пологовский химический завод "Коагулянт"»	Украина, Пологи	176
Титан, ГАК	Украина, Армянск	24
Kemira Chemicals, Oy	Финляндия, Harjavalta	130
Kemira Chimie SA	Франция, Lanterbourg	50

Фирма—производитель	Страна, город	Мощность, тыс. т/год
Rhodia S.A	Франция, Basse—Indre	50
	Франция, Bordeaux	50
	Франция, La Madeleine	35
	Франция, Septemes les Val-lons	30
Kemifloc as.	Чехия, Prerov	20
Kemwater ProChemie a.s.	Чехия, Kolin	55
Kemira Kemi AB	Швеция, Helsingborg	260
CU Chemie Uetikon AG	Швейцария, Uetikon am See	10
Kemivesi AS	Эстония, Таллин	10

При заявленной мощности около 3 млн т/год реальный годовой выпуск сернокислого алюминия не превышает 2 млн т. Из этого количества СА более 50 % используется на производство бумаги и целлюлозы, около 30 % — на очистку питьевой воды, а оставшаяся часть — на очистку стоков и различные технические цели. При этом необходимо отметить, что в настоящее время чем выше производственная мощность, тем меньше степень загрузки производства. Это характерно для производств с мощностью более 100 тыс. т/год. Уменьшение загрузки мощностей в европейских странах связано в первую очередь с повсеместным переходом на PAC (ПОХА) при очистке воды.

В табл. 4.10 показаны мощности европейских производителей PAC (ПОХА) за исключением России.

Таблица 4.10

## Европейские производители PAC (ПОХА)

Фирма—производитель	Страна, город	Мощность производства тыс. т/год
Kemira Miljo AS	Дания, Esbjerg	30
BK Giulini Chemie GmbH	Германия, Ludwigshafen	25

Фирма—производитель	Страна, город	Мощность производства тыс. т/год
Sachtleben Chemie, GmbH	Германия, Sachtleben	30
Rhodia Chemische Fabrieken BV	Голландия, Sas van Gent	15
Altair Chimica Spa	Италия, Saline di Volterra	40
Spinetta Marenao	Италия, Porto Marghera	100
Italchemical Spa	Италия, Frosinone	30
Marchi Spa	Италия, Venice	30
Rhone — Poulenc Italia Spa	Италия, Livorno	20
Industrie Chimiche Caffaro Spa	Италия, Brescia Lecce	20 20
Elf-Atochem Espana SA	Испания, Alonsotegui	25
Kemira Iberica SA Kemwater	Испания, Flix Tarragona	30 30
Kemira Chemicals AS	Норвегия, Fredrikstad	40
Kemipol, Sp.z.o.o.	Польша, Police Wroclaw	30 40
Aliada Quimica de Portugal Ltd	Португалия, Estarreja	30
Achema JSC	Литва, Ионава	10
ОАО «Пологовский химический завод "Коагулянт"»	Пологи, Украина	25
Eka Chemicals Oy	Финляндия, Oulu	40
Kemira Chemicals Oy	Финляндия, Aetsa Harjavalta	30 15
Elf Atochem SA	Франция, Pierre-Benite	40
Kemira Chimie SA	Франция, Lanterbourg	50
Protex International S.A.S.	Франция, Chateau Renault	20
Ekoflock AB	Швеция, Vetlanda	45
Kemira Kemi AB	Швеция, Helsingborg	100

Мощность всех производств PAC (ПОХА) составляет около 1 млн т/год. Доминирующее положение на рынке занимает фирма Kemira, имеющая 11 заводов в восьми

странах мощностью более 400 тыс. т/год. Это позволяет фирме вести агрессивную сбытовую политику на рынках Европы. До 1999 г. производился только жидкий ПОХА. Однако в 1999 г. в Helsingborg (Швеция), а в 2000 г. в Москве (Россия) были пущены в эксплуатацию установки по производству кристаллического PAC (ПОХА) мощностью 20 тыс. т/год каждая, что позволило существенно расширить рынок полиоксихлоридов алюминия как в Европе, так и в России. Ежегодно в Европе увеличивается производство PAC (ПОХА) на 5—8 % (рост идет в основном в Центральной и Восточной Европе). Около 40 % используется для очистки стоков, 30 % — для очистки питьевой воды, 20 % — для производства целлюлозы и бумаги, а оставшиеся 10 % — на технические цели, включая очистку воды в бассейнах. Наибольшего развития в производстве и использовании коагулянтов добилась Япония, которая на душу населения производит алюмосодержащих коагулянтов примерно в два раза больше, чем США и Европа.

При суммарной мощности японских производителей свыше 1,3 млн т/год в пересчете на 17%-ный  $Al_2O_3$  производительность всех установок составляет 625 тыс. т/год. Фактическое производство СА держится в последние десять лет на уровне 950—1100 тыс. т/год (по 8%-ному  $Al_2O_3$ ). Примерно 55—60 % СА используется для производства бумаги, а остальные — для водоочистки, причем примерно 10 % — для сточных вод. В Японии только два производителя выпускают кристаллический сернокислый алюминий (не более 25 тыс. т/год). Производительность установок PAC превышает 800 тыс. т/год (по 10%-ному  $Al_2O_3$ ). Около 20 % PAC производит фирма Taki-Chemical Co, являющаяся пионером промышленного производства полиалюминия хлорида из гидроокиси алюминия и соляной кислоты. Производство PAC превышает ежегодно 650 тыс. т, и продукт в основном (до 75 %) используется для приготовления питьевой воды. Япония обладает самым богатым опытом по производству и применению полиоксихлоридов и полиоксихлорсульфатов алюминия.

Тенденции производства и применения различных коагулянтов будут рассмотрены в разделе 4.6. Для лучшего понимания механизма действия химических реагентов, их влияния на технологию очистки природной воды рассмотрим их физико-химические свойства, при этом в основном продуктов, производимых в промышленном масштабе, и только кратко остановимся на перспективных и научно (теоретически) интересных реагентах.

### 4.3. Физико-химические свойства неорганических коагулянтов

Физико-химические свойства коагулянтов представляют интерес по двум причинам. Во-первых, эти свойства дают большую информацию технологам при использовании коагулянтов в повседневной работе (растворимость, плотность, температуры кристаллизации или разложения). Во-вторых, эта информация особенно требуется технологам, производящим эти продукты в промышленном масштабе. Приводимые в этом разделе физико-химические свойства неорганических коагулянтов собраны из различных справочников [67—71], публикаций по технологии производства и применения коагулянтов [5, 54, 62, 66], а также из данных авторов. Последовательность рассмотрения свойств реагентов — произвольная, но, отдавая дань традициям, а сернокислый алюминий до сих пор остается основным коагулянтом, используемым при водоподготовке в России, начнем анализ физико-химических свойств с сульфата алюминия.

*Безводный сульфат алюминия* — белый порошок с плотностью  $2710 \text{ кг/м}^3$ . Плотность раствора сульфата алюминия в интервале температур  $50 \leq t \leq 95 \text{ }^\circ\text{C}$  и области концентраций  $0,049 \leq C \leq 0,305 \text{ кг/кг}$  раствора является приближенно линейной функцией указанных аргументов и описывается уравнением

$$\rho = 1011,7 + 1271,6C - 0,663t$$

со случайной среднеквадратичной ошибкой  $S_{оп} = \pm 1,5 \text{ кг/м}^3$  (0,1 %). Уравнения Эзрохи, аппроксимирующие результаты

экспериментальных измерений в исследуемой области, имеют вид:

$$\lg \rho/\rho_n = (0,4002 + 1,602 \cdot 10^{-4}t) C, \\ S_{оп} = \pm 3,5 \text{ кг/м}^3 (0,3 \ %);$$

$$\lg \eta/\eta_n = (3,1762 - 2,0149 \cdot 10^{-2}t) C + 6,543C^2, \\ S_{оп} = \pm 8,3 \cdot 10^5 (5 \ %).$$

При обычной температуре устойчивым является кристаллогидрат  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  — бесцветные кристаллы с температурой плавления  $86,5 \text{ }^\circ\text{C}$  и плотностью  $1690 \text{ кг/м}^3$ . При  $150 \text{ }^\circ\text{C}$   $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  теряет 4 молекулы воды, при  $160 \text{ }^\circ\text{C}$  — 8 молекул, при  $250 \text{ }^\circ\text{C}$  — 15 молекул и полностью обезвоживается при  $420 \text{ }^\circ\text{C}$ . Этот кристаллогидрат соответствует второму сорту сульфата алюминия технического очищенного (ГОСТ 12966) с содержанием  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (по ГОСТу — не менее 15 %).

Из водных растворов в интервале температур  $-12 \div +112,2 \text{ }^\circ\text{C}$  кристаллизуется 16-гидрат сульфата алюминия [54]. На рис. 4.1 приведена диаграмма бинарной системы  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 - \text{H}_2\text{O}$  [70]. При  $-12,0 \text{ }^\circ\text{C}$  и содержании сульфата алюминия 27,2 % образуется эвтектика.

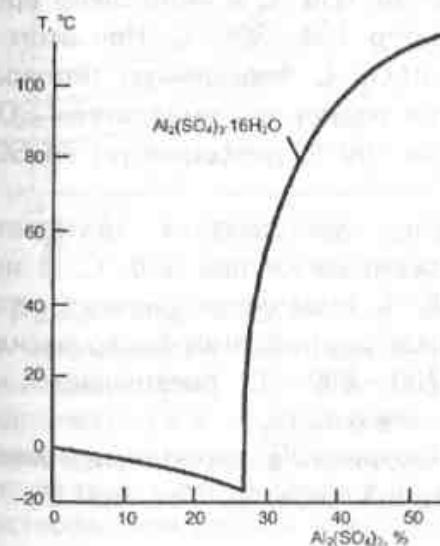


Рис. 4.1. Диаграмма растворимости в системе  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 - \text{H}_2\text{O}$



В окислительной, восстановительной и нейтральной средах при нагревании происходит ступенчатое разложение  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 16H_2O$ . Этот кристаллогидрат соответствует первому и высшему сорту с содержанием  $Al_2O_3$  — 16,2 % (по ГОСТ 12966 — не менее 16 %). В интервале температур 50—60 °С отмечается 16-гидрат сульфата алюминия, который при 80—90 °С превращается в 12-гидрат, при 130 °С последний превращается в гексагидрат.

При быстром нагревании до 150 °С  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 16H_2O$  растворяется (плавится) в своей кристаллизационной воде. Плавление кристаллогидрата в замкнутом сосуде отмечается при более низкой температуре — около 86 °С. Кристаллогидрат с 12 моль воды при нагревании на воздухе не плавится. При температуре выше 150 °С гексагидрат сульфата алюминия разрушается с образованием рентгеноаморфной фазы. В интервале 200—300 °С интенсивно протекает обезвоживание с образованием одноводного кристаллогидрата. Полная дегидратация отмечается при 450 °С в течение двухчасовой сушки.

Разрушение безводного сульфата алюминия с удалением оксида серы (VI) начинается при 650 °С и интенсивно происходит в интервале температур 700—800 °С. При этом в твердой фазе образуется  $\gamma-Al_2O_3$ . С повышением температуры до 1000 °С практически полностью выделяется  $SO_3$ , который в газовой фазе выше 700 °С диссоциирует на  $SO_2$  и кислород.

В восстановительной среде дегидратация 16-гидрата сульфата алюминия также завершается при 450 °С. В интервале температур 500—600 °С выделяется диоксид серы с образованием в твердой фазе рентгеноаморфного оксида алюминия, который при 700—800 °С превращается в  $\gamma-Al_2O_3$  и при 1100—1200 °С — в  $\alpha-Al_2O_3$ .

Растворимость сульфата алюминия в значительной мере зависит от концентрации серной кислоты. Так, при 25 °С

растворимость  $Al_2(SO_4)_3$  в растворах серной кислоты различной концентрации составляет:

$H_2SO_4$ , %	0	5	10	20	30	40	50	60	70	75
$Al_2(SO_4)_3$ в 100 г раствора, г	27,8	29,5	26,2	19,5	11,6	4,8	1,5	1,0	2,3	4,0

В разбавленной кислоте растворимость  $Al_2(SO_4)_3$  выше, чем в чистой воде, но с дальнейшим увеличением концентрации  $Al_2SO_4$  растворимость резко понижается, достигая 1 % в 60%-ной серной кислоте. В более крепкой кислоте растворимость сульфата алюминия опять повышается.

В водных растворах pH при любой температуре зависит от концентрации соли и от молярного соотношения между  $Al_2O_3$  и  $SO_3$  (рис. 4.2).

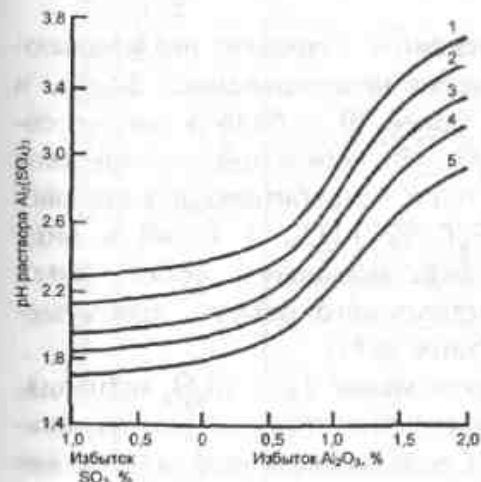


Рис. 4.2. Зависимость pH от концентрации раствора сульфата алюминия и соотношения  $Al_2O_3$  и  $SO_3$ :  
1 — 6, 2 — 10, 3 — 13, 4 — 16,5, 5 — 20 %  $Al_2(SO_4)_3$

При избытке  $Al_2O_3$  против стехиометрического количества наблюдается увеличение pH, а при недостатке — уменьшение [54]. Сульфат алюминия в водных растворах гидролизует с образованием гидроксоионов алюминия и водородных ионов. Поэтому в его растворе может растворяться гидроксид алюминия, что приводит к повышению pH раствора. Чем больше концентрация сульфата алюминия и



выше температура, тем больше растворяется гидроксида алюминия (рис. 4.3).

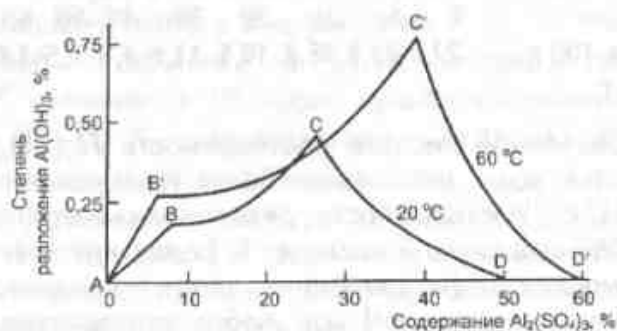


Рис. 4.3. Зависимость степени разложения гидроксида алюминия от концентрации сульфата алюминия и температуры

Сульфат алюминия выпускается в форме неслеживающихся пластин, брикетов, кусков неопределенной формы и разного размера массой не более 10 кг белого цвета с содержанием 15—16 %  $Al_2O_3$ . В небольших количествах сульфат алюминия поставляется потребителю в виде раствора, содержащего 6,7—7,7 %  $Al_2O_3$ , а также в виде неочищенного продукта, представляющего собой смесь сульфата алюминия и нерастворимого остатка, преимущественно диоксида кремния (табл. 4.11).

При содержании в продукте менее 15%  $Al_2O_3$  наблюдается слеживание, что приводит к значительным затруднениям при его использовании. Существенным недостатком неочищенного сульфата алюминия является низкое содержание полезного компонента (сульфата алюминия), а также повышенное — нерастворимого остатка и свободной серной кислоты; этот продукт характеризуется неудовлетворительным товарным видом. Это вызывает большие затруднения при подготовке к употреблению, повышенную агрессивность растворов и увеличение транспортных расходов.

Таблица 4.11

Требования к качеству сульфата алюминия

Продукт	ГОСТ или ТУ	Сорт	Нормируемые показатели				Отношение н.о.* к $Al_2O_3$ , не более
			$Al_2O_3$ , %, не менее	Содержание, %, не более			
				н.о.*	$H_2SO_4$ (своб.)	$Fe_2O_3$	
Алюминий сульфат технический (очищенный)	ГОСТ 12966-85	Высший	16,0	—	0,02	0,001	—
		Первый	16,0	—	0,02	0,001	—
		Второй	15,0	0,1	0,30	0,003	—
Алюминий сернокислый (очищенный)	ГОСТ 12966-75	Высший	17,0	—	0,02	0,003	—
		Первый	16,3	—	0,04	0,003	—
		Второй	15,0	0,05	0,70	0,003	—
Алюминий сернокислый технический (очищенный) в жидком виде	ТУ 6-08-438-79	—	7,2±0,5	0,1	0,1	0,003	—
Алюминий сернокислый технический (неочищенный)	ГОСТ 5155-74	А	—	2,0	0,5	0,003	2,2
		Б	—	3,0	0,9	0,003	2,7

\* Н.о. — нерастворимый остаток.

**Дигидрокосульфат алюминия (ДГСА)** представляет собой белый мелкозернистый порошок. При медленной кристаллизации могут вырастать большие кристаллы. Форма зерен — призматическая, изредка встречаются пластинчатые образования. Размер зерен колеблется от 40 до 100 мкм по длине и от 10 до 25 мкм по ширине. Показатель преломления  $N_p = 1,466$  и  $N_o = 1,471$ , и изменяется в зависимости от содержания кристаллизационной воды. Соль, высушенная при 150 °С, представлена изотропным веществом, не действующим на поляризованный свет. Показатель преломления  $N = 1,468$ , и при более глубоком обезвоживании соли увеличивается до 1,528.

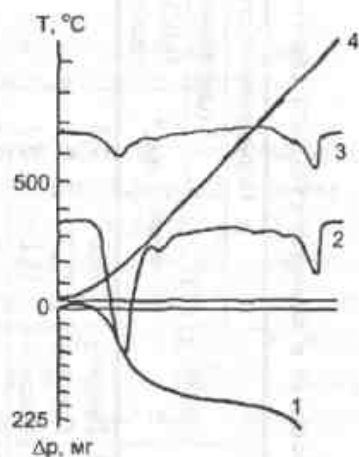
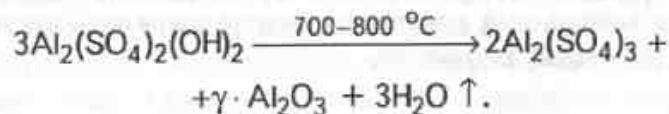
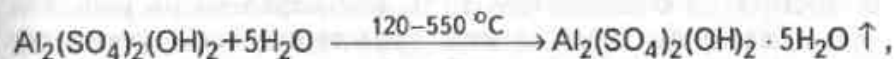
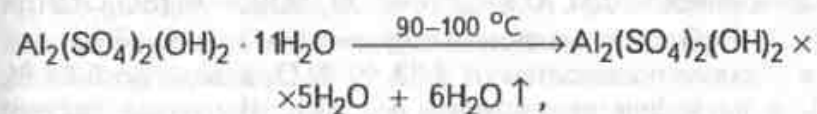
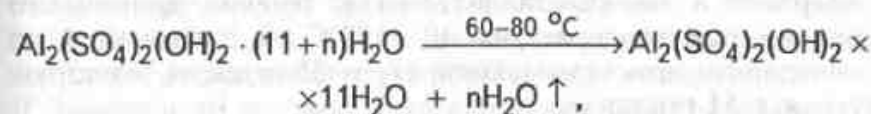


Рис. 4.4. Дериватограмма дигидрокосульфата алюминия: 1 — интегральная кривая убыли массы; 2 — дифференциальная кривая термического анализа; 3 — дифференциальная кривая убыли массы; 4 — интегральная кривая изменения температуры

На кривой дериватограммы дигидрокосульфата алюминия (рис. 4.4) отмечаются эндотермические эффекты, свидетельствующие о ступенчатом выделении воды и оксида серы (VI). С повышением температуры степень обезвоживания соли увеличивается, достигая максимальных значений при 80 °С и длительности сушки 7 ч или при 500 °С в течение 1 ч. Основная масса кристаллизационной воды удаляется в интервале температур 100—200 °С. Оставшаяся вода удаляется при нагревании до 600 °С. В интервале температур 80—500 °С среди продуктов дегидратации выделяются кристаллогидраты с содержанием 12, 6, 4 и 3 моль воды. Последовательность термохимических превращений при на-

гревании в атмосфере воздуха в интервале 60—800 °С можно представить следующей схемой:



Первый эндоэффект в интервале температур 40—290 °С соответствует удалению 5—8 моль воды. Второй эндоэффект обусловлен выделением последующих 5 моль воды, причем последний моль воды в условиях сушки может удаляться при нагревании вплоть до 630 °С. Третий эндоэффект при 630—720 °С вызван удалением гидроксильной воды. Последующие два эндоэффекта в интервале 740—920 °С обусловлены удалением серного ангидрида. Раздвоение этого эффекта объясняется наложением экзотермического эффекта кристаллизации  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ . Кристаллогидраты с 4 и 3 моль воды рентгеноаморфны. Кристаллооптические исследования свидетельствуют об образовании псевдоморфоз по дигидросульфату алюминия.

Дигидрокосульфат алюминия хорошо растворим в воде, лучше, чем сульфат алюминия. С повышением температуры его растворимость увеличивается:

температура, °С	5	10	14	31,5	50,5	70,5
растворимость ДГСА, %	41,9	44,3	46,3	48,4	54,1	59,4
% по $\text{Al}_2\text{O}_3$	8,4	8,5	9,3	9,7	10,9	11,9

При низких температурах (5—15 °С) растворимость ДГСА довольно высокая и при понижении температуры из-

меняется незначительно. Насыщенный при 22°C раствор соли плотностью 1,25 кг/дм<sup>3</sup> и концентрацией 8,5 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> не замерзает и не кристаллизуется в течение длительного времени при температурах 10—15 °С. В зависимости от температуры кристаллизуются 17- и 15-гидраты, изоструктурные с 11-гидратом.

Растворимость ДГСА в системе Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>—Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub>·xH<sub>2</sub>O—H<sub>2</sub>O с повышением содержания сульфата алюминия в системе понижается от 9,53 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в воде до 0,44 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в насыщенном растворе Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>. Изотерма растворимости этой системы при 30 °С представлена на рис. 4.5. Она состоит из двух ветвей, характеризующих растворимость Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>·16H<sub>2</sub>O и ДГСА. Путем дробной кристаллизации из смешанных растворов можно выделить чистый дигидрокосульфат алюминия.

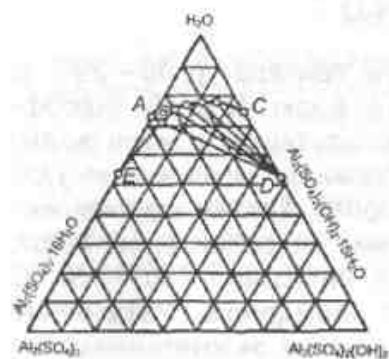


Рис. 4.5. Изотерма растворимости дигидрокосульфата алюминия в системе Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>—Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub>—H<sub>2</sub>O при 30 °С

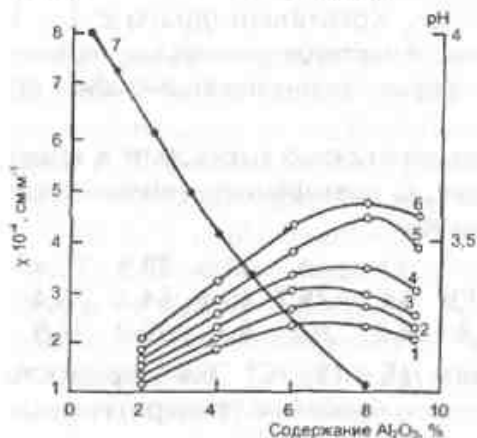


Рис. 4.6. Изменение pH и удельной электрической проводимости в зависимости от концентрации раствора дигидрокосульфата алюминия при температурах: 1 — 15, 2 — 20, 3 — 25, 4 — 30, 5 — 40, 6 — 50 °С; 7 — pH при 25 °С

Удельная электрическая проводимость растворов с увеличением их концентрации и температуры повышается, достигая максимального значения при содержании в растворе 7—8 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (рис. 4.6). С дальнейшим увеличением концентрации раствора электропроводимость уменьшается.

Значения pH растворов дигидрокосульфата алюминия в области концентраций 0,5—8 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> изменяются в пределах 4,09—3,14. С уменьшением модуля основности μ<sub>0</sub> (молярного отношения SO<sub>3</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) растворов, а также с их разбавлением значения pH увеличиваются. Так, при изменении основности раствора с содержанием 8 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> от 3 (сульфат алюминия) до 2 (ДГСА) значения pH изменяются в пределах 2,15—3,8. Разбавление растворов до 0,2 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> приводит к увеличению pH до 4,2 и сопровождается их помутнением, что обусловлено образованием труднорастворимых продуктов гидролиза. При хранении растворов, содержащих 1—8 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, значения их pH остаются практически неизменными, и растворы достаточно стойки.

Кинематическая вязкость растворов ДГСА с повышением температуры в пределах 20—70 °С и снижением концентрации от 8 до 2 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> уменьшается. Самая высокая вязкость 4,55·10<sup>-6</sup> м<sup>2</sup>/с отмечена для растворов с 8 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> при 20°C, самая низкая 0,45·10<sup>-6</sup> м<sup>2</sup>/с — для 2%-ного раствора при 70 °С.

Зависимость плотности растворов ДГСА от их концентрации при 25 °С изменяется по линейному закону:

содержание Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	8,3	7,3	5,2	3,45	2,65	2,1	1,4	0,7	0,35
плотность, кг/дм <sup>3</sup>	1,311	1,258	1,159	1,109	1,059	1,039	1,037	1,020	1,010

Водные растворы дигидрокосульфата алюминия гидролизуются с образованием гидрокомплексов различной степени полимеризации [Al(OH)]<sup>2+</sup>, [Al<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub>]<sup>4+</sup> и [Al<sub>4</sub>(OH)<sub>6</sub>]<sup>4+</sup>. С повышением основности растворов увеличивается молекулярная масса полиионов. Степень полимеризации зависит от концентрации раствора, значений pH, температуры и других факторов. Растворы концентрацией



0,5—5 % ДГСА изменяют значения pH в пределах 4—3,54 и гидролизуются с образованием димеров  $[Al_2(OH)_2]^{4+}$ . Константа димеризации равна  $10^{-5}$ .

Кристаллогидрат основного сульфата алюминия молекулярного состава  $Al_2O_3 \cdot 2,2SO_3 \cdot 20H_2O$  (смесь дигидрокосульфата и сульфата алюминия) при хранении на воздухе при комнатной температуре обезвоживается. В течение 10 сут убыль массы составляет 20,56 %, что соответствует молекулярному составу  $Al_2O_3 \cdot 2,2SO_3 \cdot 13H_2O$ . При дальнейшем хранении масса соли оставалась постоянной. Как показал рентгенофазовый анализ, структура соли не изменялась. Коагуляционные свойства обезвоженной соли сохраняются.

*Хлорид алюминия*  $AlCl_3$  — кристаллический порошок белого цвета плотностью  $2470 \text{ кг/м}^3$ , кристаллизуется в виде бесцветных псевдогексагональных пластинок. Хлорид алюминия возгоняется при  $182,7^\circ\text{C}$  и плавится при  $192,4^\circ\text{C}$  и давлении  $2,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$ . Давление его паров при  $180,2^\circ\text{C}$  равно  $10^5 \text{ Па}$ . Он хорошо растворим в воде и почти во всех органических растворителях.

Молекула безводного хлорида алюминия в твердом, жидком или газообразном состоянии при температуре ниже  $440^\circ\text{C}$  соответствует димерной формуле  $Al_2Cl_6$ . В интервале  $440—800^\circ\text{C}$  в равновесии находится смесь димерного и мономерного хлорида алюминия. В интервале  $800—1000^\circ\text{C}$  хлорид алюминия существует в виде мономера, который при температуре выше  $1000^\circ\text{C}$  частично диссоциирует. В индифферентных растворителях типа сероуглерода существует димерная форма. В растворителях, взаимодействующих с хлоридом алюминия (вода, пиридин, нитробензол, диэтиловый эфир), образуются комплексные соединения. В разбавленных растворах эти комплексы образуют мономерные ассоциаты хлорида алюминия, а в концентрированных растворах — димерные. Теплота образования  $Al_2Cl_6$  составляет  $1346,7 \text{ кДж/моль}$ . Электропроводимость кристаллического хлорида алюминия увеличивается с повышением температуры до максимального значения в точке плавления. В расплаве она падает до нуля, а затем при повышении температуры расплава медленно повышается.

Растворимость хлорида алюминия в воде:

температура, $^\circ\text{C}$	0	20	100
растворимость, %	30,5	31,4	32,9

Из водного раствора кристаллизуется гексагидрат  $AlCl_3 \cdot 6H_2O$  плотностью  $2400 \text{ кг/м}^3$ . При взаимодействии с влагой воздуха хлорид алюминия гидролизуются:



При нагревании водных растворов в результате гидролиза образуется гидроксохлорид алюминия  $Al_2(OH)_3Cl_3$ . При электролизе водных растворов хлорида алюминия получают гидроксохлориды  $Al(OH)_2Cl$  и  $Al_2(OH)_3Cl$  [73].

В водных растворах соляной кислоты растворимость хлорида алюминия сильно понижается и при  $25^\circ\text{C}$  составляет:

концентрация HCl, %	4,15	14,07	23,19	40,98
растворимость $AlCl_3$ , %	29,75	15,25	7,95	0,98

При нагревании гексагидрата хлорида алюминия в интервале температур  $50—70^\circ\text{C}$  удаляется сорбированная влага, а при  $105—110^\circ\text{C}$  при взаимодействии с кристаллизационной водой  $AlCl_3$  разлагается [74]. При  $400^\circ\text{C}$  образуется рентгеноаморфный оксид алюминия, который в интервале температур  $600—800^\circ\text{C}$  превращается в  $\gamma\text{-}Al_2O_3$ . При температуре выше  $900^\circ\text{C}$  предположительно образуется  $\gamma\text{-}Al_2O_3$ , превращающийся при температуре выше  $1000^\circ\text{C}$  в  $\alpha\text{-}Al_2O_3$ .

При обработке алюминия соляной кислотой, взятой в недостаточном количестве для его полного растворения, и температуре кипения образуется пентагидроксохлорид  $Al_2(OH)_5Cl$ . Из раствора его можно осадить при добавлении хлорида натрия. Этот продукт можно также получить при обработке активного гидроксида алюминия, образующегося при карбонизации алюминатных растворов, соляной кислотой, взятой в недостаточном количестве. Пентагидроксохлорид алюминия может быть получен в виде стекловидных

пластин или зернистого порошка с насыпной массой около 1000 кг/м<sup>3</sup>. Он легко растворяется в воде.

При медленном добавлении щелочи к водному раствору хлорида алюминия образуется дигидроксохлорид Al(OH)<sub>2</sub>Cl. Некоторые физико-химические свойства 1-М растворов хлорида и гидроксохлоридов алюминия приведены в табл. 4.12 [62].

Таблица 4.12

Свойства водных растворов хлорида и гидроксохлоридов алюминия

Соединения	Концентрация, г/м <sup>3</sup>		Плотность, кг/м <sup>3</sup>		Вязкость η · 10 <sup>-3</sup> , Па·с		Удельная электропроводимость, Ом <sup>-1</sup> ·см <sup>-1</sup>		рН
	соли	алюминия	25 °С	75 °С	25 °С	75 °С	25 °С	75 °С	
AlCl <sub>3</sub>	133,5	27	1108	1088	2,08	0,786	1,09	2,12	2,63
	405	81	1315	1295	26,13	5,47	0,45	1,51	0,38
Al(OH)Cl <sub>2</sub>	115	27	1088	1066	1,66	0,63	0,95	1,97	3,40
	345	81	1266	1245	8,65	2,56	0,92	2,25	2,51
Al(OH) <sub>2</sub> Cl	96,5	27	1063	1039	1,27	0,507	0,53	1,11	3,76
	289,5	81	1190	1167	2,88	1,15	1,18	2,35	2,95
Al <sub>2</sub> (OH) <sub>5</sub> Cl	174,5	54	1114	1089	1,89	0,70	1,143	0,193	4,46
	349	108	1226	1202	5,13	1,79	0,157	0,220	4,30

Электропроводимость растворов гидроксохлоридов алюминия понижается с увеличением степени основности. Степень основности определяется как отношение количества OH-группы к числу атомов алюминия в брутто-формуле. Значительно снижается электропроводимость с увеличением степени основности больше 2. Вязкость и плотность основных хлоридов алюминия резко возрастают при повышении степени основности. Наибольший рост отмечается при переходе от степени основности 2 к 2,5.

При изучении растворимости в системе Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—AlCl<sub>3</sub> при 0, 50, 125, 150, 175 и 200 °С установлено образование 5AlCl<sub>3</sub>·8Al(OH)<sub>3</sub>·37,5H<sub>2</sub>O, AlCl<sub>3</sub>·2Al(OH)<sub>3</sub>·22H<sub>2</sub>O, AlCl<sub>3</sub>·4Al(OH)<sub>3</sub>·7H<sub>2</sub>O, AlCl<sub>3</sub>·5Al(OH)<sub>3</sub>·9H<sub>2</sub>O, 3AlCl<sub>3</sub>·26Al(OH)<sub>3</sub>, AlCl<sub>3</sub>·10Al(OH)<sub>3</sub>, 2AlCl<sub>3</sub>·11Al<sub>2</sub>O(OH)<sub>4</sub>, AlCl<sub>3</sub>·AlOOH и AlCl<sub>3</sub>·135AlOOH.

В работе [72] получены твердые основные хлориды алюминия путем упаривания растворов. Из низкоосновных растворов получают сильногигроскопичные продукты, часть гидроксохлоридов переходит в нерастворимое состояние. При медленном упаривании растворов с основностью 1—1,8 и промывкой твердого остатка этиловым спиртом получены белые мелкокристаллические порошки состава 5AlCl<sub>3</sub>·8Al(OH)<sub>3</sub>·37,5H<sub>2</sub>O, имеющие характерный рентгеновский спектр. Из растворов с основностью 1,8—2 получен и идентифицирован с помощью рентгенофазового анализа гидроксохлорид состава AlCl<sub>3</sub>·2Al(OH)<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O. Хлорид алюминия экстрагируется этанолом в раствор. Из растворов с основностью 2 и 2,5 получены гидроксохлориды алюминия Al(OH)<sub>2</sub>Cl·3,75H<sub>2</sub>O (ρ = 1,709 кг/дм<sup>3</sup>) и Al<sub>2</sub>(OH)<sub>5</sub>Cl·(1-3)H<sub>2</sub>O (ρ = 1,916 кг/дм<sup>3</sup>), представляющие собой стеклоподобные негигроскопичные рентгеноаморфные вещества.

Гидроксохлориды алюминия со степенью основности менее 2 можно получать и хранить длительное время, если концентрация хлоридов не превышает 4,5 г-экв/дм<sup>3</sup>. Растворы же с основностью 2—2,5 можно получать и хранить в любых технологически оправданных концентрациях. Твердые продукты предпочтительно получать из растворов с основностью 2—2,5.

Значения рН растворов гидроксохлоридов алюминия различной основности в зависимости от концентрации приведены на рис. 4.7. В области концентрации 1—6 г-экв/дм<sup>3</sup> отмечается линейная зависимость рН от концентрации раствора. Угол наклона линии для гидроксохлоридов с низкой основностью близок к хлориду алюминия. С увеличением основности линии наклонены более полого к оси концентрации. Зависимость рН от степени основности при постоянной концентрации гидроксохлорида алюминия линейна в интервале основностей 0—2. Незначительное отклонение от линейности наблюдается в интервале 0—0,5 и объясняется изменением условий гидролиза в системе. Повышение степени основности выше единицы способствует более кру-

тому росту значений pH. Это лучше выражено в разбавленных растворах, что объясняется изменением структуры растворов гидроксохлоридов алюминия. Для зольей pH во всех случаях ниже, чем для истинных коллоидов при одинаковом валовом составе продукта. С увеличением концентрации до 3—3,5 г-экв/дм<sup>3</sup> это различие нивелируется. При более высоких концентрациях большое влияние оказывает вязкость раствора. Зольсодержащие растворы концентрацией 3—4 г-экв/дм<sup>3</sup> загустевают настолько, что невозможно проводить измерения pH. В растворах с концентрацией 0,5—8 г-экв/дм<sup>3</sup> отмечается зависимость pH от основности в пределах 0,25—2,5. Потенциометрическим титрованием разбавленных растворов гидроксохлоридов алюминия установлено наличие характерного перегиба в интервале основностей 2,5—2,65, что можно объяснить полимерной природой основных солей. По мере увеличения степени основности формируются полимерные агрегаты, структура которых постоянно упорядочивается, и скачкообразного изменения pH при этом не происходит. В области перегиба оттитровываются наиболее стабильные гидроксохлориды алюминия с образованием труднорастворимых продуктов.

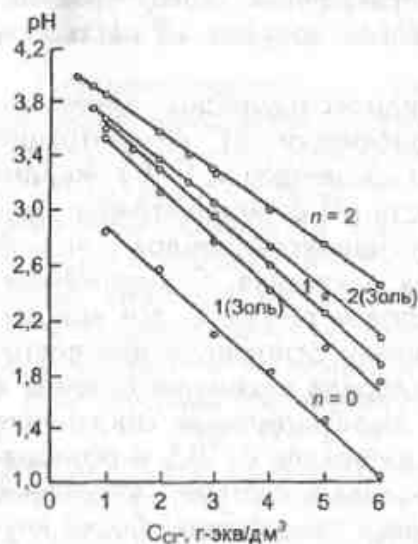


Рис. 4.7. Зависимость pH растворов гидроксохлоридов алюминия от концентрации хлоридов и основности  $n$

Безводный нитрат алюминия — бесцветные, дымящиеся на воздухе кристаллы с температурой плавления 66 °С. Чрезвычайно гигроскопичен. Из водных растворов при 25 °С кристаллизуется нонагидрат алюминия  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  — бесцветные, расплывающиеся на воздухе кристаллы. При температуре выше 73,6 °С нонагидрат превращается в окта-, а затем — в гексагидрат.

Алюмонатриевые квасцы  $\text{NaAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  кристаллизуются в виде бесцветных кристаллов октаэдрической формы в кубической сингонии, имеют плотность 1670 кг/м<sup>3</sup>. Из водных растворов при температуре выше 20 °С образуются бесцветные кристаллы призматической и псевдоромбоэдрической формы. Растворимость  $\text{NaAl}(\text{SO}_4)_2$  в 100 кг воды при 0 °С — 40,8 и при 40 °С — 44,3 кг. Температура плавления натриево-алюминиевых квасцов в кристаллогидратной воде составляет 62,5 °С.

Обезвоживание натриево-алюминиевых квасцов [54] протекает в несколько этапов с образованием б- (при 160 °С), 2-гидрата (при 190 °С) и безводных (при 280 °С) квасцов. При нагревании квасцов в интервале температур 180—260 °С образуются рентгеноаморфные фазы. При 800 °С отмечен эндотермический эффект, обусловленный разложением квасцов с образованием в твердой фазе тенардита —  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\gamma$ - и  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Алюмокалиевые квасцы  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  образуют бесцветные октаэдрические или кубические кристаллы в кубической сингонии плотностью 1757 кг/м<sup>3</sup> и твердостью 2 с кисловатым вяжущим вкусом. Встречается и другая модификация калиевых квасцов — в виде минерала калинита, кристаллизующаяся в гексагональной сингонии. В воде алюмокалиевые квасцы растворяются с отрицательным тепловым эффектом, составляющим 42,5 кДж/моль. Ниже приведены данные по их растворимости при различных температурах:

температура, °С	0	15	30	60	92,5	100
растворимость, кг $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ в 100 кг воды	2,95	5,04	8,40	24,8	119,5	154



Безводные квасцы гигроскопичны, на воздухе не расплываются, имеют плотность 2750 кг/м<sup>3</sup>.

При температуре 92,5 °С калиевые квасцы плавятся в кристаллизационной воде. Они обезвоживаются с образованием 8- (при 120 °С) и 2-гидрата (при 230 °С), при 320 °С происходит полное обезвоживание.

В результате изотермической сушки при 70 и 150 °С происходит непрерывное удаление 21 моль кристаллизационной воды. Наличие других кристаллогидратов не установлено. Эндотермический эффект в интервале температур 75—117 °С объясняется плавлением квасцов в кристаллизационной воде и наложением эффекта обезвоживания.

Удаление последних трех молей воды происходит в интервале температур 225—240 °С. При 300—600 °С в атмосфере воздуха и аргона образуются безводные алюмокалиевые квасцы, а при 700—900 °С удаляются три моля серного ангидрида с образованием в твердой фазе K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Алюмоаммониевые квасцы (NH<sub>4</sub>)Al(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·12H<sub>2</sub>O образуют бесцветные октаэдрические кристаллы кубической сингонии плотностью 1645 кг/м<sup>3</sup> и твердостью 1,5 и изоструктурны с калиевыми квасцами. Аммониевые квасцы образуют твердые растворы с KAl(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·12H<sub>2</sub>O, а также (NH<sub>4</sub>)Fe-квасцами. Они хорошо растворяются в воде, и с увеличением температуры их растворимость значительно увеличивается:

температура, °С	0	10	20	30	40	50	60	95
растворимость, %	2,05	4,75	7,18	9,86	12,95	16,73	21,07	52,3

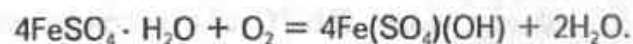
Алюмоаммониевые квасцы кристаллизуются в виде 24-гидрата и обезвоживаются в три этапа с образованием 21-гидрата, тригидрата и безводной соли.

Сульфат железа (II) кристаллизуется из водного раствора в интервале температур -1,8÷+90 °С в виде кристаллогидратов с семью, четырьмя и одной молекулами воды. Гептагидрат сульфата железа (II) FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O образуется в интервале температур -1,8÷+56,8 °С в виде моноклинных кристаллов светло-зеленого цвета плотностью 1800 кг/м<sup>3</sup>.

На воздухе он выветривается и окисляется с образованием основного сульфата железа (III) Fe(OH)(SO<sub>4</sub>) желтовато-коричневого цвета.

Тетрагидрат сульфата железа (II) FeSO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O кристаллизуется из водного раствора при 56,8—64 °С в виде зеленых кристаллов плотностью 2200 кг/м<sup>3</sup>. При температуре выше 64 °С образуются кристаллы FeSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O моноклинной сингонии плотностью 3050 кг/м<sup>3</sup>. Растворимость в воде сульфата железа (II) с увеличением температуры от -1,8 до 56,7 °С повышается от 14,91 до 35,3 %, соответственно.

Гептагидрат сульфата железа (II) при 64 °С растворяется в своей кристаллизационной воде, и при дальнейшем повышении температуры происходит дегидратация с образованием гексагидрата при 70 °С, тетрагидрата — в интервале температур 70—120 °С и моногидрата — при 120—130 °С, при 150—250 °С последний в присутствии кислорода воздуха превращается в основную соль:



При температуре 350—400 °С основная соль обезвоживается:



Оксосоль Fe<sub>2</sub>O(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> при 400—450 °С разлагается с образованием рентгеноаморфного оксида железа и соединения Fe<sub>4</sub>O(SO<sub>4</sub>)<sub>5</sub>, которое превращается в α-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с выделением серного ангидрида в газовую фазу.

Обезвоживание FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O в атмосфере водорода, как и в атмосфере воздуха, происходит до образования FeSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O при 165 °С. В интервале температур 265—320 °С вода полностью удаляется. Безводный сульфат железа (II) при 450 °С и выше разлагается с образованием γ-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O. При более высоких температурах обжига образуются элементарное железо и FeS [73].

Из водных растворов сульфата железа (III) кристаллизуются 12-, 10-, 9-, 7-, 6- и 3-гидраты. Нонагидрат сульфата

было исследовано термохимическое превращение тетрагидрата хлорида железа (II). При нагревании этой соли в инертной атмосфере на кривой ДТА зарегистрированы эндотермические эффекты при 85, 123, 180, 230 °С, а также два небольших эффекта при 137 и 345 °С. Эндозффект при 85 °С обусловлен плавлением кристаллов в своей кристаллизационной воде, последующие три эндозффекта при 123, 180 и 230 °С связаны с удалением кристаллизационной воды. Эффекты при 137 и 345 °С вызваны гидролизом хлорида железа (II) и разложением оксихлорида:



На основании термографических исследований авторы делают предположение о преимущественном протекании второй реакции, что приводит к образованию оксихлорида, который при 320—370 °С разлагается.

При нагревании  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  в атмосфере водорода зарегистрированы эндотермические эффекты при 80, 100, 160, 205 и 620 °С, а также два небольших эффекта при 105 и 330 °С. Эндозффект при 80 °С обусловлен плавлением кристаллов в своей кристаллизационной воде, последующие три эндозффекта — выделением кристаллизационной воды, а эффект при 620 °С — восстановлением хлорида железа (II) до металла. Два небольших эффекта при 105 и 330 °С вызваны гидролизом хлорида железа и восстановлением оксидов железа:



Аналогично гидролиз протекает в среде водяного пара. Заметное восстановление хлорида железа (II) начинается при 410—420 °С и заканчивается при 635—650 °С.

Безводный хлорид железа (III)  $\text{FeCl}_3$  осаждается из водных растворов в виде гексагональных кристаллов зеленоватого или темно-коричневого цвета плотностью 2900 кг/м<sup>3</sup>. При температуре 300 °С он плавится, а при 317 °С кипит. Хлорид железа (III) гигроскопичен и жадно поглощает воду из атмосферного воздуха, образуя темно-коричневую жидкость. При 20 °С насыщенный водный раствор  $\text{FeCl}_3$  содержит 47,9 % хлорида. С повышением температуры растворимость последнего возрастает (рис. 4.9). Из водных растворов кристаллизуется ряд гидратов.

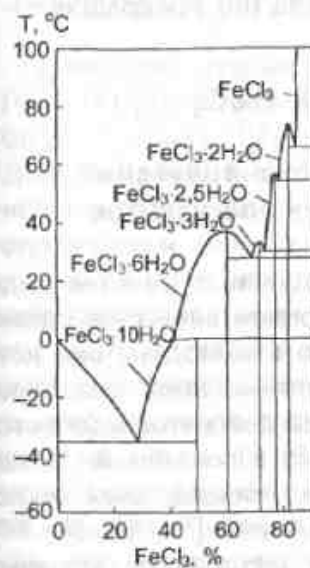


Рис. 4.9. Диаграмма растворимости в системе  $\text{FeCl}_3\text{-H}_2\text{O}$

Хлорид железа (III) в воде гидролизуется, вследствие чего растворы имеют кислую реакцию. При гидролизе хлорида железа (III) на холоде образуются оксихлориды железа типа  $\text{FeOCl}$  и др. Оксихлорид железа кристаллизуется в виде ромбических листочков, обладающих металлическим блеском и в проходящем свете окрашенных в красный цвет, плотностью 3550 кг/м<sup>3</sup>. В водных растворах при комнатной температуре оксихлориды превращаются в  $\gamma\text{-FeO(OH)}$  и  $\alpha\text{-FeO(OH)}$ . Более устойчивым продуктом гидролиза является гетит —  $\alpha\text{-FeO(OH)}$ .

Степень гидролиза разбавленных растворов хлорида железа (III) при 12 °С через 48 ч составляет:

концентрация FeCl <sub>3</sub> , моль/дм <sup>3</sup>	0,02047	0,0068	0,00102	0,00026
степень гидролиза, %	0,6	23,55	56,12	79,03

В качестве продуктов гидролиза выделены основные хлориды Fe(OH)Cl<sub>2</sub> и Fe(OH)<sub>2</sub>Cl. Конечным продуктом гидролиза является соединение FeCl<sub>3</sub>·nFe(OH)<sub>3</sub>. В результате гидролиза FeCl<sub>3</sub> образуется β-FeOOH. В последнем содержится до 4 % ионов хлора, распределенных в решетке. При нагревании β-FeOOH обезвоживается и превращается в α-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

В атмосфере воздуха хлорид железа (III) превращается в оксид с выделением хлора:

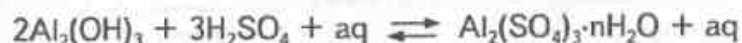


#### 4.4. Технологии промышленного получения алюмо- и железосодержащих коагулянтов

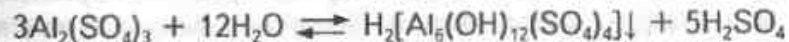
В большинстве монографий, посвященных очистке воды коагулянтами [3, 5, 26—31, 62], основное внимание уделяется механизму коагуляции, изучению взаимодействий коагулирующих веществ, определению оптимальной дозы коагулянта и т. д. Вопросам производства реагентов уделяется значительно меньше внимания. Однако в последние 30 лет вышел ряд монографий и сборников, посвященных технологии получения неорганических коагулянтов [54, 62, 66, 74]. Как правило, авторы рассматривают различные сырьевые источники алюминия и железа или комплексную переработку алюминийсодержащего сырья различными способами [75, 76, 77]. В реальности алюмосодержащие коагулянты производятся из высококачественного сырья — гидроксида алюминия различных марок. В данном разделе излагаются технологии промышленного получения коагулянтов с использованием материалов из известных монографий [54, 62, 66], дополняя их современными сведениями об усовершенствованиях, достигнутых в последние годы, т. е. после выхода последней монографии по этой теме [54].

Современное производство очищенного сульфата алюминия как в нашей стране, так и в ряде зарубежных стран преимущественно основано на применении в качестве сырья гидроксида алюминия. Большое распространение этого способа производства обусловлено относительной его простотой и возможностью получения высококачественного продукта с малым содержанием оксидов железа.

Сущность способа заключается во взаимодействии гидроксида алюминия с серной кислотой по реакции:



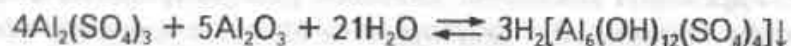
Применяют гидроксид алюминия марок ТГД12, ТГД15 (ТУ 1711-002-05785164-2001); ГД12, ГД15 (ТУ 1711-006-00658716-2001); ГД8, ГД18 (ТУ 1711-069-00196368-2001); ГД00, ГД0, ГД1 (ТУ У 14-10-008-99) и техническую серную кислоту (ГОСТ 2184). В целях получения продукта с малым содержанием свободной серной кислоты гидроксид берется в количестве, несколько большем, чем стехиометрически необходимо, с таким расчетом, чтобы содержание нерастворимого остатка в продукте не превышало 0,7 %. Вода должна дозироваться из расчета получения концентрированного раствора сульфата алюминия — плава, содержащего не менее 15 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. В случае большого избытка гидроксида алюминия продукт получается с повышенным содержанием нерастворимого остатка. Это обусловлено тем, что не весь гидроксид взаимодействует с серной кислотой и переходит в раствор; кроме того, при избытке гидроксида алюминия создаются благоприятные условия для гидролиза сульфата алюминия по реакции:



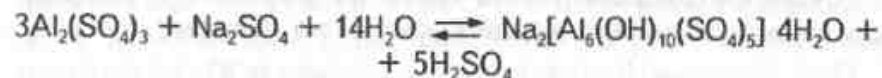
Наличие в сфере реакции веществ, нейтрализующих образовавшуюся серную кислоту и таким образом понижающих концентрацию ионов водорода, способствует сдвигу ее вправо, т. е. в сторону образования основной соли — во-



дородного алунита. В присутствии избытка гидроксида алюминия также возможны реакции с образованием водородного алунита



или основной соли натрия



за счет гидроксида натрия, содержащегося в небольших количествах в гидроксида алюминия. Указанные основные соли алюминия малорастворимы в воде и повышают количество нерастворимого остатка в продукте. Таким образом, для получения продукта с низким содержанием нерастворимого остатка избыток гидроксида алюминия должен быть небольшим, а содержание в нем гидроксида натрия — минимальным.

Плав сульфата алюминия в дальнейшем кристаллизуется при охлаждении, подвергается грануляционной сушке или разбавляется и в виде раствора используется для очистки воды. Производство сульфата алюминия из гидроксида в зависимости от аппаратного оформления может осуществляться непрерывно или периодически. Современные производства имеют мощности 10—260 тыс. т продукта в год и используют в основном аппараты периодического действия.

Аппаратурно-технологическая схема производства сульфата алюминия периодического действия представлена на рис. 4.10.

Серная кислота (92—93%-ная) поступает в приемный бак и по мере необходимости центробежным насосом подается в напорный бачок 7. Напорный бачок изготовлен из углеродистой стали, снабжен нагнетательной, сливной и переливной линиями. Вода поступает в напорный бачок 8. Гидроксид алюминия подается из склада в бункер 1. Процесс получения сульфата алюминия осуществляется в реак-

торе 3, куда заливают расчетные количества воды и серной кислоты. В реактор через барботеры подается острый пар под давлением 0,3 МПа. После нагревания кислоты до 100—105 °С загружается расчетное количество гидроксида алюминия.

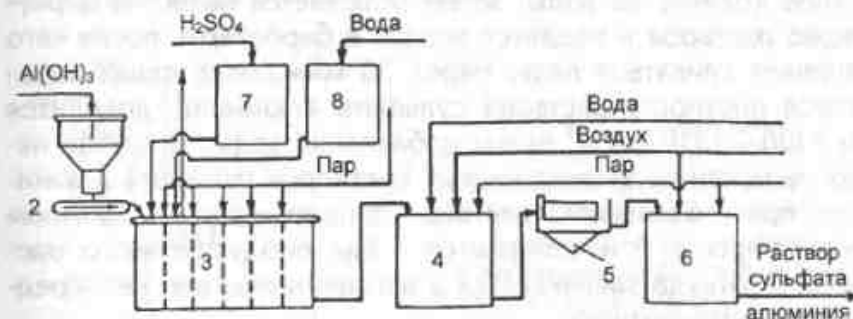


Рис. 4.10. Аппаратурно-технологическая схема производства сульфата алюминия периодическим методом

1 — бункер; 2 — ленточный конвейер; 3 — реактор; 4 — бак для приготовления раствора; 5 — фильтр-пресс; 6 — бак производственного раствора; 7, 8 — напорные бачки

Реактор выполнен из углеродистой стали, внутри покрыт слоем резины и футерован в два слоя кислотоупорным кирпичом на арзамитовой замазке. По длине реактора установлены барботеры в виде прямых полых труб из фаолита диаметром 0,074/0,050 м. В нижней части барботеры имеют дополнительные отверстия. К барботерам подведен острый пар. Реактор снабжен трубой из фаолита. В крышке реактора имеются два люка: для чистки и осмотра реактора и для отбора проб реакционной массы. Крышка — стальная, гуммированная. Пар подается в раствор для перемешивания реакционной массы и поддержания температуры 110—120 °С. После варки, длящейся до 1,5 ч, нейтральный по тропеолину и отвечающий по содержанию нерастворимого остатка требованиям ГОСТ 12966 плав сульфата алюминия плотностью 1580—1600 кг/м<sup>3</sup> сливает-

ся по фаолитовому трубопроводу из реактора в бак 4 для приготовления раствора или направляется на кристаллизацию при естественном охлаждении. Разбавление плава сульфата алюминия осуществляется до концентрации не менее 8,2 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . В бак предварительно заливается расчетное количество воды, затем включается насос на циркуляцию раствора и подается воздух в барботеры, после чего начинает сливаться плав. Через 30 мин после слива замеряется плотность раствора сульфата алюминия, доводится до 1300—1310  $\text{кг}/\text{м}^3$  путем добавления воды. В случае необходимости получения чистых растворов сульфата алюминия приготовленный раствор фильтруется на рамном фильтр-прессе 5 и собирается в бак продукционного раствора 6, откуда закачивается в автоцистерны или непосредственно потребителю.

Бак приготовления раствора выполнен из углеродистой стали, футерован по слою полиизобутилена кислотоупорным кирпичом в один слой на арзамитовой замазке. Для перемешивания раствора бак снабжен двумя фаолитовыми барботерами ( $\varnothing$  0,05 м) — воздушным и паровым. Насос подключен таким образом, что можно производить одновременно циркуляцию раствора в баке и откачку в бак продукционного раствора 6. Последний выполнен аналогично баку 4.

Из недостатков этого способа следует отметить неточность дозирования гидроксида алюминия, а также использование аппаратов периодического действия, что не исключает применения ручного труда и не всегда позволяет автоматизировать процесс. Все это затрудняет организацию производств большой мощности.

Дальнейшее совершенствование технологии производства сульфата алюминия касалось как отдельных технологических переделов, так и всего процесса в целом. Результатом явились усовершенствование загрузки и дозирования гидроксида алюминия в реакторе путем приготовления водной суспензии, непрерывной кристаллизации концентрированного раствора сульфата алюминия на водоохлаждаемых

барабанах (кюль-вальцах), а также разработка непрерывного процесса получения гранулированного сульфата алюминия.

Аппаратурно-технологическая схема производства сульфата алюминия мощностью 100 тыс. т в год, где гидроксид алюминия подается в реактор в виде водной суспензии, представлена на рис. 4.11.

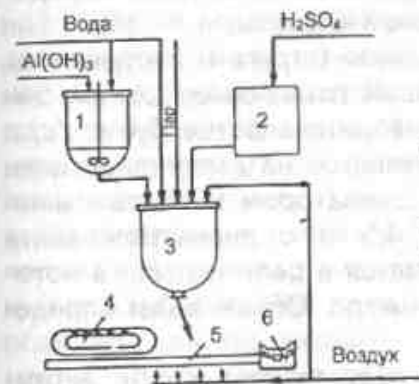


Рис. 4.11. Аппаратурно-технологическая схема производства сульфата алюминия: 1 — репульпатор; 2 — мерник; 3 — реактор; 4 — машина для извлечения закристаллизованного сульфата алюминия; 5 — стол-кристаллизатор; 6 — ленточный транспортер

Гидроксид алюминия поступает на склад в вагонах и выгружается в штабеля. В штабеле хранится до  $3 \cdot 10^6$  кг гидроксида. Из штабеля сырье подается грейферным краном на рабочую площадку, обслуживаемую загрузчиком гидроксида и шнеком. Количество гидроксида на площадке обеспечивает работу двух смен. Загрузчик гидроксида (струг) представляет собой цепной скребковый транспортер с вылетом стрелы 5 м, укрепленный на сварной раме, перемещающейся вдоль фронта загрузки шнекового транспортера на роликах. Загрузчик работает автоматически по принципу «челнока» с одновременным опусканием стрелы транспортера.

Серная кислота перекачивается по трубопроводу из заводского кислотохранилища в цеховое, представляющее собой горизонтальную емкость из углеродистой стали объемом 100  $\text{м}^3$ . Цеховое хранилище оборудовано уровнеметром, световой и звуковой сигнализацией, включающимися с помощью контактного датчика. Из цехового хранилища кислота центробежным насосом подается в мерник 2. Вода

поступает непосредственно в репульпатор 1. По поплавковому указателю уровня определяется количество воды, загруженной в репульпатор. Количество загруженных компонентов изменяется в зависимости от концентрации серной кислоты и влажности гидроксида алюминия. Объем загружаемой кислоты независимо от концентрации всегда остается постоянным. Загрузка гидроксида алюминия определяется концентрацией загружаемой кислоты.

Гидроксид алюминия загрузчиком (стругом) поступает на стальной горизонтальный шнековый транспортер длиной 5 м с диаметром винта 0,5 м, производительностью 5,6 кг/с, а отсюда — в цепной ковшевой элеватор на двухрядной цепи такой же производительности. Элеватором и вторым шнековым транспортером длиной 4,5 м с диаметром винта 0,5 м гидроксид алюминия подается в репульпатор, в который предварительно заливается вода. Объем воды определяется по уровню.

Репульпатор объемом 4 м<sup>3</sup> представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат со сферическим дном и нижней выгрузкой, выполненный из углеродистой стали. Аппарат снабжен пропеллерной мешалкой и поплавковым указателем уровня. На крышке аппарата имеются загрузочный и смотровой люки. Гидроксид алюминия поступает в репульпатор при непрерывно работающей мешалке, а количество его определяется с помощью поплавкового указателя уровня.

Приготовленная пульпа с отношением Т:Ж = 1:1,2÷1:0,83, что соответствует плотности  $(1,38—1,50) \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, через донное отверстие сливается в реактор 3. Он представляет собой вертикальный цилиндрический стальной аппарат со сферическим или плоским дном. Аппарат футерован двумя слоями кислотоупорного кирпича по двум слоям диабазовой плитки и подслою из полиизобутилена. Крышка сделана из армированного кислотоупорного бетона. Реактор снабжен нижним спуском, медными штоком-пробкой и барботером. На крышке аппарата имеются два люка (смотровой и для монтажа пробки), штуцера для заливки кисло-

ты, пульпы, воды и подачи пара, а также для установки термопар. Гнездо сливного отверстия представляет собой литой свинцовый штуцер.

Одновременно с пульпой гидроксида алюминия в реактор равномерно подается из мерника серная кислота. Мерник оборудован поплавковым указателем уровня и переливной трубой. Если при подаче серной кислоты наблюдается вспенивание реакционной массы, то в реактор добавляется 50 см<sup>3</sup> пеногасителя или мыльная пена. Работа насоса, подающего кислоту в мерник, и сигнализации, контролирующей уровень в аппарате, осуществляется автоматически от контактных датчиков, а также ручным дистанционным управлением.

Одновременно с началом загрузки реагентов в аппарат подается острый пар под давлением 0,15—0,2 МПа по медной трубе-барботеру, опущенной до дна аппарата. Пар необходим для нагревания и перемешивания реакционной массы. По окончании загрузки сырья реакционная масса выдерживается при 105—115 °С не менее 40 мин. Процесс считается законченным, когда содержание свободной серной кислоты в пробе составит менее 0,1 % и сульфата алюминия в пересчете на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — не менее 15 %. При растворении пробы в воде не должно быть заметного осадка.

По окончании процесса прекращается подача пара. Плав с содержанием 14,0—15,5 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> охлаждается до 105 °С и через нижний спуск сливается на стол-кристаллизатор 5. Кристаллизатор представляет собой стальной сварной корытообразный стол с прямыми торцами и выгнутыми по радиусу хода ножа боковыми стенками размером 4×26 м. Дно кристаллизатора оснащено соплами для подачи сжатого воздуха, который, проходя через концентрированный раствор сульфата алюминия, перемешивает его и охлаждает до 40—60 °С. Сопла размещены в шахматном порядке с шагом 0,4 м. Воздух к соплам поступает через ресивер от воздухоудовки. Емкость кристаллизатора 15 м<sup>3</sup>.

Закристаллизовавшийся сульфат алюминия извлекается из кристаллизатора автоматически действующей машиной 4 производительностью 5,6 кг/с. Машина состоит из двух



основных узлов: сдвоенной тяговой роликовой цепи, несущей на себе ножи с гребками, и I-образной рамы типа «кран-балка», автоматически движущейся по столу и несущей на себе рабочую цепь. Машина перемещается вдоль стола по рельсовому пути. Рабочая цепь движется в перпендикулярном направлении. На ней установлены три ножа с гребками. Закристаллизовавшийся сульфат алюминия машина режет на куски и сбрасывает на ленточный транспортер б, а затем продукт системой транспортеров отправляется на склад для погрузки в вагоны. Данная технологическая схема действует на ОАО «АУРАТ» (г. Москва) с 1956 г. Почти за 50 лет работы произведено около 4 млн т товарного сернокислого алюминия.

На ОАО «НПФ "ПИГМЕНТ"» (Санкт-Петербург) кристаллизацию сульфата алюминия осуществляли на кюль-вальцах. Полученный плав из реактора по сливной трубе поступает в поддон, где в расплав частично погружен водоохлаждаемый барабан, на стенке которого происходит кристаллизация продукта. Застывший сульфат алюминия срезается с барабана в виде чешуек ножевым устройством на ленточный конвейер, установленный под кристаллизатором, и затем подается на склад готовой продукции. Кюль-вальцы с барабаном диаметром 1,8 м, длиной 2,2 м и частотой вращения 1,25 об/мин имеют производительность 0,40—0,45 кг/с. На складе грейферным краном сульфат алюминия подается в бункер, из которого транспортером-погрузчиком загружается в железнодорожные вагоны. После приобретения у ОАО «НПФ "ПИГМЕНТ"» производства сернокислого алюминия фирмой ЗАО «КЕМИРА-Эко» в 2002 г. данное производство было закрыто и для водоочистных станций Санкт-Петербурга продукт выпускается в виде раствора с содержанием 7,5 %  $Al_2O_3$ , что облегчает применение его у потребителя. При такой концентрации продукт не замерзает и не кристаллизуется при транспортировании. Перевозится раствор в гуммированных автоцистернах. По сравнению с твердым продуктом себестоимость сульфата алюминия в растворе в пересчете на одинаковое содержание оксида алюминия ниже на 5—10 %. В на-

стоящее время сернокислый алюминия в виде раствора выпускается и применяется в Архангельске, Костроме, Дзержинске, Ярославле, Волгограде, Кемерове, Великом Новгороде.

Первая стадия производства жидкого сернокислого алюминия полностью совпадает с производством гранулированного или твердого сульфата алюминия. На второй стадии вместо кристаллизации полученный плав разбавляется водой до концентрации 7—8 % по  $Al_2O_3$ . Хотя, на первый взгляд, это достаточно простой процесс, тем не менее, в последнее время получено несколько патентов на его усовершенствование [78—80].

На большинстве заводов очищенный сульфат алюминия производится по периодической схеме, т. е. со столами-кристаллизаторами. К недостаткам описанных схем следует отнести прежде всего периодичность процесса, невозможность получения продукта с повышенным содержанием оксида алюминия и неудовлетворительный товарный вид сульфата алюминия (куски неправильной формы массой до 10 кг). Относительно низкая производительность непрерывно работающих кюль-вальцов не позволяет рекомендовать их для создания производств большой мощности (более 100 тыс. т/год). Кроме того, невозможность сколь угодно длительного хранения расплава сульфата алюминия обуславливает жесткую связь между периодически работающими реакторами и кюль-вальцами, что создает определенные организационные трудности. Поэтому разработка полностью непрерывных технологических схем и аппаратуры большой мощности является актуальной задачей.

Новая технология предусматривает полностью непрерывные процессы варки плава сульфата алюминия, его сушки, кристаллизации и грануляции, совмещенные в аппарате кипящего слоя. Эта технология позволяет получать гранулированный сульфат алюминия с повышенным содержанием основного вещества — 20—22 %. Более 90 % продукта составляет фракция 1—3 мм. Насыпная масса его 400—450 кг/м<sup>3</sup> [74].

Непрерывное производство состоит из следующих основных стадий: подготовки сырья, получения расплава сульфата алюминия, его обезвоживания и грануляции, а также охлаждения, упаковки и транспортирования готового продукта на склад. Аппаратурно-технологическая схема непрерывного способа получения сульфата алюминия представлена на рис. 4.12.

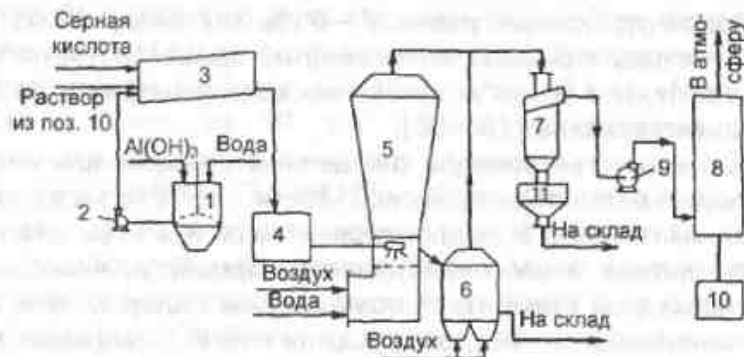


Рис. 4.12. Аппаратурно-технологическая схема производства сульфата алюминия непрерывным методом:

- 1 — репульпатор; 2 — центробежный насос; 3 — барабанный аппарат; 4 — сборник плава; 5 — аппарат кипящего слоя; 6 — холодильник; 7 — циклон; 8 — скоростной промыватель; 9 — дымосос; 10 — циркуляционный сборник; 11 — бункер

Гидроксид алюминия со склада грейферным краном подается в бункер, а затем шнековым питателем — в репульпатор 1 для приготовления суспензии. Из водопроводной линии в этот бак подведена вода. Репульпатор изготовлен из углеродистой стали и снабжен цепной мешалкой, предотвращающей расслоение суспензии. В нем установлены плотномер и электроды уровня. Объем аппарата, ограниченный электродами, равен приблизительно часовому расходу суспензии. Плотность суспензии —  $1290 \text{ кг/м}^3$  (Т:Ж = 1:1,8). В аппарате предусмотрена сетка с отверстиями размером 10 мм для задержания посторонних включений, могущих попасть с гидроксидом алюминия.

Суспензия гидроксида алюминия заданной плотности готовится по мере ее расходования с помощью автоматических регуляторов. Центробежный насос 2 непрерывно подает суспензию в циркуляционное кольцо, в верхней части которого расположена отборная коробка. Из отборной коробки часть суспензии поступает в барабанный аппарат 3 или каскад реакторов непрерывного действия.

Серная кислота из заводского хранилища подается в емкость, расположенную в цехе, откуда погружным насосом — в напорный бак, а затем в барабанный аппарат. Ниже напорного бака расположен фильтр, предохраняющий регулирующие устройства от засорения. На случай чистки фильтра предусмотрена подача кислоты по обводной линии.

На каждом потоке реагентов установлены датчики индукционных расходомеров и регулирующие клапаны. Заданный расход реагентов поддерживается автоматически, тем самым обеспечивается требуемое соотношение потоков водной суспензии гидроксида алюминия и серной кислоты, поступающих в реактор. Работа расходомеров проверяется с помощью специальных тарировочных устройств.

За счет теплоты разбавления  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и реакции нейтрализации гидроксида алюминия серной кислотой температура в реакторе поддерживается в пределах  $95\text{--}115^\circ\text{C}$ . Продолжительность пребывания массы в реакторе составляет  $25\text{--}40$  мин. На выходе из него получается концентрированный раствор сульфата алюминия с содержанием  $13,5\text{--}14,0\%$   $\text{Al}_2\text{O}_3$ , который сливается в сборник плава 4, обогреваемый острым паром. Сборник изготовлен из стали ЭИ943, снаружи теплоизолирован. Из него раствор непрерывно подается в циркуляционную линию, откуда поступает в распыливающие форсунки аппарата кипящего слоя 5. Циркуляционная линия снабжена паровым обогревом и теплоизолирована. Трубопровод циркуляционной линии имеет уклон для стока плава в сборник.

Образовавшиеся гранулы сульфата алюминия выгружаются в холодильник кипящего слоя 6, откуда ленточным конвейером подаются на склад или расфасовочное устройство. Воздух на охлаждение гранул подается дутьевым вен-

тилятором. Дымовые газы после печи кипящего слоя и холодильника соединяются и подвергаются двухступенчатой сухой очистке в циклонах 7, а затем мокрой очистке в скоростном промывателе 8. Разрежение в системе создается дымососом 9. Раствор на улавливание пыли непрерывно подается в промыватель из циркуляционного сборника 10. По достижении концентрации 6—7 %  $Al_2O_3$  он откачивается в барабанный аппарат. Недостающий раствор непрерывно пополняется сконденсировавшейся из газов влагой или свежей водой. Пыль, уловленная в циклонах, собирается в бункер 11 и может служить товарным порошкообразным продуктом. В случае необходимости ее можно гранулировать.

Барабанный аппарат (рис. 4.13) непрерывного действия представляет собой горизонтальный барабан 1, изготовленный из стали ЭИ943, вращающийся на роликовых опорах, снабженный наружной теплоизоляцией и установленный на подвижной раме 3. Производительность его составляет 10000 кг/ч. Скорость вращения барабана — 0,18 рад/с. На внутренней стенке барабана приварена винтовая направляющая для перемещения массы внутри аппарата. Водяные пары из него отсасываются вентилятором через головку 2 и выбрасываются в атмосферу через выхлопную трубу.

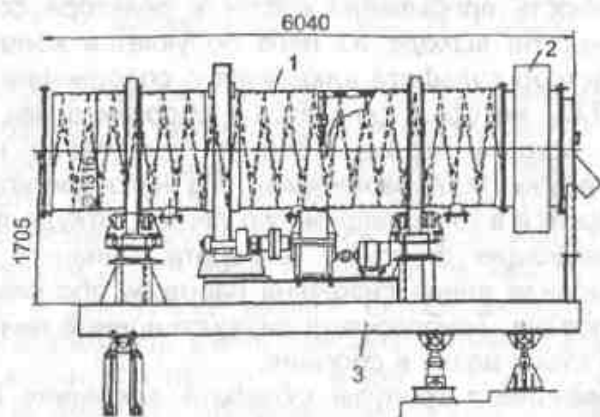


Рис. 4.13. Барабанный аппарат непрерывного действия:  
1 — барабан; 2 — головка; 3 — подвижная рама

Гранулятор кипящего слоя (рис. 4.14) имеет цилиндрическую форму и разделен газораспределительной решеткой 3 колпачкового типа на две зоны. Нижняя зона — смесительная камера 2 служит для разбавления продуктов горения вторичным воздухом и равномерной подачи во вторую рабочую зону 4 — собственно кипящий слой, в который вбрызгивается пневматическими форсунками плав сульфата алюминия. В этой зоне при 170—190 °С происходят обезвоживание и грануляция сульфата алюминия. Выше грануляционной камеры расположена сепарационная зона 5 для возврата мелких гранул в кипящий слой.

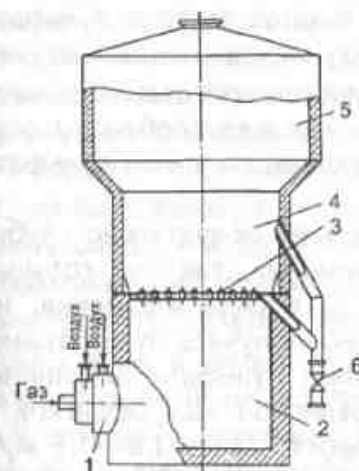


Рис. 4.14. Гранулятор кипящего слоя:

- 1 — топка; 2 — смесительная камера;
- 3 — газораспределительная решетка;
- 4 — грануляционная камера;
- 5 — сепарационная камера;
- 6 — шлюзовый затвор

Воздух на горение и разбавление продуктов горения подается дутьевым вентилятором в топку 1. Гранулы удаляются из аппарата через шлюзовый затвор 6. Топка и гранулятор изготовлены из углеродистой стали и футерованы шамотным кирпичом.

Удельная производительность аппарата 0,33 кг/(м<sup>2</sup>·с) при подаче расплава с содержанием 13,5 %  $Al_2O_3$ . Площадь поперечного сечения аппарата составляет 7,8 м<sup>2</sup>, чему соответствует диаметр 3,2 м. Живое сечение газораспределительной решетки равно 5,5 %. Скорость греющих газов в расчете на живое сечение 1,1—1,3 м/с.



Производительность гранулятора кипящего слоя в расчете на продукт с содержанием 14 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  составляет  $(4-6) \cdot 10^3$  кг/ч, расход газа — 420 м<sup>3</sup>/ч, воздуха — 2200 м<sup>3</sup>/ч ( $P = 4900$  Па), сжатого воздуха ( $P = 3 \cdot 10^5$  Па) на распыление раствора сульфата алюминия — 18 м<sup>3</sup>/ч. Температура газов под решеткой равна 550—600 °С.

Основным недостатком способа является большой пылеунос (40—50 %) в процессе грануляционной сушки концентрированного раствора сульфата алюминия, что потребует организации громоздких пылеочистных устройств и, по-видимому, гранулирования пыли сульфата алюминия. Грануляционная сушка сопряжена с повышенными затратами теплоты (50—70 нм<sup>3</sup> природного газа на 1000 кг сульфата алюминия), кроме того, получается относительно непрочный гранулированный продукт с небольшой насыпной массой (400—450 кг/м<sup>3</sup>). Поэтому более целесообразно осуществлять грануляционную кристаллизацию плава сульфата алюминия холодным воздухом.

Для предотвращения слеживания не обязательно глубокое обезвоживание сульфата алюминия, так как готовый продукт, содержащий более 15 % оксида алюминия, не слеживается. Такой продукт можно получить путем грануляционной кристаллизации раствора сульфата алюминия, распыляемого форсункой, установленной над решеткой в аппарате кипящего слоя. При скорости газов 1,8—1,9 м/с в зоне гранулирования аппарата диаметром 2,3 м максимальный расход воздуха составляет 26 тыс. м<sup>3</sup>/ч. Температура слоя — 25—31 °С в зависимости от температуры подаваемого воздуха и количества раствора, нагретого до 110 °С. Производительность гранулятора — 700—1200 кг/ч.

В процессе гранулирования происходит упаривание и на 1—1,8 % повышается содержание водорастворимого  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в продукте. При этом получается продукт с большей насыпной массой (790—940 кг/м<sup>3</sup>). Для предотвращения роста гранул и стабилизации гранулометрического состава в кипящем слое установлен дезинтегратор. С отходящими газами из аппарата уносится 5—7% пыли.

Метод холодного гранулирования концентрированного раствора в псевдооживленном слое более экономичен, чем высокотемпературная сушка. Он не требует затрат топлива, характеризуется более простым конструктивным исполнением и меньшим пылеуносом. Гранулированный материал получается прочнее и тяжелее.

Для получения продукта заданного качества и поддержания оптимальных технологических параметров основные стадии процесса автоматизированы. Автоматика узла приготовления суспензии гидроксида алюминия включает в себя два регулятора: двухпозиционный регулятор уровня суспензии в репульаторе и регулятор плотности суспензии. При снижении уровня суспензии включаются устройства, подающие гидроксид алюминия в репульатор. При повышении уровня подача прекращается.

Регулятор плотности работает по импульсу, получаемому от автоматического пьезометрического плотномера. Во время очередной загрузки гидроксида плотность суспензии в баке начинает возрастать. Сигнал с плотномера поступает на регулятор, который, воздействуя на клапан, увеличивает подачу воды в репульатор. При уменьшении плотности до заданного значения регулятор прекращает подачу воды.

К сульфату алюминия предъявляются жесткие требования по содержанию свободной серной кислоты и нерастворимого остатка. Выполнение этих требований при непрерывном процессе возможно при точной автоматической дозировке (с помощью регуляторов) исходных реагентов — суспензии и кислоты. Это тем более необходимо, потому что неизвестны методы автоматического контроля качества получаемого продукта.

Схема автоматизации предусматривает автоматический контроль температуры в реакционной зоне барабанного реактора. Необходимость этой меры обусловлена тем, что в установившемся режиме при заданном соотношении потоков кислоты и суспензии отклонение температуры в ту

или другую сторону на 3—4 °С свидетельствует о серьезных нарушениях дозировки исходных реагентов. При выходе температуры из заданных пределов расход кислоты корректируется автоматически. Непрерывный автоматический контроль температуры и сигнализация при выходе ее из заданных значений позволяют своевременно вмешиваться в процесс при нарушениях дозировки исходных реагентов и предотвращать получение на выходе из реактора нестандартного продукта.

Автоматика процесса грануляции предусматривает автоматический контроль расходов воздуха (первичного и вторичного), газа, давления воздуха и газа, а также контроль температур в топке, под решеткой, в слое, над слоем, перед циклонами и скоростным промывателем. Высота слоя в грануляторе поддерживается автоматически. Температура топочных газов регулируется автоматически путем изменения подачи газа, а температура слоя — изменением расхода вторичного воздуха.

В дальнейшем этот способ получения гранулированного сульфата алюминия усовершенствовался [81] в целях уменьшения пылеуноса.

В патентной литературе встречается описание непрерывных процессов и в другом аппаратном исполнении. Известен непрерывный способ получения сульфата алюминия путем подачи водной суспензии гидроксида алюминия и серной кислоты (взятой в стехиометрическом количестве) в смесительные форсунки реактора, в котором масса находится не менее 30 с. После охлаждения до 100 °С в проточном холодильнике она продавливается через сопло и прорези, в результате чего образуется мелкогранулированный продукт.

Обработку гидроксида алюминия серной кислотой также предлагается проводить во вращающихся автоклавах при 145—165 °С в течение 5—20 мин. Реакция завершается во

вращающейся печи при 175—500 °С с получением обезвоженного, гранулированного сульфата алюминия.

Большое внимание исследователей и производителей уделено усовершенствованию одного из основных процессов производства сульфата алюминия — кристаллизации. Для кристаллизации сульфата алюминия применяются открытые металлические ванны с двойным днищем, по которому циркулирует охлажденная вода, а также вращающиеся барабанные холодильники, в которых плав гранулируется.

По технологии, предлагаемой фирмами SBS Berndorf s.r.l. и Sandvik Process System GmbH, плав, получаемый периодическим способом, с содержанием не менее 17,1 %  $Al_2O_3$  и температурой 110 °С кристаллизуется на стальной ленте, охлаждаемой снизу водой. Сверху плав обдувается воздухом. Лента длиной 40 м и шириной 1 м имеет по краям резиновые реборды для удержания плава. Скорость движения ленты регулируется таким образом, чтобы толщина расплава на ней находилась в пределах 8—12 мм. Часовая производительность одного кристаллизатора составляет 2500—4200 кг. Мощность одной ленты достигает 40 тыс. т/год.

Застывший плав подвергается первичному измельчению при сходе с ленты. Дальнейшее измельчение осуществляется в ножевой дробилке, а для выпуска порошкообразного продукта — в дезинтеграторе.

В последние годы наметилась тенденция к получению продукта с более высоким содержанием оксида алюминия, чем по существующему на мировом рынке стандарту (17—18 %). В некоторых патентах предлагается осуществлять дегидратацию кристаллического сульфата алюминия, а также кристаллизовать из растворов  $Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$  ( $n = 4 \div 3$ ). Однако больший интерес представляют методы, в которых совмещена дегидратация с одновременной кристаллизацией. Разработан способ получения пылевидного

сульфата алюминия путем обезвоживания и кристаллизации раствора сульфата алюминия на инертном теплоносителе в печах кипящего слоя при 150—450 °С [74].

В г. Хельсинборге (Швеция) фирма «Kemiga» производит в промышленном масштабе сернокислый алюминий по способу, предусматривающему сушку и грануляцию растворов сульфата алюминия в барабанном грануляторе-сушилке. Исходный раствор, содержащий 15—17 %  $Al_2O_3$ , распыляется пневматической форсункой на завесу из ретурного материала и высушивается дымовыми газами при прямоточном обогреве. В результате вращения барабана материал окатывается в гранулы размеров 1—3 мм. Содержание  $Al_2O_3$  в гранулированном продукте — 17—19 %. По сравнению с использованием аппарата кипящего слоя сушка и грануляция в барабанном грануляторе-сушилке характеризуются меньшим пылеуносом и большими размерами гранул. На российском рынке этот продукт известен как ALG. В нашей стране данный способ нашел отражение в патентах [82, 83, 84]. И только в 2003 г. было запущено производство гранулированного сульфата алюминия по аналогичной технологии в ООО «Синтез» (г. Кострома). Производительность одного барабанного гранулятора-сушилки составляет 15 тыс. т/год продукта высшего сорта (ГОСТ 12966) с содержанием  $Al_2O_3$  не менее 16,2 %.

Также известен способ кристаллизации путем разбрызгивания раствора сульфата алюминия с содержанием оксида алюминия не менее 13,5 % в охладительной башне высотой 40 м с получением продукта в гранулированном виде [54]. В дальнейшем предлагались способы усовершенствования. Так, способ, описанный в работе [84], позволяет уменьшить высоту распылительной башни в 3—4 раза, а расход охлаждающего воздуха на 20—30 %. В способе, представленном в работе [85], основное внимание уделено повышению производительности до 2 т/ч и улучшению качества продукта — сульфат алюминия имеет пониженную

слеживаемость за счет повышения в нем оксида алюминия на 2,0—3,0 мас. %, чешуйчатую форму частиц и однороден по дисперсности.

Сущность технологии получения дигидрокосульфата (оксисульфата) алюминия или высокоосновного коагулянта, представляющего собой смесь дигидрокосульфата и сульфата алюминия, заключается в разложении суспензии гидроксида алюминия 50—57%-ной серной кислотой в интервале температур 110—120 °С. Дозирование серной кислоты производится из расчета на молярное соотношение  $SO_3/Al_2O_3 = 1,9 \div 2,2$ . Упрощенная технологическая схема процесса представлена на рис. 4.15. В стальном баке с лопастной мешалкой готовится водная суспензия гидроксида алюминия влажностью 54—60 %, и затем самотеком подается в реактор, куда из мерника дозируется 93%-ная серная кислота. Пульпа перемешивается острым паром. Разложение гидроксида алюминия серной кислотой можно осуществлять и в реакторе с лопастной или пропеллерной мешалкой. Температура в реакторе за счет теплоты разбавления серной кислоты и реакции нейтрализации достигает 115—125 °С и в дальнейшем поддерживается острым паром, подаваемым через барботер. Длительность процесса разложения составляет 1—2 ч. Готовый продукт с содержанием 17—18,5 %  $Al_2O_3$  и до 1 % нерастворимого остатка сливается на кристаллизационный стол или другой аппарат, где он кристаллизуется при охлаждении воздухом или с помощью водяной рубашки при температуре 40—45 °С. Чем меньше отношение  $SO_3/Al_2O_3$ , тем больше основность полученного продукта и выше содержание нерастворимого остатка. Так, при молярном отношении  $SO_3/Al_2O_3 = 2,5$  содержание нерастворимого остатка составляет 0,09—0,29 %, тогда как при отношении 2,2 оно повышается до 0,88—1,0 %. Содержание водорастворимого оксида алюминия в продукте определяется влажностью водной суспензии гидроксида алюминия, концентрацией серной кислоты и температурой в реакторе. Полученный продукт в случае молярного отноше-



ния  $SO_3/Al_2O_3 > 2$  представляет собой смесь дигидроксо-сульфата и сульфата алюминия. Чем меньше это отношение, тем больше содержание дигидроксосульфата алюминия в коагулянте.

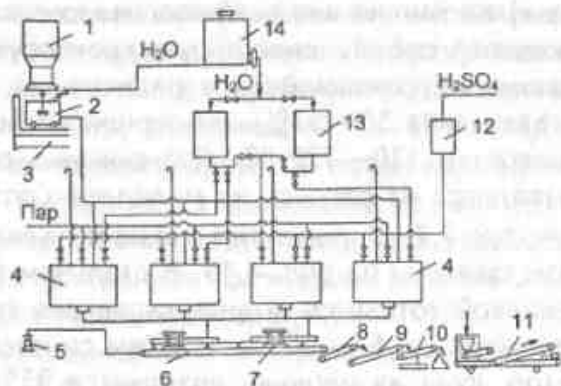


Рис. 4.15. Технологическая схема получения основного сульфата алюминия:

- 1 — бункер гидроксида алюминия; 2 — репульпатор; 3 — весы;  
4 — реакторы; 5 — воздуходувка; 6 — аппарат кристаллизации открытого типа; 7 — машина для выемки закристаллизованного продукта;  
8—11 — система транспортеров; 12 — мерник серной кислоты;  
13 — мерник воды; 14 — напорный бак воды

При получении жидкого коагулянта концентрированный раствор основного сульфата алюминия с содержанием 17—18 %  $Al_2O_3$ , полученный разложением суспензии гидроксида алюминия серной кислотой при молярном отношении  $SO_3/Al_2O_3 = 1,8 \div 2$ , разбавляется водой до содержания  $Al_2O_3$  8—8,5 % при непрерывном перемешивании мешалкой или сжатым воздухом. Затем раствор отделяется от нерастворимого остатка фильтрованием или отстаиванием. Твердый остаток, представляющий собой гидроксид алюминия в виде гиббсита, возвращается на повторное разложение серной кислотой. Характерной особенностью этого процесса является практически полное использование гидроксида алюминия. Производство коагулянтов в жидком виде позволяет существенно упростить погрузочно-разгрузочные

работы и технологию их применения на очистных сооружениях, автоматизировать процессы подготовки коагулянта и его потребления. Однако существенным недостатком является относительно невысокое содержание оксида алюминия, в связи с чем увеличиваются транспортные расходы. В дальнейшем проводились работы по усовершенствованию процесса получения оксосульфата алюминия. В основном авторы [87, 88] изменили соотношение  $SO_3/Al_2O_3$ , т. е. изменяли основность продукта или уменьшали энергетические затраты [89] на приготовление коагулянта. В дальнейшем была сделана попытка получения гидроксосульфата алюминия путем модификации сульфата алюминия химическим воздействием с карбонатом или гидроксидом кальция [90]. Однако информации о промышленной реализации данного способа получения коагулянта нет.

Промышленно дигидросульфат алюминия и (поли)оксисульфат алюминия в небольших количествах выпускался в 1994—1998 гг. ОАО «Ачинский глиноземный комбинат», а также с 1999 г. Пермским ОАО «Галоген» под торговой маркой «Касофт». Однако по разным причинам этот продукт не нашел применения в практике водоподготовки. Возможно, это связано с тем, что более эффективными реагентами оказались основные соли алюминия.

Первое упоминание об основных солях хлорида алюминия относится к 1920 г., когда Г. Бейли описал процесс растворения алюминия в соляной кислоте вплоть до максимально возможных концентраций, при которых раствор из истинного превращается в коллоидный [62, 91]. Благодаря ряду особых свойств, не характерных для обычных солей (практически неограниченная растворимость, широкий интервал кислотности, высокая коагулирующая способность), оксихлориды алюминия получили широкое применение. В нашей стране работы по применению гидроксохлоридов алюминия (оксихлоридов алюминия) в качестве коагулянта начаты в конце 50-х годов по инициативе Э. А. Левицкого [92], который предложил, в частности, осуществлять коагуляцию с применением ОХА в присутствии сульфат-иона, что позволяет более эффективно удалять загрязнения [62].

Многообразие методов и способов производства полиоксихлорсульфатонитратов алюминия или оксихлорсульфатонитратов алюминия (ПОХСНА) и, что самое важное для потребителя, — многообразие состава получаемых коагулянтов открывают огромные перспективы в оптимизации процессов коагуляции природной и сточных вод. Способы производства ПОХСНА в настоящее время можно условно разделить на семь основных групп [60, 62]:

1. Получение из металлического алюминия при прямом взаимодействии с соляной кислотой. В качестве сырья используют чушки алюминиевые, гранулы алюминия («крупка»), отходы алюминиевых производств.

2. Получение из оксидов или гидроксидов алюминия. При производстве из свежесозданного гидроксида алюминия не используются нагрев и давление, при применении кристаллических оксидов и гидроксидов алюминия используются давление и нагрев (автоклавный метод).

3. Солянокислотное и сернокислотное разложение алюмосиликатов — глиноземсодержащих материалов (бокситы, каолины, нефелины и алуниты).

4. Получение хлорсульфатным и ионообменным способом с последующим удалением, в случае необходимости, сульфатного шлама.

5. Получение оксихлоридов и оксихлорсульфатов алюминия путем нейтрализации водных растворов хлорида алюминия содой, аммиаком и другими реагентами.

6. Электрохимические способы получения из водных алюмохлоридных растворов, включая повышение основности низкоосновных оксихлоридов за счет выделения на анодах хлора.

7. Термогидролиз алюминийсодержащего сырья, в основном безводного хлорида алюминия.

Из всех перечисленных способов производства в нашей стране наибольшее распространение получили первых два способа.

В монографии по технологии коагулянтов [54] способ получения оксихлорида из металлического алюминия при

прямом взаимодействии с соляной кислотой вообще не рассматривался, а в работе [62] упоминается о способе фирмы «Динамит Нобель» (в настоящее время концерн «Акзо Нобель»). Получение основных хлоридов алюминия происходит путем непрерывного пропускания 5-15%-ной соляной кислоты без доступа воздуха через неподвижный слой гранулированного алюминия. Процесс ведется в вертикальном реакторе при температуре 20—25 °С. В дальнейшем был предложен способ получения оксихлоридов алюминия путем растворения алюминийсодержащего сырья в виде сплавов и отходов, содержащих 79—98 % алюминия и 2—22 % других металлов в 3—15%-ной соляной кислоте, который позволяет значительно интенсифицировать процесс, использовать различные отходы металлического алюминия или его сплавов и шлаков [62].

В 1995 г. был проведен международный тендер на лучшую технологию получения оксихлорида алюминия (полиалюминий гидрохлорида) для г. Екатеринбурга. В результате экологическому фонду «Вода Евразии» было предоставлено исключительное право по реализации технологии компаний «Бирмант» (Венгрия) и «Гидросистем» (США). Сущность технологии (рис.4.16) заключается в прямом солянокислотном взаимодействии с чушками алюминия. В 2000 г. этот опыт был распространен в г. Азове Ростовской области.



Рис. 4.16. Технологическая схема производства оксихлорида алюминия

Одновременно, в 1995 г., в г. Новосибирске ЗАО «Нива» и МУП «Водоканал» организовали производство оксихлорида алюминия также прямым солянокислотным взаимодействием, но алюминиевая часть сырья была представлена отходами металлообработки алюминия (алюминиевая стружка, фольга, жесть). После значительных усовершенствований технологии О. Г. Ананьевым были построены установки получения оксихлорида алюминия в г. Хабаровске и г. Новосибирске (ЗАО «Сибресурс»). Так как процесс взаимодействия металлического алюминия идет с выделением газообразного водорода по реакции



то перед технологами стоят задачи обеспечения безопасности проведения процесса и удаления газообразного водорода из реакционной зоны и производственных помещений. Кроме того, в процессе использования металлических чушек алюминия невозможно механизировать загрузку сырья и приходится использовать ручной труд.

По мнению авторов работ [62, 92], товарная гидроокись алюминия, получаемая в производстве глинозема, химически инертна и не способна к переходу в высокоосновные оксихлориды алюминия при обработке соляной кислотой. Для этого пригодна только свежесажженная гидроокись алюминия, обладающая высокой дисперсностью и химической активностью.

Э. А. Левицким [92] предложен способ получения гидрооксихлорида алюминия (ГОХА) с использованием гидроксида алюминия, осажденного быстрой карбонизацией на холоде алюминатного раствора глиноземного производства с последующей промывкой осадка и растворением его в соляной кислоте при нагревании. В последующем этот способ доработан НИОХИМ и испытан в полужавовских условиях на Пикалевском глиноземном комбинате (рис. 4.17).



Рис. 4.17. Получение гидрооксихлорида алюминия

В качестве исходного алюминийсодержащего сырья для получения ГОХА использован свежесажженный гидроксид алюминия, полученный при обработке обескремненного алюминатного раствора глиноземного производства газами известковых обжиговых печей. Выбор промежуточного, а не конечного продукта глиноземного производства обусловлен тем, что гидроксид алюминия, получаемый в условиях промышленного производства, не способен к переходу в гидрооксихлорид алюминия из-за пониженной активности вследствие прошедших в нем процессов старения, кристаллизации и агрегации частиц, отрицательно влияющих на его растворимость.



Исследования показали, что гидроксид с требуемой активностью может быть получен при карбонизации в течение 1 ч при температуре 20—30 °С и рН 11,4—11,8. Повышение температуры при разложении алюминатного раствора существенно ухудшает растворимость образующегося гидроксида алюминия. Значительное влияние на качество гидроксида оказывает также концентрация алюминатного раствора. Для получения дисперсного, химически активного гидроксида алюминия поступающий на карбонизацию алюминатный раствор должен содержать не более 70 кг/м<sup>3</sup> Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Суспензию, полученную при карбонизации, фильтровали, осадок промывали водой температурой 25—35 °С. Повышение температуры промывной воды оказывает отрицательное влияние на растворимость образующегося гидроксида алюминия. Двухстадийным фильтрованием и промывкой при расходе воды 2,5 ч. (мас.) на 1 ч. (мас.) осадка можно удалить из него до 98 % Na<sub>2</sub>O. Дальнейшее извлечение оставшегося количества натрия из осадка связано со значительными трудностями. Поэтому в случае предъявления потребителем жестких требований к содержанию натрия в продукте авторы предлагают заканчивать промывку слабым раствором аммиака. Промытый осадок, содержащий 80—85 % влаги, обрабатывали соляной кислотой в целях осуществления реакции:



Для создания наиболее благоприятных условий, способствующих образованию высокоосновного гидроксида алюминия, рН среды поддерживали в пределах 4—4,5. При этом было показано, что наибольшую химическую активность, обеспечивающую переход в гидроксохлорид алюминия при растворении, имеет рентгеноаморфный гидроксид алюминия, не содержащий кристаллических фаз.

Изменение концентрации соляной кислоты практически не оказывает влияния на кинетические показатели процесса и состав получающегося раствора, в то время как повыше-

ние температуры до кипения резко ускоряет процесс образования раствора гидроксохлорида алюминия.

По этой технологии в 1996 г. было организовано промышленное производство на ОАО «Бокситогорский глинозем» оксихлорида алюминия по ТУ 2152-050-04689375—96. Однако по ряду причин это производство было остановлено в конце 2004 г.

Длительное кипячение раствора ГОХА при постоянном объеме не приводит к его помутнению и изменению рН среды. Упаривание до 250 кг/м<sup>3</sup> Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> влечет за собой загустевание раствора с образованием прозрачного стекловидного продукта, который при сушке рассыпается в белый порошок. Содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в нем составляет 42—43 %, что соответствует формуле Al<sub>2</sub>(OH)<sub>5</sub>Cl·2,5 H<sub>2</sub>O.

Основной недостаток разработанной технологии — потребность в большом числе фильтров для отделения и промывки высокодисперсного аморфного гидроксида алюминия. Представляет определенные трудности и решение вопроса утилизации больших количеств фильтрата и промывных вод, получающихся при отмывке гидроксида алюминия. К недостаткам метода следует отнести и то, что в связи с нетранспортабельностью алюминатных растворов и потребностью в печных газах для карбонизации осуществление исследованного метода возможно только на предприятиях, производящих глинозем. Этого же требует и необходимость утилизации карбонатных растворов и промывных вод, переработка которых экономически целесообразна только на глиноземных заводах [66].

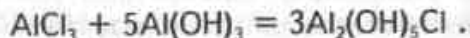
Метод получения гидроксохлорида, основанный на растворении в соляной кислоте активированного гидроксида алюминия, разработан в НИОХИМ (рис. 4.18).

Технический гидроксид алюминия, содержащий 10—12 % влаги, сушится во вращающейся печи при 110—130 оС, а затем через дозирующее устройство подается в пневмосепаратор для удаления механических примесей. Выходящая из сепаратора пылевоздушная смесь смешивается с природным газом и направляется в аппарат терморазложения, где происходит активация гидроксида алюминия вследствие

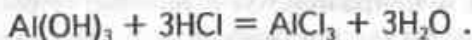


Рис. 4.18. Получение гидрохлорида алюминия из активированного гидроксида алюминия

его частичной дегидратации и аморфизации. Продукты терморазложения совместно с отходящими газами направляются в циклон для отделения активированного гидроксида от газового потока. Окончательно газы очищаются в пенном аппарате, а затем выбрасываются в атмосферу. Активированный гидроксид из циклона поступает в батарею эмалированных реакторов, где взаимодействует в течение 40—60 мин с хлоридом алюминия при 95—98 °С по реакции:



Раствор гидрохлорида алюминия, содержащий 13—15 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , отделяется от примесей нерастворимого остатка на отстойной центрифуге непрерывного действия и направляется в емкость-хранилище. Осадок из центрифуги подается в эмалированный реактор и обрабатывается концентрированной соляной кислотой (около 30 %  $\text{HCl}$ ) при 95—100 °С в течение 1—2 ч в целях получения хлорида алюминия по реакции:



Раствор хлорида алюминия смешивается в промежуточной емкости с суспензией из пенного аппарата и подается в батарею реакторов на взаимодействие с активированным гидроксидом алюминия. Состав получающегося раствора гидрохлорида алюминия зависит от степени растворения активированного гидроксида алюминия. При достижении в аппарате терморазложения степени активации не менее 75 % технологический процесс становится полностью циклическим, а получаемый раствор гидрохлорида алюминия имеет кислотный модуль 1,8—1,9 и содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в нем — 15 %. При низкой степени растворения технологический цикл не замыкается, так как для получения высокоосновного продукта часть неактивированного гидроксида необходимо выводить из процесса. В этом случае рекомендуется часть осадка с центрифуги растворять в серной кислоте с одновременным получением другого коагулянта — сульфата алюминия [66].

Третий способ получения оксихлоридов описан в работе [62]. Этот способ разработан Научно-исследовательским и конструкторско-технологическим институтом городского хозяйства (НИКТИ ГХ), г. Киев. Описано получение оксихлорида из нефелинового концентрата. Однако этот метод не нашел промышленной реализации. Значительно больший интерес представляет собой четвертый способ получения оксихлорида — или оксихлорсульфата алюминия. Этот способ впервые был предложен фирмой Kali-Chemie AG в 1972 г. Он заключается в получении оксихлорида алюминия, содержащего сульфаты в количестве, соответствующем ионному отношению  $\text{Cl} : \text{SO}_4$  от 8:1 до 80:1. Исходным сырьем служит гидроксид алюминия, который обрабатывается в реакторе при температуре кипения в течение 1 ч концентрированной соляной кислотой с получением раствора хлорида алюминия (около 11 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Последний смешивается в реакторе с новой порцией гидроксида алюминия и концентрированной серной кислотой согласно указанному выше отношению. Смесь нагревается до 130—200 °С, предпочтительно 140—180 °С, в течение 1—5 ч.

Нерастворившийся гидроксид отделяется на фильтр-прессе. Полученный раствор ГОХА содержит 16,7—18,4  $Al_2O_3$  при кислотном модуле 3—3,3. Переход  $Al_2O_3$  в гидроксохлорид алюминия составляет около 60 %. Этот способ после усовершенствований был широко распространен в Западной Европе и США. По аналогичному способу производится основное количество полиоксихлорида алюминия на ОАО «АУРАТ» (Москва) под торговой маркой «АКВА-АУРАТ™».

В дальнейшем этот способ был запатентован в России с различными модификациями [93—99]. Производство современных коагулянтов настолько разнообразно, что в рамках данной монографии авторы смогли только обозначить основные способы производства и дать элементарное описание этих процессов. Очевидно, в дальнейшем необходимо сделать более подробный анализ существующих технологий получения коагулянтов.

#### 4.5. Аналитический контроль в процессе получения товарных коагулянтов

Для решения задачи обеспечения высоких показателей физико-химической очистки воды водоочистными станциями необходимо применять коагулянты с гарантированными показателями качества. Производство реагентов, отвечающих предъявляемым требованиям, невозможно без наличия в технологическом процессе системы аналитического контроля. Такая система включает в себя:

- входной контроль сырья в соответствии с требованиями технологических регламентов производства коагулянтов;
- аналитический контроль реакционных сред и полупродуктов в контрольных точках технологического процесса;
- контроль воздушной среды на соответствие производства требованиям охраны труда и экологической безопасности;
- контроль качества товарных коагулянтов в соответствии с требованиями нормативной документации.

Для обеспечения выпуска продукта стабильно высокого качества с заданными показателями производитель обяза-

тельно предусматривает технологическим регламентом производства коагулянтов аналитический контроль каждой технологической стадии или операции.

Организация аналитического контроля должна удовлетворять требованиям ГОСТ Р ИСО-9000-2001. В современной заводской лаборатории следует иметь систему обеспечения качества, гарантирующую высокий уровень организации и проведения испытаний. Для этого лаборатория обязана располагать необходимыми для проведения техническими ресурсами, включающими эффективные и разрешенные к применению испытательное оборудование и средства измерений, своевременно поверенные и аттестованные в установленном порядке. Также важно, чтобы лабораторные помещения по производственной площади и санитарно-гигиеническим условиям соответствовали требованиям охраны труда и окружающей среды. Лаборатория должна быть укомплектована стандартными образцами и реактивами. Следует иметь в лаборатории необходимую правовую, организационно-методическую и нормативную документацию и осуществлять постоянную работу по ее актуализации.

Несомненно, важнейшим условием высокого качества аналитического контроля являются правильный подбор и расстановка кадров. Лаборатория должна иметь квалифицированный персонал, имеющий опыт работы, компетентный в вопросах организации и проведения испытаний, обработки и оформления их результатов. В соответствии с действующими стандартами предприятия необходимо осуществлять постоянный внутренний контроль качества проведения анализов и правильности результатов. При этом все результаты анализов регистрируются с конкретным указанием лица, ответственного за проведение анализа. В случае расхождений результатов испытаний принимаются меры по выявлению и устранению причин, вызывающих эти расхождения.

Для обеспечения достоверного аналитического контроля необходимы надежные методы, отвечающие современным требованиям чувствительности, экспрессности, сходимости



и воспроизводимости результатов анализа. Для определения массовой доли основного вещества в товарных коагулянтах применяются главным образом титриметрические методы. Для контроля содержания примесей используются преимущественно фотоколориметрический и атомно-абсорбционный методы анализа. Наряду с количественным определением содержания химических веществ контроль качества коагулянтов часто включает в себя определение таких физических характеристик, как плотность, pH и содержание нерастворимых в воде веществ.

Существенным этапом контроля качества коагулянтов является отбор представительных проб для проведения анализа, так как результаты самого точного и тщательно выполненного анализа теряют смысл при неверном выполнении отбора пробы. В процессе получения товарных коагулянтов отбираются пробы от каждой партии сырья, каждой партии готовой продукции, а также на промежуточных стадиях производства в регламентированных контрольных точках [100].

Растворы отбираются медленным погружением пробоотборника до дна тары. Из автоцистерн, железнодорожных цистерн, контейнеров отбор проб проводится специальным пробоотборником. Пробы серной кислоты отбираются стальным пробоотборником (ГОСТ 2184), соляной кислоты и жидких коагулянтов — пробоотборником, представляющим собой толстостенный фторопластовый цилиндр с перфорированной крышкой. Из канистр и другой мелкой тары отбор проб производится с помощью толстостенной стеклянной трубки с всасывающим устройством. Твердые продукты (упакованные в контейнеры, мешки) отбираются погружением пробоотборника (щупа) до дна тары, отбор проб проводится из 5 % упаковочных единиц. Отобранные точечные пробы соединяются вместе, перемешиваются и сокращаются квартованием по стандартной схеме.

Способ отбора проб для текущего контроля производственного процесса определяется характером процесса и конструкцией аппаратуры. Так, отбор проб из реактора, работающего под давлением, осуществляется с помощью

шлюзового пробоотборника, установленного стационарно в реакторе. В непрерывных процессах пробы отбираются непосредственно из потока через определенные промежутки времени с использованием специальных устройств.

Отбор проб воздуха рабочей зоны для определения в нем токсических веществ осуществляется аспирационным методом, основанным на протягивании известного объема воздуха через поглотительную среду. Для аспирации анализируемого воздуха через жидкие поглотительные среды применяется электроаспиратор. Параметры, контролируемые при производстве растворов полиоксихлорида алюминия, выпускаемых под торговой маркой «АКВА-АУРАТ», приведены в табл. 4.13.

При производстве кристаллического полиоксихлорида алюминия (торговая марка "АКВА-АУРАТ™30") контролируется соответствие каждой партии готового продукта, а также раствора "АКВА-АУРАТ™18", служащего для него сырьем, требованиям ТУ 6-09-05-1456—96. Кроме того, контролируется каждая партия продукта, поступающего из дозатора в накопительную емкость, на содержание оксида алюминия и насыпную массу. Параметры, подлежащие аналитическому контролю при производстве сульфата алюминия технического очищенного 2-го сорта (ГОСТ 12966) приведены в табл. 4.14.

Методы входного контроля качества сырья, как правило, регламентируются стандартами и техническими условиями поставщиков. При этом сырье рекомендуется приобретать у постоянных проверенных поставщиков, у которых имеется регламент качества на продукт, изготовляемый по утвержденной технологии.

При производстве коагулянтов расход сырья регулируется в соответствии с массовой долей в нем основного вещества, поэтому для управления технологическим процессом необходимо определять этот показатель. Обязательным условием обеспечения качества коагулянтов является определение содержания нормируемых примесей в сырье. Кроме определения нормируемых показателей осуществляется входной радиационный контроль сырья.

Контрольные параметры производства «Аква-Аурат™»

Наименование стадий процесса, места отбора проб	Контролируемый параметр	Частота контроля	Нормы и показатели	Документация на методы испытаний
1. Сырье: 1.1. Гидроксид алюминия	1. Потеря массы при прокаливании 2. Массовая доля воды 3. Радиационный фон 1. Массовая доля HCl 2. Массовая доля железа 1. Массовая доля CaCO <sub>3</sub> 2. Массовая доля влаги 3. Содержание веществ, нерастворимых в HCl 4. Радиационный фон	Каждая партия, поступающая на предприятие, и каждая загрузка в аппарат То же " - "	Соответствие техническим условиям поставщика Соответствие ГОСТ 857 Соответствие техническим условиям поставщика	ТУ 1711-069-00196368-2001 и другие ТУ поставщиков ГОСТ 857 ТУ 5743-001-22242270-2002
2. Реакционный аппарат для взаимодействия Al(OH) <sub>3</sub> с HCl	1. Массовая доля Al в растворе 2. Основность (отношение OH/Al)	При завершении каждого процесса	АКВА-АУРАТ™ 18: Al — (8,7—9,2) % OH/Al — (1,14—1,32) АКВА-АУРАТ™ 14: Al — (6,94—7,50) % OH/Al — (0,60—0,96)	Аналитический метод фирмы Kemiga Agro Oy Kokkola

3. Аппарат для получения "АКВА-АУРАТ™ 10" 4. Фильтр-пресс	1. Массовая доля Al в растворе 2. Отношение OH/Al 1. Массовая доля алюминия 2. Массовая доля нерастворимых в воде веществ 3. pH 4. Плотность 5. Прозрачность Контроль качества продукта То же Содержание HCl	То же Каждая операция	Al — (4,95—5,60) % OH/Al — (1,95—2,25) Соответствие ТУ 6-09-05-1456-96	То же ТУ 6-09-05-1456-96
5. Резервуар для хранения продукта 6. Транспортная емкость потребителя 7. Воздух рабочей зоны 8. Воздух рабочей зоны	Контроль качества продукта То же Содержание HCl 1. Содержание HCl 2. Содержание Al	То же Каждая емкость Каждая смена Ежемесячно	То же " - " Не более 5 мг/м <sup>3</sup> То же Не более 2 мг/м <sup>3</sup>	То же " - " Газоопределятель ГПХВ-2 МУ №1645-77 МУ №1611-87

Контрольные параметры производства сернокислого алюминия

Наименование стадий процесса, места отбора проб	Контролируемый параметр	Частота контроля	Нормы и показатели	Методы испытаний
1. Сырье:				
1.1. Гидроксид алюминия	1. Соответствие требованиям ТУ 2. Радиационный фон 3. Массовая доля воды	Каждая партия, поступающая на предприятие Не менее 1 раза в смену То же	Соответствие техническим условиям поставщика Не более 18 % Не менее 92,5 %	ТУ 1711-069-00196368-2001 и другие ТУ поставщиков ТУ 1711-069-00196368-2001 ГОСТ 2184-77
1.2. Кислота серная техническая	1. Массовая доля $H_2SO_4$ 2. Массовая доля мышьяка 3. Массовая доля Fe	Каждая партия То же	Не более 0,001 % Не более 0,1	То же " "
2. Плав сульфата алюминия из реактора	1. Наличие в плаве серной кислоты 2. Наличие в плаве нерастворимого в воде остатка	Каждая операция То же	Качественная реакция Визуально, растворение пробы в воде	Заводская методика То же

3. Сульфат алюминия со стола-кристаллизатора	Соответствие требованиям ГОСТ 12966-85	Каждая партия после завершения кристаллизации	По ГОСТ 12966-85	ГОСТ 12966-85
4. Сульфат алюминия со склада и при отгрузке	То же	Каждая отпущаемая партия	То же	То же
5. Воздушная среда рабочего помещения	1. Содержание паров серной кислоты 2. Содержание Al	Не менее 36 замеров в год То же	Не более 1 мг/м <sup>3</sup> Не более 2 мг/м <sup>3</sup>	РД 52.04.186-89 п.5.2.7.7. МУ №1611-87



Массовую долю  $Al_2O_3$  в гидроксиде алюминия определяют обратным комплексонометрическим титрованием с натриевой солью ЭДТА (трилоном Б). Влагу и потери при прокаливании  $Al(OH)_3$  находят гравиметрическим методом. Массовые доли  $HCl$  в синтетической соляной кислоте и  $H_2SO_4$  в технической серной кислоте определяются методом кислотного титрования. При анализе мела для определения содержания  $CaCO_3$  используется комплексонометрическое титрование, влага и содержание нерастворимых веществ определяются гравиметрией.

Готовая продукция анализируется в соответствии с требованиями нормативной документации на коагулянт. Так, анализ сульфата алюминия проводится в соответствии с ГОСТ 12966.

Определение массовой доли оксида алюминия в СА осуществляется методом обратного комплексонометрического титрования. К раствору коагулянта прибавляется при pH 6 отмеренный избыточный объем раствора трилона Б и ускоряется реакция комплексообразования нагреванием раствора, после чего титруется избыток трилона Б раствором азотнокислого или сернокислого цинка в присутствии индикатора ксиленолового оранжевого.

Определение массовой доли свободной серной кислоты осуществляется титрованием после связывания алюминия в комплекс. К раствору СА прибавляется в избытке оксалат калия, после чего титруется кислота раствором гидроксида натрия в присутствии индикатора метилового красного.

Массовая доля нерастворимого в воде остатка определяется гравиметрическим методом. Коагулянт растворяется в воде, раствор фильтруется, прокаливается фильтр и взвешивается остаток.

Массовая доля железа определяется фотоколориметрическим методом. Железо (III) восстанавливается гидрохлоридом гидроксиламина до железа (II), добавляется о-фенантролин, образующий с ионами  $Fe^{2+}$  красные комплексные ионы, затем измеряется оптическая плотность раствора на фотоэлектрическом колориметре с зеленым светофильтром.

Массовая доля мышьяка в пересчете на оксид мышьяка (III) определяется методом колориметрии на бромнортутовой бумаге. Мышьяк восстанавливается цинком до мышьяковистого водорода в специальном устройстве. Выделяющийся газ проходит через бумагу, пропитанную бромидом ртути; по интенсивности окраски бумаги определяется количество мышьяка в пробе.

На промежуточной стадии производства сульфата алюминия определяется наличие серной кислоты в полупродукте с использованием качественной реакции с индикатором тропеолином.

Наряду с кристаллическим СА для очистки воды производится раствор сульфата алюминия (ТУ 2141-017-00205067-02 и др.). Методы определения оксида алюминия и нормируемых примесей в продукте аналогичны методам, используемым при анализе кристаллического сульфата алюминия.

Полиоксихлориды алюминия производятся в двух товарных формах: в виде растворов ("АКВА-АУРАТ™10", "АКВА-АУРАТ™14", "АКВА-АУРАТ™18") и в виде кристаллического порошка ("АКВА-АУРАТ™30"). Физико-химические показатели качества продукции, выпускаемой под торговой маркой «АКВА-АУРАТ» (ТУ 6-09-05-1456-96), представлены в табл. 4.15.

Таблица 4.15

Физико-химические показатели качества "АКВА-АУРАТ"

Наименование показателей	Норма для марки			
	"АКВА-АУРАТ™10"	"АКВА-АУРАТ™14"	"АКВА-АУРАТ™18"	"АКВА-АУРАТ™30"
Массовая доля оксида алюминия ( $Al_2O_3$ ), %	$10,0 \pm 0,6$	$13,6 \pm 0,5$	$17,0 \pm 0,5$	$30,0 \pm 3,0$
Массовая доля хлора (Cl), %	$13,0 \pm 2,0$	$22,0 \pm 2,0$	$21,0 \pm 2,0$	$35,0 \pm 5,0$
Плотность (при 20°С), г/см <sup>3</sup>	$1,24 \pm 0,02$	$1,33 \pm 0,03$	$1,36 \pm 0,02$	—

Наименование показателей	Норма для марки			
	"АКВА-АУРАТ™10"	"АКВА-АУРАТ™14"	"АКВА-АУРАТ™18"	"АКВА-АУРАТ™30"
pH	2,5 ± 0,5	0,7 ± 0,3	1,0 ± 0,5	—
Массовая доля примесей, %, не более:				
железо (Fe)	0,01	0,01	0,01	0,04
свинец (Pb)	0,001	0,001	0,001	0,005
кадмий (Cd)	0,002	0,002	0,002	0,005
мышьяк (As)	0,001	0,001	0,001	0,004
Массовая доля нерастворимого в воде остатка, %, не более	0,1	0,1	0,1	0,1

Методы определения массовых долей оксида алюминия, нерастворимого в воде осадка, мышьяка в ПОХА (ТУ 6-09-05-1456-96) сходны с методами определения соответствующих показателей качества СА по ГОСТ 12966, что позволяет использовать для контроля качества всех алюмосодержащих коагулянтов однотипное оборудование, средства измерения и реактивы. Различаются главным образом массы навесок, которые зависят от содержания определяемых компонентов.

Определение массовой доли хлора проводится меркуриметрическим методом. Навеска анализируемого коагулянта растворяется в воде, добавляется азотная кислота и титруется раствором азотнокислой ртути в присутствии индикатора дифенилкарбазона.

Массовые доли железа, свинца и кадмия определяются методом пламенной атомно-абсорбционной спектроскопии. В связи с тем что коагулянты производятся из высококачественного исходного сырья, массовая доля нормируемых примесей (железа, свинца, кадмия, мышьяка) в них гораздо ниже установленных нормативов. Поэтому массовая доля примесей в коагулянтах "АКВА-АУРАТ", как правило, определяется по требованию потребителей.

Так, МГП «Мосводоканал» с привлечением аналитического центра «РОСА» регулярно проводит анализ сульфата алюминия и полиоксихлорида алюминия «АКВА-АУРАТ™10» [101]. Задача заключается в определении ряда элементов в коагулянтах: алюминия, кальция, ртути, никеля, свинца, хрома, кадмия, мышьяка, селена и сурьмы. Анализ перечисленных металлов выполнялся экспрессными методами в соответствии с требуемой минимальной величиной концентрации определяемого элемента.

«АКВА-АУРАТ™10» представляет собой вязкую жидкость (плотность около 1,24 г/мл). Подобные образцы трудно анализировать на высокочувствительных спектральных приборах напрямую. «АКВА-АУРАТ™10» хорошо растворяется в воде, поэтому для проведения анализа на содержание металлов образец изначально разбавляется в 100 раз. Образец сульфата алюминия гомогенизируется, затем готовится 1%-ный раствор образца в бидистиллированной воде и фильтруется через мембранный фильтр. Содержание элементов определяется в полученном растворе.

Измерение концентрации алюминия проводится методом эмиссионной спектроскопии в индуктивно-связанной плазме на приборе Liberty-150 фирмы Varian. Раствор образца распыляется в аргонную плазму, возбуждаемую магнитным полем, и регистрируется интенсивность излучения атомов определяемых элементов. Данные о содержании металлов в полиоксихлориде алюминия и сульфате алюминия приведены в табл. 4.16.

Таблица 4.16

Содержание металлов в коагулянтах

Элемент (прибор)	Содержание, %	
	«АКВА-АУРАТ™10»	Сульфат алюминия
Алюминий (Liberty-150)	5,1—5,9	8,3—8,5
Кальций (ASS-3300)	1,9—2,6	—
Ртуть (Cetac-6000)	$2,4 \cdot 10^{-8} \pm 1,4 \cdot 10^{-6}$	$2,3 \cdot 10^{-6} \pm 3,9 \cdot 10^{-4}$

Определение тяжелых металлов

Элемент	Содержание, %	
	«АКВА-АУРАТ™10»	Сульфат алюминия
Никель	$(2,7 \div 7,3) \cdot 10^{-5}$	$(0,9 \div 1,6) \cdot 10^{-4}$
Хром	$(2 \div 3,8) \cdot 10^{-5}$	$(1 \div 2,2) \cdot 10^{-4}$
Свинец	$(< 2 \div 4,9) \cdot 10^{-5}$	$< 2,7 \cdot 10^{-5} \div 1,2 \cdot 10^{-4}$
Кадмий	$(1 \div 1,9) \cdot 10^{-6}$	$(1 \div 6,9) \cdot 10^{-6}$

Определение содержания кальция в полиоксихлориде алюминия проводится методом пламенной атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе ASS-3300 фирмы Perkin Elmer. В процессе анализа образец разбавляется и используется раствор хлорида лантана в 0,1-н соляной кислоте в качестве спектроскопического буфера. Содержание кальция в коагулянтах не нормируется техническими условиями, но вносит весомый вклад в общую массу.

Анализ ртути в коагулянтах выполняется методом холодного пара на анализаторе ртути Cetac-6000. Поскольку реакция восстановления ртути хлоридом олова происходит в потоке, значительные трудности создает высокая вязкость полиоксихлорида алюминия. По этой причине исходный образец коагулянта «АКВА-АУРАТ™10» разбавляется минимум в 2 раза. Определение концентрации ртути в сульфате алюминия проводится напрямую из 1%-ного раствора образца.

Определение никеля, хрома, свинца и кадмия выполняется методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атоматизацией на приборах Analyst-600 фирмы Perkin Elmer и Solaar-989 QZ фирмы Unicam.

Известно, что труднолетучие хлориды и сульфаты кальция и алюминия являются сложной матрицей в электротермической атомно-абсорбционной спектроскопии. При определении никеля, хрома, свинца и кадмия используются более разбавленные растворы образцов полиоксихлорида алюминия и сульфата алюминия, чтобы снизить влияние матрицы, проявляющееся в подавлении сигналов определяемых элементов. Модификатором матрицы служила смесь нитрата палладия и магния. Определение концентрации никеля, хрома и свинца на спектрометрах разных типов (с поперечным и продольным нагревом графитового атомизатора) дает сходящиеся результаты (табл. 4.17).

Определение малого содержания мышьяка, селена и сурьмы затруднено на фоне матрицы алюминия и требует более детального исследования. Анализ мышьяка, селена и сурьмы в коагулянтах проводится на спектрометре Solaar-989. Прибор снабжен системой двойной коррекции фона (дейтериевой и «зеэмановской»), программное обеспечение позволяет в автоматическом режиме построить кривую озонирования. Возможность нагрева печи до 3000 °С позволяет лучше отжечь остатки матрицы со стенок графитовой кюветы. Подбор условий для определения названных элементов проводится на примере мышьяка. Для снижения влияния солевого фона используются растворы образцов в 200- и 500-кратном разбавлении. В качестве модификатора матрицы применялся нитрат палладия. Известно, что высокое содержание солей в матрице является источником помех в электротермической атомно-абсорбционной спектроскопии. Поэтому поведение мышьяка в стандартном образце состава водного раствора ионов мышьяка и в образце с солевой матрицей заметно различалось при одних и тех же условиях. Например, наблюдаются раздвоение пиков и занижение сигналов мышьяка при анализе «АКВА-АУРАТ™10» и сульфата алюминия. Для возможного устранения этих помех увеличивается концентрация модификатора до 50 мкг. В отдельных случаях нитрат палладия вносится в атомизатор перед внесением пробы.



Опыт показывает, что образцы коагулянта следует разбавлять в 200—500 раз в зависимости от природы определяемого элемента. Это позволяет снизить помехи солевого фона и избежать износа графитовой кюветы из-за образования труднолетучих карбидов. Содержание таких токсичных элементов, как мышьяк, селен и сурьма, в образцах «АКВА-АУРАТ™ 10» и сульфата алюминия ниже указанных в табл. 18 минимально определяемых величин [101].

Таблица 4.18

Определение токсичных металлов

Элемент	Содержание, %	
	«АКВА-АУРАТ™ 10»	Сульфат алюминия
Мышьяк	$<5 \cdot 10^{-4}$	$<5 \cdot 10^{-4}$
Селен	$<1 \cdot 10^{-4}$	$<1 \cdot 10^{-4}$
Сурьма	$<1 \cdot 10^{-4}$	$<1 \cdot 10^{-4}$

Плотность растворов определяют ареометром. Определение рН коагулянтов проводят на рН-метре или иономере.

Для контроля технологического процесса на промежуточных этапах производства определяются массовая доля алюминия, основность (отношение  $\text{ОН}:\text{Al}$ ) и плотность раствора. Измерение плотности производится для экспрессной оценки массовой доли основного вещества в растворе.

Отношение молярного содержания гидроксильных групп к эквивалентному содержанию металлов (основность) является важной характеристикой гидролизующихся солей алюминия, используемых в качестве коагулянтов. Этот показатель не регламентируется техническими условиями, но при производстве товарных коагулянтов он обязательно устанавливается в реакционных средах для определения завершения технологической стадии взаимодействия гидроксида алюминия с соляной кислотой и перехода к следующей операции.

Один из методов определения массовой доли гидроксильных групп в солях алюминия заключается в следую-

щем: к раствору коагулянта добавляется избыток серной или соляной кислоты для нейтрализации гидроксильных групп, затем связываются ионы алюминия в комплекс добавлением фтористого калия, после чего титруется кислота раствором гидроксида натрия в присутствии фенолфталеина.

Кроме методов анализа, изложенных выше, широко применяются альтернативные варианты определения состава коагулянтов. В частности, атомно-абсорбционная спектроскопия используется не только для определения содержания примесей, но и в качестве метода определения массовой доли основного компонента (оксида алюминия в алюмосодержащих коагулянтах, железа в пересчете на оксид железа (III) в солях железа). При использовании высокочувствительных спектральных приборов необходимо осуществлять сильное разбавление растворов, что приводит к увеличению погрешности определений. Наряду с фотокolorиметрическим определением содержания железа с *o*-фенантролином, используется метод, основанный на образовании ионами железа (III) в кислой среде красных роданидных комплексов. Роданидный метод применяется как для определения общего содержания железа в растворе коагулянта, при этом предварительно окисляется железо (II) перманганатом калия до железа (III), так и для определения массовой доли трехвалентного железа, в этом случае перманганат калия не используется. Недостатком метода является низкая устойчивость роданоферратных комплексов, что приводит к снижению точности анализов.

Для определения массовой доли хлора в коагулянтах наряду с меркуриметрическим методом часто применяется аргентометрическое титрование с использованием хромата калия в качестве индикатора. Альтернативный метод определения основности, разработанный Московским энергетическим институтом, базируется на изменении щелочности бикарбонатных растворов при их взаимодействии с коагулянтами.

Применение методов контроля, изложенных выше, обеспечивает получение объективной и достоверной информа-

ции о составе коагулянтов. Высокое качество аналитического контроля в процессе получения коагулянта, осуществляемое аккредитованной испытательной лабораторией, — это гарантия качества коагулянта, приобретаемого покупателем.

#### 4.6. Тенденции применения различных реагентов в России и за рубежом

Общемировые тенденции производства и применения различных коагулянтов отражают исторические традиции, уровень развития производства и технологий, нормативную и сырьевую базу, степень развития аналитической химии и общую культуру человечества. Первоначально для очистки воды использовались продукты органического происхождения (сок сладкого миндаля — XVI век до нашей эры). Коагулирующие свойства алюминиевых квасцов были известны египтянам, римлянам, грекам. Первые эксперименты по применению сернокислого алюминия были проведены в 1827 г. В 1865—1872 гг. появились рекомендации для практического использования соли окисного железа [5].

В СССР в 20-х годах применялся почти исключительно неочищенный сульфат алюминия. Использование железосодержащих коагулянтов началось в 30-е годы XX столетия после проведения исследований по очистке воды с помощью железного купороса. В годы Великой Отечественной войны были проведены огромные практические работы по поиску альтернативной сырьевой базы для производства коагулянтов. Так, В. И. Маркизовым — главным инженером Рублевской насосной станции Московского водопровода (впоследствии директора Московского водопровода) был налажен совместно с работниками Химического завода им. П. Л. Войкова выпуск коагулянтов из глины и покровных суглинков Московской области. В дальнейшем в нашей стране получили развитие технологии получения коагулянтов из нефелинов, алунитов, каолинов и глин, а также из золы (минеральной части) углей [75]. На таком сырье не-

возможно было получать очищенный сернокислый алюминий, поэтому содержание нерастворимых примесей техническими условиями нормировалось до 30 %, а среднее содержание  $Al_2O_3$  — до 13,5 % [54]. В 60—70-е годы производство вышло на качественно новый уровень, и сернокислый алюминий, получаемый взаимодействием гидрата окиси алюминия или каолина с серной кислотой (ГОСТ 12966-75), стал именоваться «алюминий сернокислый технический очищенный» с минимальным содержанием  $Al_2O_3$  — 14 % и максимальным содержанием нерастворимого в воде осадка — 0,7 %. Введение ГОСТ 12966-85 увеличило минимальное содержание  $Al_2O_3$  в коагулянте до 15 %.

В 90-е годы в России начато производство синтетических органических коагулянтов — полидиаллилдеметиламмония хлорида (ВПК-402), которые не увеличивают солесодержания исходной очищаемой воды и незначительно изменяют рН. В это же время организовано производство полиоксихлоридов алюминия или оксихлоридов алюминия. Эти продукты содержат 10—20 %  $Al_2O_3$ , а количество нерастворимых примесей не превышает 0,1 %.

Основной тенденцией использования реагентов в России является переход при коагуляции от сернокислого алюминия к оксихлоридам или полиоксихлоридам алюминия. Почему ПОХА лучше СА? Ответов может быть несколько.

В табл. 4.19 представлены данные по токсичности солей алюминия для теплокровных животных при введении per OS 2.46. Из этих данных следует, что ПОХА менее токсичен по сравнению с СА и другими солями алюминия.

Практический опыт применения полиоксихлоридов алюминия и результаты исследований показали, что коррозионная активность его водных растворов ниже по сравнению с данными водных растворов сульфата алюминия при одинаковых концентрациях в них  $Al_2O_3$ . Для растворов этих коагулянтов с содержанием  $Al_2O_3$  от 2 до 8% (табл. 4.20), находящихся в стационарном режиме, скорость коррозии стали марки Ст.3 при температуре 20 °C составила, мм/год: для ПОХА — 0,5—0,8, для СА — 1,2—1,6.

Таблица 4.19

## Данные по токсичности солей алюминия

Вещество	Вид животных	LD <sub>50</sub> по Al <sup>3+</sup> , мг/кг
Оксихлорид алюминия	Мыши	2000
	Крысы	1360
	Морские свинки	2015
Сульфат алюминия	Мыши	408
	Крысы	320
	Морские свинки	398
Хлористый алюминий	Мыши	200
	Крысы	180
Азотнокислый алюминий	Мыши	190
	Крысы	205

Таблица 4.20

## Показатели кислотности растворов коагулянтов

Концентрация Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> в растворе, %	pH растворов	
	Сульфат алюминия	ПОХА «АКВА- АУРАТ™30»
2	2,4—3,2	3,6
4	1,9—2,8	3,3
6	1,6—2,6	3,1
8	1,4—2,4	2,8

Повышенная коррозионная активность сульфата алюминия связана в первую очередь с наличием в нем свободной серной кислоты до 0,1 % (ГОСТ 12966) и соответственно более низким значением pH его растворов.

При использовании ПОХА или ОХА коррозионная активность обрабатываемой воды практически не повышается, что позволяет исключить ее стабилизационную обработку. Благодаря применению ПОХА улучшаются условия эксплуатации трубопроводов, по которым транспортируется вода, за счет снижения коррозии и исключения отложения

взвеси на них. Кроме того, наблюдается удаление имеющихся отложений из трубопроводов, по которым длительное время подавалась в городскую сеть вода, очищенная сульфатом алюминия. Исследования показали, что скорость коррозии стали 12X18H10T (AISI 304) в растворе ПОХА с массовой долей Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 10 % составляет при температуре 20 °С всего 0,08 мм/год, а при температуре 30 °С — 0,2 мм/год. Невысокая коррозионная активность растворов «АКВА-АУРАТ™30» и отсутствие проблем при его транспортировании, приеме, хранении и использовании позволяют водоочистным станциям осуществлять плавный переход на технологии с его использованием без капитальных затрат, без остановки и специальной подготовки эксплуатируемого оборудования.

В последние годы количество водоочистных станций, использующих полиоксихлорид алюминия при коагуляционной обработке воды, постоянно увеличивается. Доля питьевой воды, очищенной полиоксихлоридами или оксихлоридами алюминия, в России в настоящее время достигает 25 %, и наблюдается тенденция к повышению. К 2010 г. эта доля, по нашему мнению, достигнет 50 %.

Другие тенденции характерны для США, Финляндии, Швеции. Объем производства железосодержащих коагулянтов в этих странах составляет около 50 % в общем объеме выпуска этого класса реагентов. В Финляндии с 2002 г. полностью перешли при очистке питьевой воды на сернокислородное и хлорное железо. Однако необходимо учитывать, что эти коагулянты выпускаются на основе Fe<sup>3+</sup>, т. е. их коррозионная активность значительно ниже, чем при использовании Fe<sup>2+</sup>. Кроме того, на последней стадии очистки обязательно применение активированного угля. В первую очередь переход на железосодержащие коагулянты связан с сырьевой базой этой страны. Аналогичная ситуация и в Швеции. Фирма Kemiga, имеющая крупнейшие производственные мощности в этих странах, а также в США, активно пропагандирует использование железосодержащих коагулянтов. Одновременно эта фирма развивает производство алюмосодержащих коагулянтов и торговлю ими в Юго-



Восточной Азии (Китай, Филиппины, Таиланд), Центральной и Южной Америке (Мексика, Бразилия), Африке (Египет, Гана), Восточной Европе (Россия, Эстония, Чехия, Польша, Румыния). Железосодержащие коагулянты находят широкое применение при очистке сточных вод, а так как в последние годы уделяется большое внимание проблемам охраны окружающей среды и очистки выбросов, производство этих реагентов (более дешевых по стоимости, чем алюмосодержащие коагулянты) будет возрастать.

В целом европейские страны вышли на разумный баланс в производстве и использовании различных реагентов для очистки воды, в том числе органических коагулянтов. Общей тенденцией для всех регионов и стран становится максимальная приближенность производителей коагулянтов к конечным потребителям. Так, в США более 20 фирм производят сернокислый алюминий почти на 90 заводах, в Канаде 7 фирм — на 17 заводах, в Европе 33 фирмы — на 59 заводах, в Японии 15 фирм — на 31 заводе. Это в подавляющей массе производство жидкого СА. Аналогичная ситуация складывается и в нашей стране. В СССР было 12 производителей сернокислого алюминия с мощностью не менее 50 тыс. т/год кристаллического СА, а средняя мощность составляла около 100 тыс. т/год. В России количество производств превысило 25, а средняя мощность не превышает 25 тыс. т/год. Возникло много новых производств, максимально приближенных к потребителям, производящих только жидкий СА (в Архангельске, Кемерово, Костроме, Курске, Дзержинске, Ярославле). В продолжение этой тенденции — создание локальных производств ОХА. Кроме ОАО «АУРАТ», расположенного в крупнейшем мегаполисе мира — Москве, остальные производители имеют мощность не более 10 тыс. т/год жидкого ОХА. По нашей оценке, количество производств в России будет только возрастать, а единичные мощности этих производств будут уменьшаться и не превышать 10—15 тыс. т/год.

В заключение необходимо отметить еще одну тенденцию развития производства и использования коагулянтов. Это смешанные реагенты, которые обладают преимуществами

монопродуктов и позволяют добиваться синергетического эффекта. При этом простейшим является механическое смешивание алюмо- и железосодержащих реагентов, например при приготовлении рабочих растворов коагулянтов, или хлоридных и сульфатных алюминиевых солей. Однако более предпочтителен вариант получения специальных реагентов при химическом синтезе. Одним из таких примеров служат полиоксихлорсульфаты алюминия [в международной номенклатуре polyaluminum chlorosulfate (PACS)]. Эти продукты производятся в Западной Европе в промышленном масштабе (см. табл. 4.5) и имеют более высокую основность (50—60 %), чем классический РАС (ПОХА), основность которого 40—50 %. За счет применения небольшой добавки сульфат-иона  $SO_4^{2-}$  — до 3 мас. % коагулирующая способность этих реагентов увеличивается на 10—15 %. Так как количество вариантов смешения может достигать десятков и даже сотен, имеется хорошая возможность подбирать для конкретных условий оптимальный по химическому составу и коагулирующим свойствам реагент.

## Глава 5. Технология коагуляционной очистки воды

### 5.1. Оптимальные дозы коагулянта, выбор дозы

Под оптимальной дозой коагулянта понимается та минимально возможная в данных условиях доза, которая обеспечивает выполнение требований СанПиН по основным нормативным показателям.

#### 5.1.1. Пробное коагулирование воды

Оптимальная доза коагулянта определяется на основании результатов пробного коагулирования воды, которое служит не только для определения дозы коагулянта и флокулянта, но и для выбора наиболее перспективных видов реагентов [102—104].

Методика пробного коагулирования наиболее часто на практике выполняется следующим образом. В несколько цилиндров (до 10 штук) емкостью 1 л наливается исходная предварительно хлорированная вода, затем в цилиндры вводится раствор коагулянта определенной концентрации и объемом, рассчитанным на конкретный диапазон доз реагента. Смешение коагулянта с водой осуществляется или опрокидыванием цилиндров, или перемешиванием воды стеклянной палочкой с резиновым смесителем на конце. При применении на станции предварительного озонирования воды пробное коагулирование проводится в озонированной воде.

А. При наличии на станции двухступенной схемы очистки вода остается в цилиндрах для отстаивания образовавшихся при перемешивании хлопьев, и в течение 2 ч ведется визуальное наблюдение за процессом образования хлопьев, эффективностью отстаивания, размером хлопьев и высотой образующегося осадка.

В некоторых случаях уже на основании визуального наблюдения выбирается необходимая доза коагулянта. Однако для более точного определения дозы коагулянта отстоенная вода фильтруется через предварительно приготовленные, промытые горячей дистиллированной водой бумажные фильтры. В отстоенной воде измеряется рН. В фильтрате определяются мутность, цветность, концентрация остаточного алюминия, перманганатная окисляемость.

Б. При наличии на станции сооружений контактного осветления воды после введения и смешения (быстрого и медленного) коагулянта с обрабатываемой водой в цилиндрах вода сразу фильтруется через бумажные фильтры с определением тех же показателей, что и в предыдущем случае. Результаты исследований выражаются в виде зависимости оптической плотности, мутности или цветности, ПО, остаточного алюминия от дозы коагулянта. Примерный вид графика представлен на рис. 5.1.

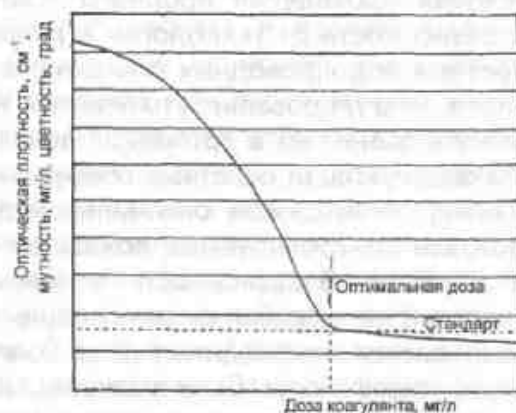


Рис. 5.1. Зависимость качества фильтрата от дозы коагулянта

Оптимальной дозой коагулянта будет та доза, при которой качество очищенной воды практически не зависит от дозы вводимого реагента, а контролируемые показатели отвечают требованиям стандарта.

При необходимости введения подщелачивающих реагентов — извести или соды — при проведении пробного коагулирования в воду вводятся эти реагенты. При наблюдении за эффективностью процесса очистки воды определяется место их введения — до или после коагулянта, а доза — при выполнении пробного коагулирования.

Для повышения эффективности осветления воды при коагулировании в нее вводится флокулянт (обычно полиакриламид — ПАА). Определение необходимых доз флокулянта осуществляется также при пробном коагулировании. Различные его дозы вводятся в воду, обработанную оптимальной дозой коагулянта, через 1—2 мин.

Пробное коагулирование следует проводить при поддержании температуры воды, соответствующей температуре воды водоисточника. Поэтому в холодные периоды года пробное коагулирование желательно проводить в сосудах, размещенных в ванне с проточной водой для исключения возможности повышения температуры обрабатываемой воды, в противном случае результаты опытов будут несколько искажены. Условия проведения пробного коагулирования изменяются в зависимости от технологии и режима очистки воды на конкретных водопроводных станциях, а результаты данных пробного коагулирования уточняются и корректируются при использовании их в производственных условиях с учетом опыта эксплуатации очистных сооружений.

В каждом конкретном случае оптимальной дозой будет та, при которой все контролируемые показатели достигают нормируемых значений. В зависимости от качества исходной воды и условий ее обработки диктующие показатели, по которым выбирается необходимая доза коагулянта, для разных водоисточников могут быть разными, и они могут меняться при изменении качества воды в течение года.

Ранее доза коагулянта определялась такими показателями, как мутность и цветность. После введения ПДК на показа-

тель ПО во многих случаях диктующим показателем качества воды, по которому выбирается необходимая доза коагулянта, является перманганатная окисляемость. На рис. 5.2 показано изменение контролируемых при пробном коагулировании показателей качества воды в зависимости от дозы коагулянта (СА и ОХА). Как видно из приведенных данных, цветность уже при минимальной из рассматриваемых доз соответствует уровню ПДК. При данной дозе по показателям мутности и остаточного алюминия получено высокое качество воды, в то время как по показателю перманганатной окисляемости достигаются лишь значения 7—8 мгО<sub>2</sub>/л. Для получения данных, соответствующих стандарту по показателю ПО, необходимо увеличение доз реагентов: в первом случае — с 7 до 9 мг/л (на 22 %), а во втором — с 9 до 14 мг/л (на 36 %) как при использовании СА, так и при использовании ОХА. Причем при этих повышенных дозах коагулянтов достигается почти предельное значение показателя ПО, близкое к принятым нормативам (4,9—5,0 мгО<sub>2</sub>/л).

Полученные результаты показывают также, что предлагаемая в СНиП 2.04.02—84 формула расчета дозы коагулянта  $D_k = \sqrt[4]{C}$ , где  $C$  — цветность воды, может быть использована лишь для определения ориентировочной дозы, необходимой для расчета и проектирования реагентного хозяйства станции, но не может применяться для определения дозы реагента при эксплуатации очистных сооружений и достижения качества воды по всем показателям.

Анализ результатов пробного коагулирования показывает, что во многих случаях дозы, установленные в лаборатории при пробном коагулировании в основном соответствуют дозам, применяемым на сооружениях. В то же время можно отметить, что доза на сооружениях в ряде случаев несколько (на 0,1—0,5 мг/л) меньше, чем оптимальная в пробном коагулировании. Это, очевидно, можно объяснить тем, что на сооружениях за счет длительного процесса очистки улучшается сорбция гидроокисью алюминия органических загрязнений и повышается глубина их удаления (цвет-



ность и ПО) даже в случаях с уменьшением дозы коагулянта относительно установленной при пробном коагулировании.

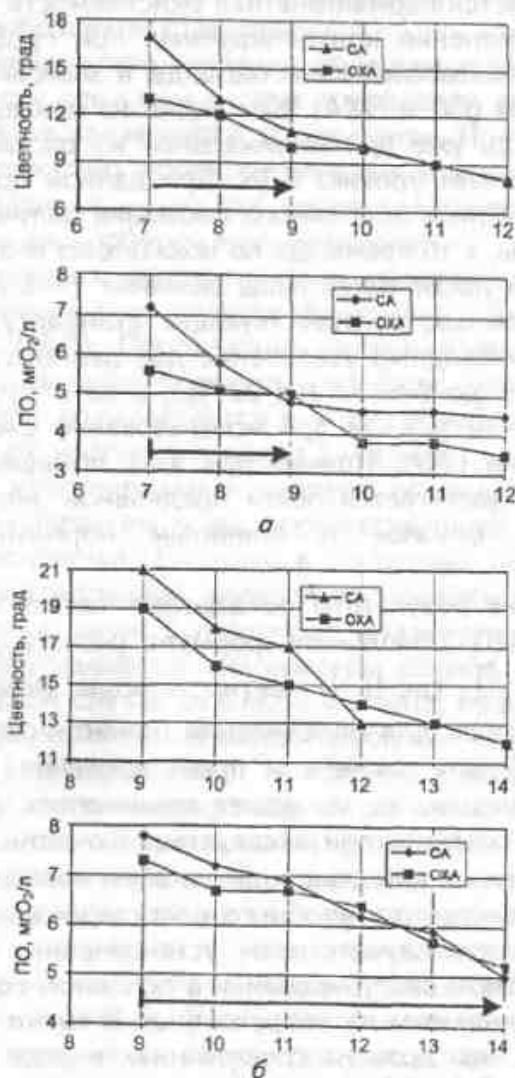


Рис. 5.2. Результаты пробного коагулирования в зависимости от дозы коагулянтов при качестве исходной воды:

а — мутность — 1,6 мг/л; цветность — 38 град; ПО — 9,6 мгО<sub>2</sub>/л;  
 б — мутность — 1,7 мг/л; цветность — 48 град; ПО — 12,1 мгО<sub>2</sub>/л

При этом концентрация остаточного алюминия, как правило, на сооружениях больше, чем при пробном коагулировании за счет остаточной мутности после фильтровальных сооружений станции, в то время как при пробном коагулировании достигается более глубокая очистка воды от мутности на бумажных фильтрах.

### 5.1.2. Пробное коагулирование воды с использованием установки «Капля»

Для получения более достоверных сравнительных данных по пробному коагулированию при подборе доз реагентов и определении оптимальных условий их применения лабораторные опыты следует проводить на установке для пробного коагулирования воды с механическими мешалками. Установка позволяет осуществлять быстрое и медленное смешение реагентов с водой, соответствующее условиям пребывания воды в смесителе и камере хлопьеобразования.

Лабораторная установка "Капля" (рис. 5.3) состоит из шести стаканов вместимостью 1 л и шести мешалок с общим электроприводом. Устройство обеспечивает одинаковые условия перемешивания реагентов с обрабатываемой водой во всех пробах и, таким образом, позволяет точно оценить влияние на эффект очистки воды типа или дозы реагента. Стаканы с обрабатываемой водой устанавливаются в ванну с проточной водой для обеспечения постоянного температурного режима в течение всего эксперимента.

Пробное коагулирование воды выполняется с использованием растворов коагулянтов концентрацией 0,1 % по Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, которая может быть изменена для того, чтобы повысить точность дозирования малых объемов растворов реагентов. Предварительно хлорирование исходной воды проводится раствором хлорной воды. Исходная вода с помощью мерной колбы (1 л) разливается в стаканы экспериментальной установки. Коагулянт вводится одновременно во все стаканы при быстром перемешивании (160—180 об/мин). Через 1—2 мин при необходимости вводится флокулянт, время

смешения флокулянта с водой 30 с. Затем интенсивность перемешивания уменьшается до 30—40 об/мин, продолжительность медленного перемешивания составляет 10—20 мин в зависимости от условий обработки воды на сооружениях.

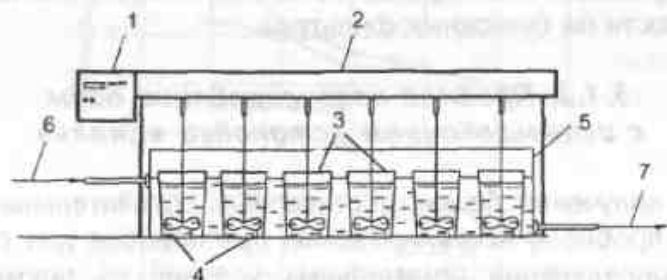


Рис. 5.3. Лабораторная установка "Капля" для пробного коагулирования:

- 1 — панель управления; 2 — корпус расположения редукторов;
- 3 — стакан с обрабатываемой водой; 4 — лопасть мешалки;
- 5 — емкость с водой для установки стаканов; 6 — подача воды на охлаждение стаканов; 7 — отвод использованной воды

Затем пробы воды остаются в покое в течение 30 мин для осаждения образовавшихся хлопьев. С учетом явления гравитационной коагуляции (столкновения и слипания частиц в результате различных скоростей осаждения) период 30 мин для слоя воды толщиной 10 см в наибольшей степени соответствует условиям осаждения хлопьев в производственных отстойниках глубиной 3—4 м за 2—3 ч.

Для контроля за процессом осветления воды через 5, 15 и 30 мин от начала отстаивания отбираются пробы пипеткой с погружением ее на глубину 8—10 см от уровня жидкости. Пробы наливаются в конические колбы емкостью 50 мл и перед измерением взбалтываются для полного разрушения хлопьев. Оценка эффективности осветления воды проводится измерением оптической плотности на фотоэлектроколориметре при длине волны 540 нм. Оптическая плотность таких проб с разрушенными хлопьями пропорциональна весовой концентрации взвешенных веществ.

Идентичность весового и оптического методов определения концентрации суспензии обусловлена постоянством размера первичных агрегатов, получающихся при разрушении хлопьев при отборе проб, и встряхиванием перед измерением. Кроме того, визуально оценивается время появления хлопьев и их размер через 10 и 20 мин после прекращения перемешивания.

По окончании периода отстаивания вода фильтруется через предварительно промытые бумажные фильтры (фильтры промываются доведенной до кипения дистиллированной водой из расчета 0,5 л на 1 фильтр). В фильтрате определяются мутность, цветность, концентрация остаточного алюминия, перманганатная окисляемость и щелочность очищенной воды. При необходимости в отстаиванной и фильтрованной воде могут определяться и другие показатели в зависимости от цели эксперимента.

Определение pH в нефильтованной пробе воды позволяет более точно характеризовать условия, при которых в данном опыте происходили гидролиз коагулянта и образование твердой фазы. Величина pH после фильтрования обработанной коагулянтной воды в лабораторных опытах может повышаться за счет удаления из воды диоксида углерода, образующегося в результате гидролиза коагулянта.

Выбирается доза коагулянта (флокулянта), при которой обеспечивается качество обработанной воды, удовлетворяющее нормативным требованиям.

Если в эксперименте ставится цель оценки эффективности действия флокулянта, то в опыте решаются следующие задачи:

- определение оптимального интервала времени между введением коагулянта и флокулянта;
- влияние общей продолжительности быстрого перемешивания;
- влияние продолжительности медленного перемешивания.

При определении интервалов времени разрыва между введением коагулянта и флокулянта при постоянной общей

продолжительности быстрого перемешивания во все стаканы одновременно вводится одинаковая доза коагулянта, и с этого момента начинается отсчет времени. Флокулянт одинаковой дозой вводится через различные промежутки времени с общим окончанием быстрого перемешивания. Рекомендуемые интервалы времени между введением коагулянта и флокулянта — 30, 60, 90, 120, 150 с. В контрольный стакан флокулянт не добавляется. Оценка результатов эксперимента проводится так же, как и при определении дозы коагулянта.

Соответствующим образом исследуется оценка влияния общей продолжительности быстрого и медленного перемешивания на процесс осветления воды.

### **5.1.3. Выбор наиболее эффективных реагентов**

В настоящее время имеется большой ассортимент коагулянтов: сульфат алюминия, разные виды оксихлорида алюминия, смешанные коагулянты, содержащие катионы (Al и Fe), (Al и Na), коагулянты-флокулянты, а также различные виды флокулянтов анионного и катионного типов. Поэтому для каждого конкретного случая могут быть выбраны наиболее эффективные сочетания видов реагентов и определены их дозы.

Аналогично осуществляется и выбор флокулянтов — катионных и анионных.

При выполнении работ по выбору реагентов следует иметь в виду следующее:

- при обработке цветных вод с низкой температурой обычно более эффективным коагулянтом является ОХА, при этом существенно снижаются мутность, цветность и концентрация остаточного алюминия в очищенной воде;
- в большинстве случаев применение вместо ПАА других флокулянтов является более предпочтительным;
- применение катионных флокулянтов совместно с коагулянтами в ряде случаев способствует более глубокому

удалению органических загрязнений и уменьшает концентрацию остаточного алюминия;

- катионные флокулянты совместно с коагулянтами целесообразно использовать в схемах осветления воды на контактных осветлителях или на контактных фильтрах;
- при обработке мутных и высокоцветных вод возможно применение катионных флокулянтов взамен коагулянта;
- на одной и той же водопроводной станции возможно, а в ряде случаев целесообразно применение различных коагулянтов или флокулянтов в разные периоды года (при изменении качества исходной воды), что может быть также подтверждено лабораторной проверкой;
- применение новых реагентов для очистки воды взамен сульфата алюминия может решать две задачи: улучшение процесса коагулирования и качества воды; сокращение расхода коагулянта. Обе эти проблемы одновременно не всегда могут быть решены, поэтому в каждом случае следует учитывать конкретную ситуацию, сложившуюся на водопроводной станции.

### **5.2. Смешение коагулянтов с водой. Традиционные конструкции смесителей**

За счет правильного выбора коагулянта и флокулянтов, требуемых доз, места и условий их ввода в обрабатываемую воду удается во многих случаях повысить производительность очистных сооружений, получить существенную экономию реагентов и улучшить качество воды. Полное и быстрое выделение взвеси из воды, определяющееся структурной прочностью и плотностью хлопьев, их адгезионной способностью, в значительной степени зависит от эффективности проведения процесса хлопьеобразования.

Значительное влияние на процесс образования хлопьев и их свойства оказывают интенсивность и продолжительность смешения реагентов с водой, при этом важным этапом при коагулировании является нейтрализация коллоидных частиц загрязнений. Время коагуляции очень мало, и наилучшие



результаты достигаются при условии, когда коллоидные частицы полностью нейтрализованы до образования хлопьев в форме гидроксида металла. Поэтому считается, что назначение смесителей состоит не только в равномерном распределении коагулянта в обрабатываемой воде до момента образования хлопьев во всей массе, но и в чрезвычайно быстром смешении, что имеет решающее значение для последующих стадий коагуляции и в экономии коагулянта.

Неэффективное смешение приводит к перерасходу коагулянта и малой скорости агломерации примесей воды при данной дозе реагента. Поэтому необходимо создать оптимальный режим работы смесителей, при котором коагулянт вступил бы в соприкосновение с максимальным числом частиц примесей воды до того, как закончатся реакции гидролиза и полимеризации.

Смешение реагентов с обрабатываемой водой проводится в смесительных устройствах.

### *5.2.1. Трубчатые смесители*

Это так называемые статические смесители, представляющие собой устройства (винты, диафрагмы, конусы и т. п.), установленные внутри напорного трубопровода, подающего воду на очистные сооружения от насосной станции.

Ввод раствора коагулянта в трубопровод может осуществляться через вставку Вентури, в которой создается пониженное давление. При этом используемый для смешения участок трубы должен быть длиной не менее 50 ее диаметров, в связи с чем при большой производительности и значительном диаметре напорной трубы необходимый участок смешения может быть достаточно большим.

Может быть использован диафрагменно-шайбовый смеситель, иногда в сочетании со вставкой Вентури.

Все эти конструкции смесителей создают турбулентность потока, достаточную для «мгновенного» распределения коагулянта. Иногда они характеризуются значительными

потерями напора. Однако такие смесители эффективны при номинальном расходе, но их эффективность снижается при уменьшении расхода воды в трубе, что достаточно часто встречается на практике.

В последнее время за рубежом появились новые устройства для быстрого смешения (в течение 30—60 с) водоструйного типа и в виде специальных патрубков, вставляемых в трубопровод исходной воды и снабженных специальными лопастями, разделяющими поток воды на отдельные соударяющиеся и расходящиеся струи.

### *5.2.2. Гидравлические смесители*

В основном на станциях применяются специальные сооружения — смесители, которые должны удовлетворять требованию быстрого и полного смешения реагентов со всей массой воды (т. е. обеспечивать время пребывания воды в смесителе — 1—2 мин).

Смесители подразделяют на гидравлические и механические. К числу гидравлических смесителей, наиболее распространенных на практике, следует отнести: коридорного типа (с вертикальным или горизонтальным движением воды); дырчатый, перегородчатый с разделением потока; вертикальный (вихревой).

Механические смесители будут подробнее рассмотрены в разделе 6.2.5.

Гидравлические смесители характеризуются конструктивной простотой и эксплуатационной надежностью, однако при расходах обрабатываемой воды меньше расчетных они не обеспечивают надлежащего эффекта смешения, так как время пребывания воды в них существенно возрастает.

В качестве примеров приведем следующие конструкции смесителей, применяемых обычно на станциях небольшой производительности (до 25 тыс. м<sup>3</sup>/сут).

Перегородчатый смеситель (рис. 5.4) имеет перегородки, наличие которых вызывает изменение направления движения воды, а наличие суженных проходов — повышение скорости движения воды в них. Все это создает завихрение

потоков воды, что способствует наиболее полному смешению воды с введенными в нее реагентами.

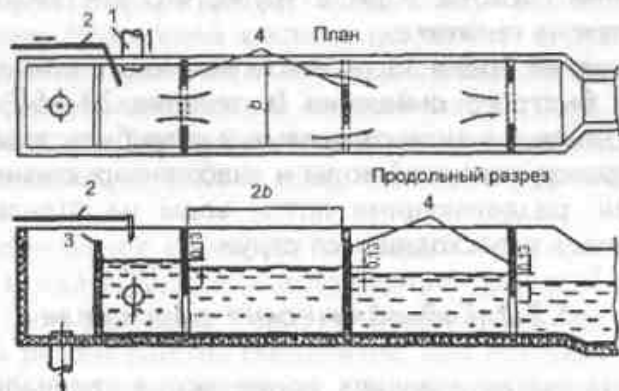


Рис. 5.4. Схема перегородчатого смесителя:  
1 — подвод воды; 2 — подвод реагента; 3 — перелив;  
4 — перегородки

Дырчатый смеситель (рис. 5.5) обычно разделяется тремя перегородками. Расстояние между перегородками примерно равно ширине смесителя. При движении воды через отверстия в перегородках создаются вихревые токи, обеспечивающие быстрое и полное смешение реагента с обрабатываемой водой.

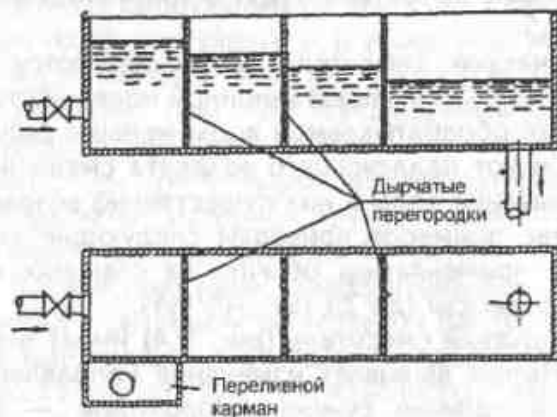


Рис. 5.5. Схема дырчатого смесителя

На водоочистных станциях с осветлителями со взвешенным осадком применяют вихревые (вертикальные) смесители (рис. 5.6). Обрабатываемая вода подводится к днищу смесителя и поднимается вверх с постепенно убывающей скоростью. Реагент вводится в нижнюю часть смесителя.

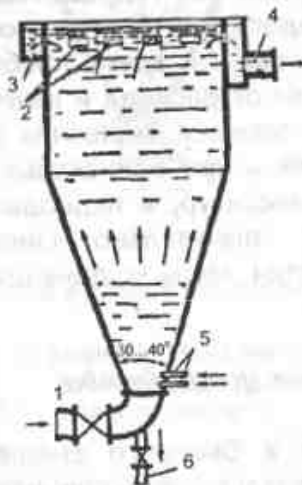


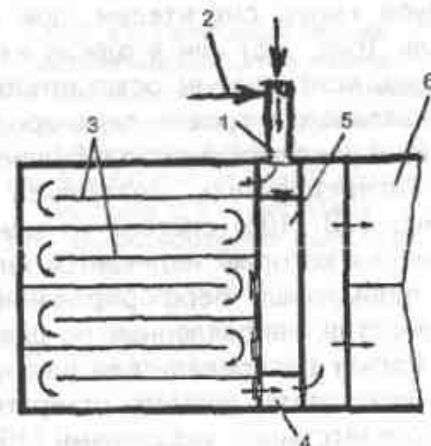
Рис. 5.6. Схема вихревого смесителя:

- 1, 4 — подача и отвод воды;
- 2 — водосливные окна;
- 3 — кольцевой сборный лоток;
- 5 — ввод реагентов;
- 6 — опорожнение

На станциях большой производительности (200 тыс. м<sup>3</sup>/сут и более) нашли применение перегородчатые смесители (рис. 5.7).

Рис. 5.7. Схема перегородчатого смесителя:

- 1, 4 — подача и отвод воды;
- 2 — ввод реагентов;
- 3 — перегородки; 5 — обводной канал;
- 6 — камера хлопьеобразования



Как уже говорилось, при любом типе смесителей должны соблюдаться условия, при которых продолжительность пребывания воды в этих сооружениях должна быть не более 2 мин.

Такие виды смесителей применяются повсеместно на водопроводных станциях России. Однако все гидравлические смесители имеют существенные недостатки. Они не позволяют регулировать степень турбулизации и время пребывания воды в смесителе в зависимости от расхода и качества природной воды. Иными словами, процесс смешения протекает при одних и тех же условиях и при одинаковых параметрах в периоды холодных температур, в периоды паводков и летний период. Это значительно снижает эффективность реагентной обработки воды и приводит к повышенному расходу коагулянта.

### 5.2.3. Распределительные устройства

Для обеспечения равномерного и быстрого смешения реагентов с водой на основании результатов исследований НИИ КВОВ и НИИ ВОДГЕО предложены специальные распределительные устройства подачи коагулянта, что позволяет интенсифицировать и улучшить процессы коагуляции.

Распределитель коагулянта может устанавливаться в трубе перед смесителем, при поступлении воды в смеситель (рис. 5.8) или в одном из отделений входной камеры перед контактными осветлителями. Целесообразно его устанавливать в проеме перегородки, создающей сужение потока и увеличение его турбулентности.

Распределитель коагулянта конструкции НИИ КВОВ (рис. 5.9) [105] состоит из центрального бачка со штуцером, на который надевается шланг для подачи коагулянта, и радиальных перфорированных трубок-лучей, имеющих отверстия, направленные по движению потока воды.

Расчет распределителя (число отверстий, расход раствора коагулянта, диаметр отверстий и др.) следует выполнять в соответствии с указаниями [106, 107].

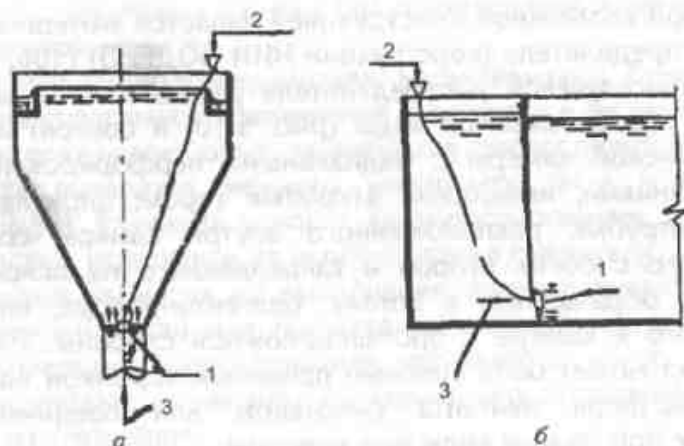


Рис. 5.8. Схема установки перфорированного распределителя коагулянта:  
 а — в вихревом смесителе; б — в перегородчатом или коридорном смесителе, входной камере контактного осветлителя:  
 1 — распределитель; 2 — подача коагулянта; 3 — направление движения воды

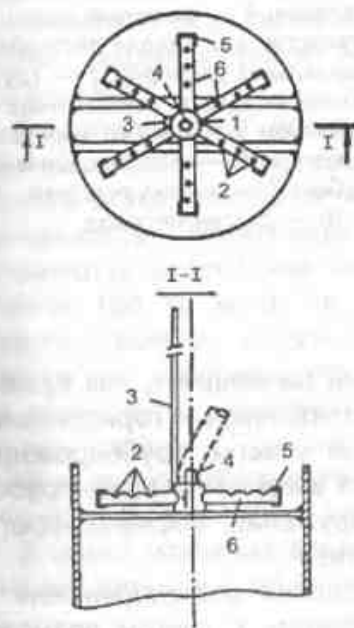


Рис. 5.9. Перфорированный распределитель коагулянта:  
 1 — центральный бачок; 2 — отверстия для ввода коагулянта;  
 3 — разъемная штанга; 4 — штуцер для присоединения шланга подачи коагулянта; 5 — заглушка;  
 6 — перфорированная трубка-луч



Другой возможной конструкцией является камерно-лучевой распределитель (конструкции НИИ ВОДГЕО) [106, 108].

Камерно-лучевой распределитель располагается по оси потока обрабатываемой воды (рис. 5.10) и состоит из цилиндрической камеры с радиальными перфорированными ответвлениями, имеющими открытые торцы; циркуляционного патрубка, расположенного внутри камеры соосно, открытого с обеих сторон и закрепленного на основании камеры, обращенном к потоку; реактопровода, присоединенного к камере с противоположной стороны. Реактопровод может быть снабжен приемной воронкой при подаче раствора реагента самотеком или соединен на фланцах при подаче воды под напором.

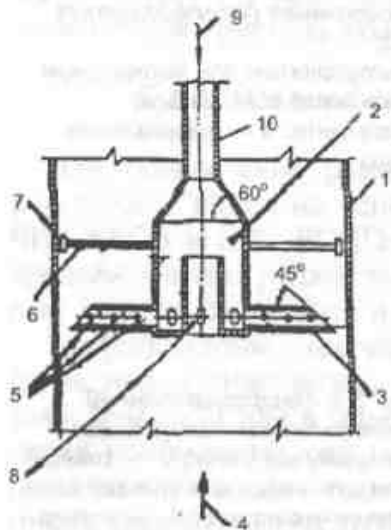


Рис. 5.10. Камерно-лучевой распределитель (расположение — внутри трубопровода):

- 1 — корпус трубопровода; 2 — камера распределителя; 3 — лучевое ответвление; 4 — движение воды;
- 5 — отверстие для выхода раствора; 6 — радиальная распорка; 7 — глухая резиновая муфта, устанавливаемая с зазором 5—10 мм от корпуса трубопровода; 8 — циркуляционный патрубок; 9 — подача реагента;
- 10 — реактопровод

Камерно-лучевой распределитель размещают, как правило, внутри трубопровода (при вертикальном и горизонтальном его положении), на выходном участке трубопровода, подающего исходную воду, или на входном участке трубопровода, отводящего воду из сооружения, после которого она подлежит дальнейшей обработке.

Предпочтительный вариант установки распределителя в трубопроводах рекомендуется выбирать с учетом возмож-

ности их осмотра и замены без прекращения подачи обрабатываемой воды.

Первый тип распределителя характеризуют более простое конструктивное оформление и простота в эксплуатации.

Как показывает опыт, применение распределителей коагулянта позволяет немного уменьшить дозу коагулянта (до 10 %), улучшить условия хлопьеобразования, а иногда полностью отказаться от использования смесителя.

Однако несмотря на выполнение распределителя из нержавеющей стали или полимерных материалов со временем отверстия распределителя забиваются, и его следует демонтировать и заменять на новый, что несколько усложняет эксплуатацию.

#### 5.2.4. Аэрирование воды в смесителях

Одним из методов интенсификации смешения коагулянта с водой является также пневматическое перемешивание за счет подачи в смеситель воздуха. Отмечается, что аэрация воды сокращает потребность в коагулянте, ускоряет формирование и осаждение хлопьев за счет отделения углекислоты, выделяющейся во время гидролиза коагулянта [109—114].

В проведенных исследованиях [5] было обнаружено важное отличие пневматического перемешивания от гидравлического; несмотря на приблизительно такую же интенсивность перемешивания (по величине скоростного градиента), длительная аэрация воды, обработанной коагулянтом (до 10 мин), не приводила к нарушению свойств коагулированной взвеси. Увеличение плотности взвеси оказалось тем заметнее, чем длительнее была аэрация и короче промежуток времени от момента ввода коагулянта до начала аэрации. При расходе воздуха в размере 20 % от количества обрабатываемой маломутной (2—3 мг/л) воды потребность в сульфате алюминия удалось снизить на 30 %.

В целях изучения влияния пневматического перемешивания на процесс коагуляции авторами были выполнены опы-

ты по интенсификации смешения воды с коагулянтom с помощью аэрации. Для этого после обработки воды коагулянтom ее подвергали барботированию воздухом с различной интенсивностью и продолжительностью. Результаты исследований представлены в табл. 5.1. и 5.2.

Таблица 5.1

Влияние продолжительности аэрирования воды при смешении ее с коагулянтom на изменение оптической плотности при освещении (удельный расход воздуха 3 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> воды) (длина волны  $\lambda = 540$  нм)

Продолжительность отстаивания, мин	Оптическая плотность, см <sup>-1</sup> , при продолжительности аэрирования, мин		
	1	2	3
10	0,085	0,11	0,096
20	0,075	0,085	0,076
30	0,066	0,071	0,07
40	0,066	0,071	0,066

Таблица 5.2

Влияние удельного расхода воздуха при смешении воды с коагулянтom на изменение оптической плотности при освещении (продолжительность аэрирования 2 мин)

Продолжительность отстаивания, мин	Оптическая плотность, см <sup>-1</sup> , при удельном расходе воздуха на 1 м <sup>3</sup> воды			
	0,5 м <sup>3</sup>	1 м <sup>3</sup>	2 м <sup>3</sup>	3 м <sup>3</sup>
10	0,100	0,095	0,121	0,11
20	0,096	0,095	0,112	0,085
30	0,095	0,095	0,095	0,071

Как видно из представленных данных, продолжительность смешения в меньшей степени, чем интенсивность аэрирования, влияет на эффективность очистки воды. Проведенные исследования показали, что необходимая интенсивность аэрирования по удельному расходу воздуха в

данном случае составляет 2—3 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> воды при продолжительности пребывания воды в смесителе 2 мин.

Эффективность применения пневматической аэрации необходимо определять в каждом конкретном случае, кроме того, в процессе проведения экспериментальных исследований устанавливаются параметры метода.

Применение аэрирования на этапе смешения воды с коагулянтom было исследовано С. Н. Линевицем и его коллегами (г. Новочеркасск) при очистке донской воды [115]. По мнению авторов, аэрирование воды ускоряет процесс десорбции углекислоты, образующейся вследствие гидролиза коагулянта (взаимодействие ионов Н<sup>+</sup> с ионами НСО<sub>3</sub><sup>-</sup>), и позволяет провести его более полно. Удаление СО<sub>2</sub> из сферы реакции гидролиза положительно сказывается на структуре образующихся хлопьев: она становится более плотной и менее газонаполненной, что способствует быстрому осаждению взвеси и осветлению воды.

Авторы считают, что углекислоту целесообразно удалять из воды в момент образования микрохлопьев гидроксида алюминия в пик их максимальной активности, т. е. на стадии смешения воды с коагулянтom. В этот период вероятность сорбции пузырьков углекислоты в структуру образующихся хлопьев невелика и удаление СО<sub>2</sub> в этот момент наиболее предпочтительно.

Для определения эффективности аэрации были проведены исследования, которые заключались в следующем: сырую донскую воду ( $t = 8^{\circ}\text{C}$ ;  $\text{pH} = 8,16$ ;  $\text{HCO}_3^- = 3,6$  мг-экв/л; мутность 32—40 мг/л) наливали в литровые цилиндры и проводили в каждом из них первичное хлорирование. Два цилиндра были оборудованы фильтросными насадками, укрепленными в нижней части цилиндра, в которые подавали воздух в количестве 150 см<sup>3</sup> на 1000 мл исходной воды (15 % расхода воды). В последующие цилиндры подача воздуха не осуществлялась.

Изучались следующие режимы обработки воды: только коагулянтom — сульфатом алюминия; коагулянтom и флокулянтom КФ91; аэрированием, коагулянтom и флокулянтom;

азированием с добавлением шлама из промывной воды фильтров и коагулянт.

Доза коагулянта составляла 20 мг/л, флокулянта — 0,15 мг/л, шлама — 50 мл/л (с концентрацией 1,5 г/л). Результаты опытов представлены на рис. 5.11. Как видно из полученных данных, наиболее целесообразной следует считать технологию с применением аэрирования и коагулирования воды с добавлением в сырую воду возвратной воды после промывки скорых фильтров (кривая 2).

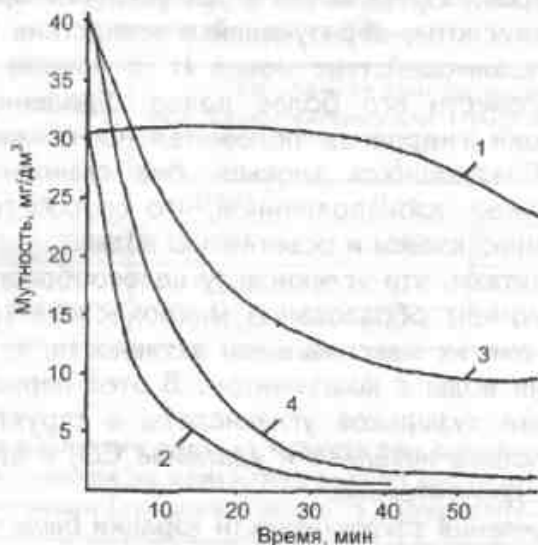


Рис. 5.11. Влияние аэрирования воды на эффект осветления:

- 1 — только  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ; 2 — аэрация +  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  + шлам;  
3 —  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  + КФ91; 4 — аэрация +  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  + КФ91

На основании выполненной работы предлагается в периоды с повышенной температурой (более 12—15 °С) осуществлять аэрирование воды в смесителе перед подачей в нее реагентов с дополнительным замутнением воды.

Кафедрой водоснабжения и водоотведения Ростовского государственного строительного университета (авторы А. В. Бутко, В. А. Михайлов, В. А. Лысов и др.) [116—121]

разработана технология смешения и хлопьеобразования коагулированной воды с использованием воздуха. При введении воздуха в сооружение обеспечивается равномерное перемешивание всего объема воды с заданными гидродинамическими параметрами, которые можно регулировать, создавая оптимальный режим для конкретных условий. Конструктивно введение воздуха в воду в смесителях и в камерах хлопьеобразования осуществляется через систему перфорированных труб, проложенных в нижней части (у дна) сооружения.

В смесителях требуемая интенсивность перемешивания во много раз превышает интенсивность перемешивания в камерах хлопьеобразования, в которых необходимый расход воздуха составляет не более 5—10 % от расхода обрабатываемой воды.

Для подачи воздуха в смесители и камеры хлопьеобразования для повышения интенсивности перемешивания могут быть использованы обычные воздухоподогреватели, применяемые для барботирования растворов реагентов в реагентном хозяйстве.

Предлагается также конструкция отстойника с воздушным перемешиванием в камере хлопьеобразования в сочетании с устройством тонкослойных отстойных элементов [122, 123]. Данная конструкция была испытана при осветлении воды р. Дона на производственном отстойнике.

Анализ результатов выполненных многолетних работ показывает, что применение воздушного перемешивания в процессах смешения и хлопьеобразования по своей эффективности значительно превышает гидравлическое перемешивание. Оборудование камер хлопьеобразования системой с воздушным перемешиванием позволяет в 1,5—2 раза увеличить производительность отстойников при высоком качестве осветленной воды по сравнению с традиционными отстойниками и камерой хлопьеобразования гидравлического типа.



### 5.3. Камеры хлопьеобразования

После введения коагулянтов и их смешения с обрабатываемой водой последующая эффективность коагуляционной очистки определяется процессом хлопьеобразования, при котором необходимо получить легкооседающие крупные хлопья с хорошо развитой поверхностью. Укрупнение коллоидных частиц, образовавшихся в процессе гидролиза коагулянтов, происходит постепенно в течение длительного времени. На процесс их формирования оказывают влияние такие факторы, как температура и качество воды, доза коагулянта, режим перемешивания и пр. Практикой установлено, что скорость образования хлопьев замедляется при низкой температуре воды, хлопья образуются мелкие, плохо осаждающиеся, эффективность очистки воды снижается. За счет повышения интенсивности перемешивания воды в камере хлопьеобразования ускоряется рост частиц в результате их учащенного взаимного столкновения, при этом увеличивается взаимосвязь между ними, хлопья образуются более тяжелые и прочные.

Назначение камер хлопьеобразования — обеспечить равномерное интенсивное в начале камеры и более плавное в конце перемешивание воды, обработанной коагулянтами. Особенно важно обеспечить необходимое перемешивание в камерах хлопьеобразования в период низких температур воды.

В то же время применяемые в нашей стране типовые, традиционные камеры хлопьеобразования гидравлического типа из-за своего конструктивного несовершенства во многих случаях не могут обеспечить необходимые условия для эффективного хлопьеобразования. Кроме того, в них отсутствует возможность регулирования интенсивности перемешивания, которая должна изменяться при изменении качества исходной воды и ее температуры.

Процессы хлопьеобразования оказывают решающее влияние на эффективность работы всего комплекса сооружений по очистке природных вод как на стадии ее отстаивания,

так и при фильтровании. Учитывая важную роль процессов хлопьеобразования для очистки воды, многие исследователи занимались разработкой новых конструкций камер хлопьеобразования или модернизацией существующих типов.

Наиболее эффективными и легкорезализуемыми являются разработки, выполненные совместно НИИ ВОДГЕО и НИИ КВОВ, а также СПбНИИ АКХ.

Большинство камер хлопьеобразования выполняются совмещенными с отстойниками или с осветлителями со взвешенным осадком. В зависимости от типа сооружений первой ступени очистки воды и конструкции они могут быть реконструированы в камеры:

- контактные (зернистые);
- тонкослойные;
- тонкослойно-эжекционные;
- рециркуляционные.

**Контактные камеры хлопьеобразования** [124—127] наиболее эффективны при осветлении маломутных, цветных, слабоминерализованных вод с длительными периодами низких температур. При осветлении таких вод положительная роль зернистой среды заключается в том, что процессы хлопьеобразования протекают в замкнутом поровом пространстве, где значительно увеличивается вероятность столкновения частиц скоагулированной взвеси и их прилипания как друг к другу, так и к сформированным ранее агрегатам. В качестве зернистой контактной среды целесообразно использовать легкие плавающие материалы, которые исключают кольматацию зернистого пространства и обеспечивают возможность их промывки обратным током воды.

Эти камеры являются самопромывающимися, так как в процессе их работы по мере накопления избыточного количества взвеси под ее тяжестью происходит расширение зернистого слоя, и накопившиеся хлопья легко вымываются потоком осветленной воды. Потери напора в зернистом слое не превышают 3—5 см, что гарантирует их стабильную эксплуатацию.

Учитывая конструктивные особенности контактных камер хлопьеобразования, их наиболее целесообразно использовать при реконструкции камер водоворотного типа, встроенных в вертикальные отстойники.

Впервые контактная плавающая загрузка была применена при интенсификации работы камеры хлопьеобразования водоворотного типа, встроенной в вертикальный тонкослойный отстойник на станции водоочистки г. Ухты (рис. 5.12). Для получения зернистой среды использовались плиты пенопласта, которые нарезались на гранулы требуемого размера. Крупность загрузки составляла 30—40 мм, высота слоя — 0,85 м. Сравнительные результаты работы водоворотной и контактной камер показали, что при одинаковой производительности качество отстоянной воды во втором случае характеризовалось более низкими значениями мутности, цветности, остаточного алюминия. При одинаковом качестве отстоянной воды нагрузка на очистные сооружения при использовании контактной камеры хлопьеобразования может быть увеличена в 1,5—2 раза.

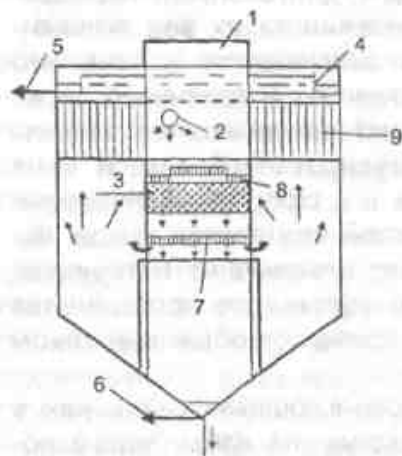


Рис. 5.12. Вертикальный тонкослойный отстойник с контактной камерой хлопьеобразования:

- 1 — камера хлопьеобразования;
- 2 — подача исходной воды;
- 3 — контактная плавающая загрузка; 4 — сборный лоток;
- 5 — отвод осветленной воды;
- 6 — сбор осадка; 7, 8 — нижняя и верхняя поддерживающие решетки, соответственно;
- 9 — тонкослойные сотоблоки

Для интенсификации работы сооружений, в которых процессы хлопьеобразования осуществляются в слое взвешенного осадка, могут использоваться **тонкослойные камеры хлопьеобразования** [128].

По сравнению с традиционной флокуляцией в объеме взвешенный слой, образованный в замкнутом пространстве тонкослойных элементов, характеризуется более высокой концентрацией твердой фазы и устойчивостью к изменениям качества исходной воды и нагрузки на сооружения.

В качестве тонкослойных элементов могут использоваться сотоблоки из полиэтиленовой пленки, выпуск которых в настоящее время организован в необходимом количестве. В отличие от сотоблоков, используемых в отстойниках, их длина в наиболее сложных случаях может быть увеличена с 0,7—1,0 до 1,5 м, а угол наклона к горизонту воды должен составлять 70—75°, что обеспечивает более эффективное сползание осадка.

Пример оборудования контактной камеры хлопьеобразования, встроенной в осветлитель со взвешенным осадком, тонкослойными сотоблоками представлен на рис. 5.13.

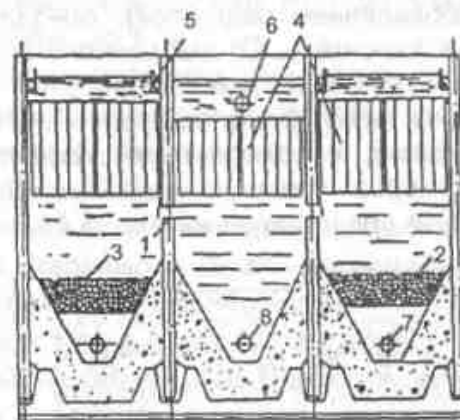


Рис. 5.13. Тонкослойный осветлитель с контактной камерой хлопьеобразования:

- 1 — подача исходной воды; 2 — плавающая зернистая загрузка;
- 3 — решетка, задерживающая загрузку от всплытия; 4 — тонкослойные блоки; 5 — сборные желоба; 6 — сбор воды из шламоуплотнителя; 7 — осадкоотводящие окна; 8 — трубы для удаления осадка

При показателях качества воды, требующих для эффективного хлопьеобразования введения дополнительной твер-

дой фазы, могут применяться **тонкослойно-эжекционные** (рециркуляционные) камеры хлопьеобразования [125].

Рециркуляция осадка заключается в обработке воды с возвратом части отработанного осадка в зону подачи исходной воды после смесителя. Это в ряде случаев приводит к экономии коагулянта и ускорению осаждения скоагулированной взвеси в отстойниках и осветлителях.

Существуют два способа рециркуляции — по внутреннему и наружному контуру. Рециркуляция по *внутреннему контуру* предусматривает возврат образовавшихся хлопьев в зону подачи исходной воды с раствором коагулянта без вывода их из рециркуляционной емкости. По этому принципу работают осветлители со взвешенным осадком в США, Германии, Франции и в некоторых других странах. Рециркуляция по *наружному контуру* включает в себя отвод шламовой жидкости из камер хлопьеобразования, отстойников, осветлителей или фильтров, частичное отстаивание ее (иногда с добавлением реагентов), обеззараживание и возврат осадка в смеситель. От выбранного способа рециркуляции, а также от использованной для этой цели аппаратуры (насосы, эжекторы, эрлифты, турбинные и пропеллерные мешалки) зависит технологический эффект.

Один из примеров тонкослойно-эжекционной камеры хлопьеобразования представлен на рис. 5.14.

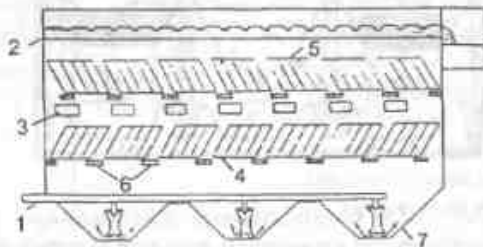


Рис. 5.14. Схема оборудования осветлителя тонкослойными блоками и рециркуляторами:

- 1 — подача исходной воды; 2 — сбор осветленной воды;  
3 — шламоотводящие окна; 4 — тонкослойные блоки в зоне взвешенного осадка (хлопьеобразующие); 5 — тонкослойные блоки в зоне осветления (осветлительные); 6 — поперечные опоры под блоки; 7 — эжекторы

Принцип ее работы заключается в следующем: исходная вода, смешанная с реагентами, подается в нижнюю часть камер по системе трубопроводов, сконструированных по принципу работы эжекторов. Затем вода поступает в тонкослойные блоки, расположенные над эжекторами, с помощью которых в поток обрабатываемой воды попадает наиболее крупная хлопьевидная взвесь, образованная в камере и осевшая на ее дно. С этой целью рециркуляторы устанавливаются соплом вниз.

Для того чтобы эжектируемая взвесь активно участвовала в процессе коагуляции и укрупнения коллоидных и взвешенных веществ, присутствующих в воде, важно избежать ее диспергирования при прохождении через эжектор. Поэтому используются только низкоскоростные и низконапорные гидравлические эжекторы, рассчитанные на скорость подачи воды в диапазоне от 1 до 5 м/с и развивающие полный напор до 6 м.

Разработана конструкция эжекторов, отличительной и важной особенностью которых является то, что степень рециркуляции можно регулировать в достаточно широком диапазоне от 0 до 50 %.

Тонкослойно-эжекционные камеры хлопьеобразования с регулируемой степенью эжекции целесообразно использовать при реконструкции камер, встроенных в горизонтальные отстойники или в осветлители со слоем взвешенного осадка длиной не более 6 м. При большой длине степень рециркуляции является величиной нерегулируемой, но она может быть рассчитана по разработанной методике с учетом характерных особенностей каждого водоисточника.

Принципиально иная конструкция рециркуляторов разработана в **СПБНИИ АКХ**. По мнению авторов [129], потеря устойчивости золь гидроксидов алюминия или железа объясняется тем, что вводимые осадки поглощают из адсорбционного слоя мицеллы иона, придающие коллоидным частицам устойчивость. Кроме того, осадки, введенные



в качестве затравок, являются своеобразными центрами хлопьеобразования. Эти центры смещают часть процесса коагуляции от пространственного структурообразования к автокаталитической коагуляции, сорбции и адгезии. В результате растут прочность и плотность вновь образующихся хлопьев и, соответственно, их гидравлическая крупность.

Данные предпосылки легли в основу нового метода рециркуляции осадка, в котором для снижения степени диспергирования хлопьев рециркуляцию осуществляют по «внутреннему контуру», т. е. без вывода основной части хлопьев из сооружения.

Этот метод реализован в разработанных СПбНИИ АКХ камерах хлопьеобразования зашламленного типа с рециркулируемым слоем осадка (рис. 5.15) и конструкциях осветлителей-рециркуляторов (рис. 5.16). Разработаны разнообразные аппараты (в том числе и малогабаритные), позволяющие с относительно невысокими затратами реконструировать практически любые типы сооружений первой степени осветления воды.

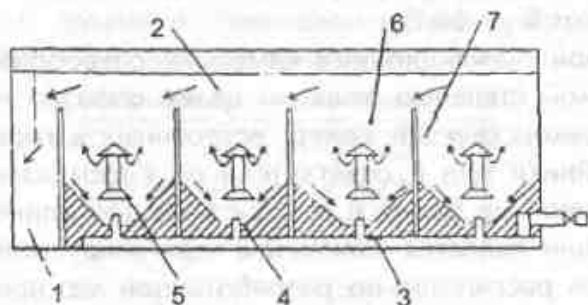


Рис. 5.15. Камера хлопьеобразования с малогабаритными аппаратами для рециркуляции осадка: 1 — отстойник; 2 — камера хлопьеобразования; 3 — канал исходной воды; 4 — патрубок с соплом; 5 — смеситель; 6 — направляющий аппарат; 7 — перегородки

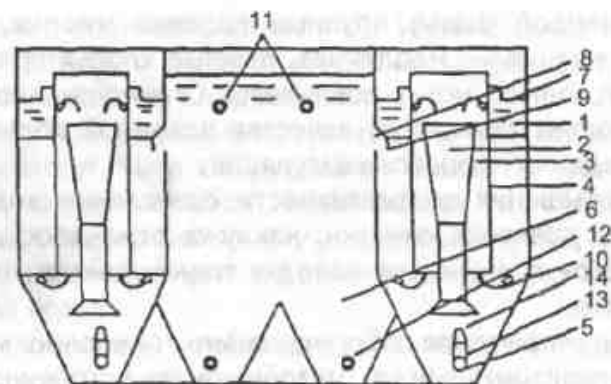


Рис. 5.16. Осветлитель-рециркулятор: 1 — рабочая камера; 2 — смеситель; 3 — камера хлопьеобразования; 4 — направляющий аппарат; 5 — распределительная трубка; 6 — осадкоуплотнитель; 7 — лоток; 8 — окна; 9 — защитный козырек; 10 — слой взвешенного осадка; 11 — трубы для перепуска взвешенного осадка; 12 — трубы для выпуска уплотненного осадка; 13 — патрубок; 14 — сопло

#### 5.4. Методы осветления воды и способы их интенсификации

Удаление из воды взвешенных примесей и скоагулированных хлопьев достигается отстаиванием и фильтрованием. При отстаивании воды из нее удаляется основная масса взвешенных веществ, а фильтрование является завершающим процессом, который необходим для полного освобождения воды от взвесей.

##### 5.4.1. Отстаивание воды

Для осаждения взвеси применяются различного типа отстойники и осветлители. Крупные частицы, выносимые водой из камер хлопьеобразования и попадающие в отстойники, под действием силы тяжести начинают оседать, так как скорость движения в отстойниках значительно меньше по сравнению со скоростью воды в камерах реакции. Скорость осаждения взвеси в отстойниках зависит от свойств

частиц твердой фазы: крупные плотные хлопья оседают быстрее, мелкие — медленнее, рыхлые хлопья при определенных условиях могут всплывать. Структура скоагулированных частиц зависит от качества исходной воды и условий проведения процесса коагуляции.

Для повышения эффективности осветления воды в современной практике очистки, как уже отмечалось, все более широкое применение находят тонкослойные отстойные сооружения.

Один из примеров оборудования тонкослойными элементами горизонтального отстойника со встроенной камерой хлопьеобразования представлен на рис. 5.17 [130].

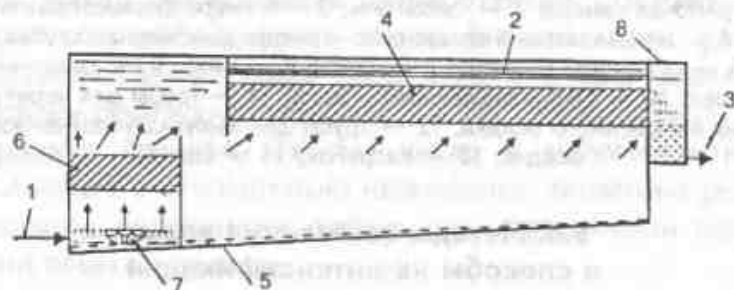


Рис. 5.17. Тонкослойный горизонтальный отстойник с тонкослойно-эжекционной камерой хлопьеобразования:

- 1 — подача исходной воды; 2 — сбор осветленной воды; 3 — отвод осветленной воды; 4 — тонкослойные отстойные блоки; 5 — отвод осадка; 6 — тонкослойные хлопьеобразующие блоки; 7 — продольные низконапорные рециркуляторы; 8 — сборный карман

Однако при этом необходимо учитывать, что эффективность тонкослойного осаждения определяется не только процессами, происходящими в тонкослойных элементах, но и такими факторами, как качество подготовки хлопьев, поступающих на осаждение, равномерность сбора и распределения воды, надежность системы удаления осадка. Поэтому при проведении работ по оборудованию тонкослойными блоками отстойников и осветлителей необходимо предусмотреть способы по повышению эффективности

процессов хлопьеобразования, увеличению количества сборных лотков в целях повышения коэффициента объемного использования сооружений.

Кроме того, необходимо учитывать, что тонкослойными блоками могут быть оборудованы только те отстойники, в которых осуществляется эффективное и своевременное удаление осадка, так как его накопление под тонкослойными блоками приводит к резкому ухудшению качества отстойной воды.

Таким образом, необходим комплексный подход к решению всех технологических процессов, связанных с хлопьеобразованием, осаждением, удалением осадка, а также гидравлическим режимом работы отстойных сооружений.

В России до настоящего времени тонкослойные отстойники имели небольшое применение. Основной причиной этого являлось отсутствие серийного выпуска тонкослойных элементов и блоков из них. В настоящее время предлагаются к использованию сотоблоки из полиэтиленовых пленок и из рулонного материала ПВХ, которые характеризуются требуемой прочностью и обладают необходимой физико-химической и бактериологической стойкостью и долговечностью.

НИИ КВОВ разработана технология изготовления тонкослойных модулей сотовой конструкции из полиэтиленовой пленки, что позволяет осуществлять выпуск сотоблоков любого размера в зависимости от параметров отстойного сооружения. При изготовлении сотоблоков полиэтиленовая пленка сваривается в такой последовательности, чтобы обеспечить его наибольшую пространственную устойчивость и возможность растягивать на рамы только в четырех крайних ячейках. Длина тонкослойных элементов принята до 1,5 м, а угол наклона к горизонту должен составлять 70—75°. Разработана также технология сварки и организован промышленный выпуск сотоблоков указанной выше конструкции из полиэтиленовой пленки для различных типов сооружений.

В ГУП «Институт МосводоканалНИИпроект» разработан тонкослойный модуль сотового типа с самонесущей способностью (рис. 5.18). Из рулонного материала ПВХ марки П-74 толщиной 0,4—0,5 мм изготавливаются профильные листы, из которых уже непосредственно на станции производят сотоблоки с помощью контактной сварки. Для проведения сварочных работ изготовлено специальное оборудование. Производительность оборудования составляет 20 сотоблоков в сутки. Площадь для размещения установки равна 1,7 м<sup>2</sup>.

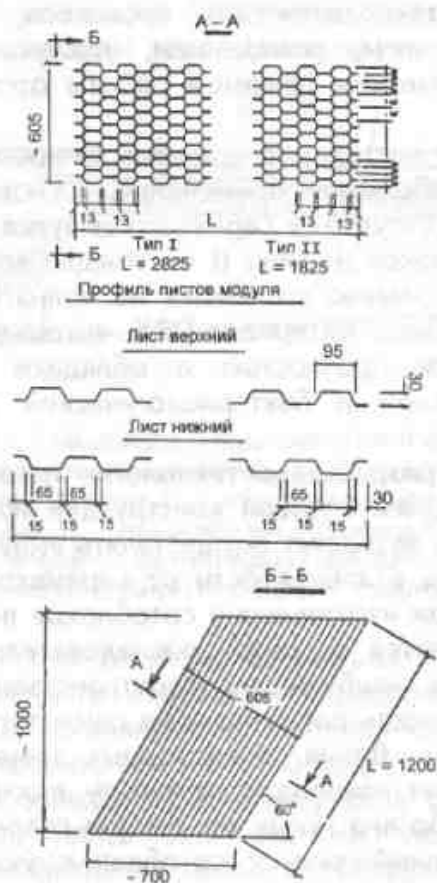


Рис. 5.18. Тонкослойные модули сотового типа из рулонного материала ПВХ

В зарубежной практике, особенно в Скандинавских странах, нашли применение компактные сооружения: отстойники-коагуляторы, фильтры-отстойники, фильтры-флотаторы, которые на станциях подготовки питьевой воды работают в автоматическом режиме.

Большой опыт по созданию высокопроизводительных сооружений накоплен фирмой «Дегремон» (Франция). По информации Жака Моля [131] и рекламных проспектов фирмы, с использованием метода рециркуляции осадка эффективно эксплуатируются отстойники с пульсирующим взвешенным слоем осадка типа Pulsator. Производительность таких сооружений увеличивается в 3—4 раза по сравнению с производительностью классических отстойников.

Исходная вода вместе с введенными в нее реагентами поступает в центральную (осевую) камеру осветлителя. Равномерно распределяясь снизу по всей массе осадка, вода протекает через него, что способствует активной флокуляции взвешенных загрязнений на частицах осадка. Взвешенное состояние осадка обеспечивается пульсирующим восходящим потоком воды, которая после коагуляции поступает в камеру ввода, находящуюся под разрежением, вследствие чего уровень воды в камере повышается. С помощью несложных элементов можно регулировать объем накапливающейся в камере воды, а также частоту и длительность пульсаций.

Последующие модификации этого типа отстойника с использованием эффекта тонкослойного отстаивания — отстойники Superpulsator, Pulsatube и Ultrapulsator — позволили увеличить скорость эффективного отстаивания до 8—12 м/ч при тех же габаритах (либо уменьшить размеры отстойника при заданной производительности).

Схематично конструкции этих отстойников-осветлителей и отстойников со взвешенным слоем осадка представлены на рис. 5.19. Их отличают:

- высокая компактность;
- высокая эффективность осветления;
- отсутствие отдельной камеры флокуляции;
- более высокие плотность и концентрация отводимого осадка.



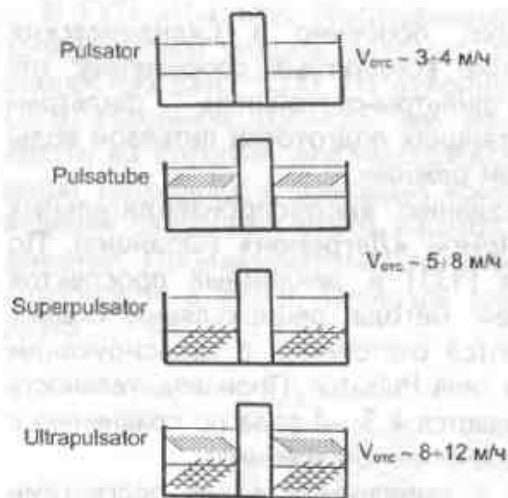


Рис. 5.19. Схема отстойников-осветлителей фирмы "Дегремон"

Дальнейшим увеличением концентрации твердой фазы в реакционной зоне (использование специальных флокулянтов и утяжелителей, различных способов рециркуляции осадка) до 1—3 г/л можно добиться отстаивания со скоростью более 20—25 м/ч. Это оказалось возможным в новом компактном и высокоэффективном отстойнике типа Densadeg с внешней рециркуляцией осадка в зону коагуляции-флокуляции. Схема отстойника с рециркуляцией осадка представлена на рис. 5.20.

Серия отстойников Densadeg обеспечивает коагуляционно-флокуляционную обработку вод с тонкослойным отстаиванием и сгущением осадка в одном аппарате. На сегодняшний день в мире работает уже почти 200 отстойников этого типа при обработке различных вод, в том числе 60 % — вне Франции

Например, использование отстойника Densadeg позволило:

- в проекте 1998 г. станции «Long Xi» (Шанхай, Китай) производительностью 500 тыс. м<sup>3</sup>/сут снизить производственную площадь с 30 (при использовании классического отстойника) до 1,1 тыс. м<sup>2</sup>;
- в проекте станции в Каире (Египет) производительностью 2 млн м<sup>3</sup>/сут сократить производственную площадь с

20 (при использовании предусмотренного в исходном варианте отстойника Pulsator) до 5 тыс. м<sup>2</sup>.

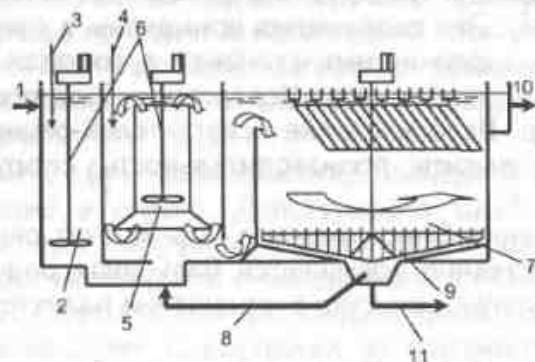


Рис. 5.20. Принципиальная технологическая схема отстойника типа Densadeg:

- 1 — исходная вода; 2 — зона коагуляции; 3 — введение коагулянта; 4 — введение флокулянта; 5 — зона флокуляции; 6 — механические мешалки; 7 — зона отстаивания; 8 — рециркуляция осадка; 9 — зона сгущения осадка; 10 — осветленная вода; 11 — отвод осадка

#### 5.4.2. Осветление в слое взвешенного осадка

Процесс осветления воды в слое взвешенного осадка аналогичен процессу контактной коагуляции в зернистой загрузке фильтров с той лишь разницей, что в данном случае коагуляция протекает в слое взвешенного осадка гидрооксида алюминия или железа. Взвешенный слой осадка, с одной стороны, играет роль фильтра, способствуя лучшему осветлению воды, с другой — адсорбционная емкость хлопьев используется более полно, что значительно улучшает процесс обесцвечивания.

Основными факторами, влияющими на формирование взвешенного слоя и содержания в нем взвеси, являются: качество исходной воды (наличие в ней взвешенных веществ, ее химический состав, температура), гидравлические условия (скорость восходящего потока воды и степень завихрения этого потока), а также химический состав и структура осадка в самом взвешенном слое (величина хлопьев, их прочность и объемная масса).

Для интенсификации процессов очистки воды в осветлителях со взвешенным осадком может быть использован метод рециркуляции осадка, предложенный СПбНИИ АКХ (см. рис. 5.16). Эти сооружения применены в отечественной практике на водоочистных станциях в городах Костроме, Новгороде, Архангельске, Череповце, Выборге, Кирово-Чепецке и др. Использование осветлителей-рециркуляторов позволяет повысить производительность сооружений на 30—60 %.

Одновременно было отмечено, что за счет рециркуляции осадка существенно повышается барьерная роль сооружений первой ступени очистки в отношении планктона.

### 5.4.3. Фильтрование воды

Фильтровальные сооружения могут использоваться в качестве второй ступени осветления в схемах с отстойниками или с осветлителями и как самостоятельные сооружения — в одноступенных схемах очистки воды. В современных конструкциях фильтров применяется принцип скорого фильтрования (в отличие от медленных фильтров): без образования осадка на поверхности пористой среды, с задержанием взвеси в толще зернистой загрузки.

*Скорые фильтры*, как правило, применяются на заключительном этапе очистки воды, от их технического состояния и эксплуатационных показателей зависит качество очищенной воды. Для обеспечения эффективной и надежной работы фильтров необходимо строго соблюдать и поддерживать все технические и технологические параметры согласно рекомендациям СНИП.

При реконструкции скорых фильтров на водопроводных станциях для улучшения их работы необходимо:

- *восстановить проектную высоту и гранулометрический состав фильтрующей загрузки* на всех фильтрах, так как в результате многолетней эксплуатации весьма часто скорые фильтры имеют недостаточную высоту зернистого фильтрующего слоя, состоящего из зерен повышенной крупности. Эксплуатация подобных скорых фильтров вызывает не только снижение эффективности очистки воды, но

и нарушает режим их промывки. Вследствие недостаточного расширения фильтрующего слоя плохо удаляются отмываемые загрязнения из надфильтрового пространства, что, в свою очередь, приводит к накоплению слоя отложений на поверхности фильтрующей загрузки, увеличению темпа прироста потери напора и снижению продолжительности фильтроцикла;

- *повысить (по возможности) однородность зерен фильтрующей загрузки.* Действующим СНИП разрешено применение для загрузки скорых фильтров зернистых фильтрующих материалов с коэффициентом неоднородности более 2. Вместе с тем для скорых фильтров желателен более однородных по крупности зернистых материалов. Это позволяет повысить эффективность промывки и снижает расход промывной воды. В настоящее время ряд предприятий («Волгоградский карьер», «Гора Хрустальная») выпускают высококачественный однородный фильтрующий материал с коэффициентом неоднородности 1,5—1,6 при крупности зерен в пределах 0,63—1,25 мм. Данный зернистый материал может эффективно использоваться в скорых фильтрах с высотой слоя, равной  $(0,7—0,8) \div (1,2—1,3)$  м;

- *использовать для загрузки фильтров различные фильтрующие материалы*, разрешенные к применению Минздравом России, с более развитой, чем у песка, поверхностью: дробленый керамзит, шунгизит, вулканические шлаки и др.

Это позволит интенсифицировать работу фильтровальных сооружений, уменьшить дефицит в кварцевом песке благодаря использованию местных материалов и значительно сократить транспортные расходы по их доставке на объект. По некоторым данным, применение зернистых фильтрующих материалов с развитой поверхностью зерен повышает производительность фильтровальных сооружений на 30—50 % без проведения реконструкции фильтров;

Кроме того, могут быть рекомендованы взамен кварцевого песка следующие типы загрузок:

- гранодиорит (г. Новосибирск);

- гранитный дробленый песок (ЗАО «Нерудные материалы», Санкт-Петербург);

- песок «Графил» (ЗАО "Квант Минерал", Санкт-Петербург)

- Фильтралит (OPTIROC AS, Таллинн, Эстония);

- в целях исключения смещения гравийных слоев и их перемешивания с песчаной загрузкой, что обычно приводит к нарушению стабильной эксплуатации фильтров, следует использовать *различные конструкции безгравийных дренажных систем*. К ним прежде всего относятся: колпачковый дренаж (колпачки полиэтиленовые, из нержавеющей стали и др.), щелеванные полиэтиленовые трубы, полиэтиленовые трубы с различными металлическими вставками из сетчатых или щелевых материалов и др.;

- *обеспечение необходимой интенсивности промывки фильтров* согласно СНиП, равной 15—16 л/(с·м<sup>2</sup>), даже если это потребует (в некоторых случаях) замены промывных насосов на насосы большей производительности;

- в целях повышения эффективности и условий работы скорых фильтров целесообразно осуществить их реконструкцию и переоборудование *на фильтры с водовоздушной промывкой*. Помимо экономии воды это позволяет повысить надежность работы фильтровальных сооружений, увеличить высоту фильтрующей загрузки и повысить качество очищенной воды. Это было доказано опытом эксплуатации фильтров на ряде водопроводных станций Мосводоканала; для таких фильтров разработаны и используются новая конструкция дренажной распределительной системы, а также системы отвода промывной воды.

Фирмой «Дегремон» предложен и широко используется фильтр Aquazur В, отличительной особенностью которого является водовоздушная промывка и низкий отвод промывной воды. Расчетная скорость фильтрования в них 10—12 м/ч по сравнению с обычными скорыми фильтрами, где скорость фильтрования составляет 6—7 м/ч.

*Контактные осветлители и прямоточные фильтры* характеризуются тем, что (в отличие от коагуляции в свободном объеме) в них при введении коагулянта непосред-

ственно перед загрузкой и фильтровании обрабатываемой воды через загрузку осуществляется контактная коагуляция на зернах фильтрующего материала.

Контактная коагуляция на этих сооружениях отличается от коагуляции в объеме и осветлении воды в отстойниках следующими особенностями:

- протекает быстрее;

- требует меньших доз коагулянта;

- менее чувствительна к температуре воды;

- протекает удовлетворительно даже при малой мутности и низком щелочном резерве исходной воды.

Перечисленные особенности связаны с тем, что для выделения взвеси из воды достаточным условием является лишь предварительная дестабилизация частиц.

Опыт работы контактных осветлителей Санкт-Петербургского водоканала показал, что наиболее целесообразным при реагентной обработке воды является использование катионных флокулянтов в сочетании с коагулянтом. При этом расход коагулянта снижается на 30—50 %; остаточный алюминий в очищенной воде не превышает допустимых концентраций; продолжительность фильтроцикла на контактных осветлителях увеличивается на 40—60 %.

Фирмой «Дегремон» используются прямоточные фильтры [131]. С 1996 г. в Сиднее (Австралия) эксплуатируется станция Prospect производительностью 3 млн м<sup>3</sup>/сут, на которой очистка воды осуществляется по принципу контактной коагуляции на фильтрах. Реализация этого проекта стала возможной после длительных пилотных исследований, позволивших определить способы и режимы многоступенчатого введения четырех реагентов, геометрические параметры и гидравлику зон введения и перемешивания реагентов, а также оптимальный гранулометрический состав песка. Это позволило осуществить эффективное фильтрование при высоте слоя загрузки 2,15 м с суммарной площадью 5700 м<sup>2</sup> (24 фильтра площадью по 238 м<sup>2</sup> системы Aquazur GV) при скорости 20—25 м/ч и обеспечить получение питьевой воды с гарантированной среднегодовой остаточной мутностью менее 0,05 мг/л и цветностью 3—4 град.



Один из основных выводов по опыту реализации этого проекта состоит в том, что мутность фильтрата зависит не столько от гранулометрического состава песка, а сколько в основном от качества реагентной химической обработки исходной воды.

Для интенсификации промывки фильтрующей загрузки контактных осветлителей и снижения расхода промывной воды желательна применение контактных осветлителей типа КО-3 с водовоздушной промывкой (рис. 5.21). При этом следует иметь в виду, что водовоздушная промывка может быть эффективно реализована в контактных осветлителях (или в прямоточных скорых фильтрах) только при использовании низкого отвода промывной воды.

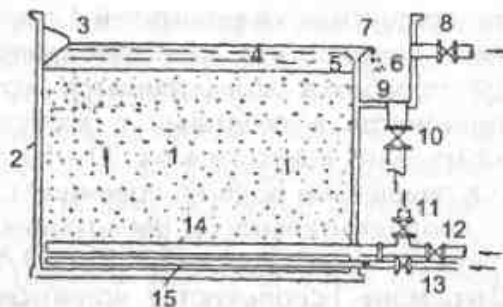


Рис. 5.21. Схема устройства контактного осветлителя КО-3: 1 — загрузка; 2 — стенки осветлителя; 3 — выступ; 4 — надзагрузочное пространство; 5, 6 — стенки желоба; 7 — пескоулавливающий желоб; 8 — отвод осветленной воды; 9 — карман; 10 — сброс промывной воды; 11 — подача чистой промывной воды; 12 — подача "сырой" воды; 13 — подача воздуха; 14 — распределительная система для подачи воды; 15 — распределительная система для подачи воздуха

#### 5.4.4. Мембранные методы очистки воды

В современной технологии очистки воды все более широко начинают применять методы мембранной очистки. Успешное их использование обеспечивает наличие мембран,

разнообразие типов и видов которых адекватно разнообразию требующих решения задач в обработке природных вод.

Наиболее перспективны методы микро-, ультра- и нанофильтрации [131, 132].

Ультрафильтрация может быть применена как самостоятельная технология, совместно с реагентной обработкой, с озоном и с порошкообразным активным углем (способ Cristal).

Ультрафильтрационные мембраны разработаны и производятся, в частности, компанией Aquasource (филиал «Дегремон» и Suez Lyonnaise des Eaux). Из множества таких мембран по специальной технологии формируются модули различного диаметра, обеспечивающие единичные площади фильтрования от 50 до 150 м<sup>2</sup> [131].

Прямая ультрафильтрация имеет ограничения по мутности, фитопланктону и особенно по содержанию коллоидных и растворенных органических соединений, обуславливающих цветность воды. У фирмы имеется опыт применения ультрафильтрационных установок производительностью от 25 до 105 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

Нанофильтрация может быть использована при очистке воды с высокой цветностью, а также от фенолов, пестицидов и микробиологических загрязнений.

Успешную реализацию нанофильтрации для обработки озерных вод в Скандинавских странах имеет компания Goodtech (Норвегия) — филиал группы «Дегремон».

При сравнении эффективности различных стадий традиционной технологии очистки воды с мембранной технологией практически невозможно (за исключением некоторых случаев) найти универсальные мембраны. На рис. 5.22 представлены некоторые варианты возможных комбинаций традиционных стадий обработки и мембранных установок с различными типами мембран (кроме обратноосмотических) в технологии получения питьевой воды, предлагаемые компанией «Дегремон».

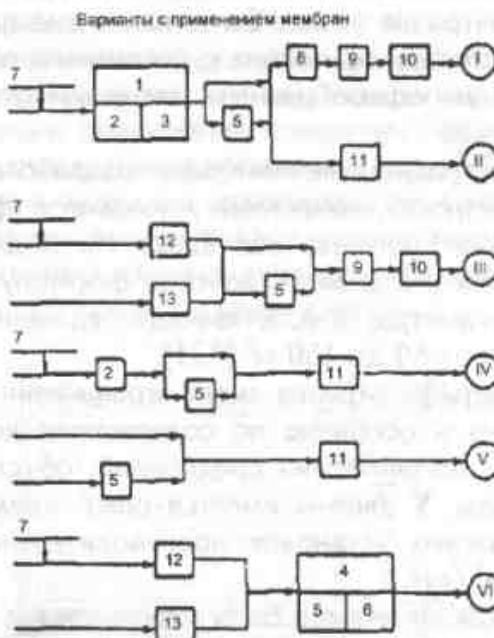
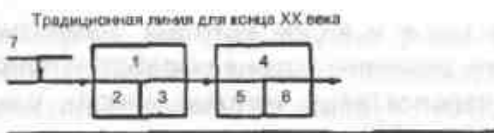


Рис. 5.22. Возможности применения мембран в полной технологической линии питьевой водоподготовки:  
 I—VI — варианты схем; 1 — традиционное осветление;  
 2 — отстаивание; 3 — фильтрование; 4 — доочистка; 5 —  $O_3$ ;  
 6 — ГАУ; 7 — реагенты; 8 — предварительная обработка;  
 9 — нанофильтрация; 10 — постобработка; 11 — Cristal (ПАУ/УФ);  
 12 — микрофильтрация; 13 — ультрафильтрация

Варианты I и II возможных технологических линий в настоящее время имеют многочисленную практическую реализацию. Можно предположить, что путь по варианту IV, в котором отстаивание могло бы быть заменено реактором (например, биореактором), а стадия 11 (см. рис. 5.22) — самостоятельной ультрафильтрацией или специальной нанофильтрацией, получит, по мнению авторов, необходимое развитие в ближайшее время.

## Глава 6. Повышение эффективности коагуляционной обработки воды

### 6.1. Основные проблемы при обработке воды коагулянтами

Как показывает опыт эксплуатации действующих водопроводных станций, работающих по традиционной технологии, около 70 % водопроводов не могут обеспечить выполнение требований СанПиН по мутности, остаточному алюминию и перманганатной окисляемости. Существующие трудности (постоянные или периодические) во многих случаях связаны с процессом коагулирования воды и зависят от множества технических и технологических причин.

На рис. 6.1—6.3 представлено изменение значений основных показателей качества воды, очищенной на трех водопроводных станциях в течение года. Цветность воды отвечает требованиям во все периоды года и изменяется от 5 до 15 град. Мутность воды после реагентной ее обработки и осветления составляет на одной станции 0,7—1,2 мг/л, а на других — находится на пределе нормативных величин и равна 1,3—1,5 мг/л, в отдельные периоды года достигает 2 мг/л.

Концентрация остаточного алюминия при этом изменяется в диапазоне от 0,3 до 0,48 мг/л, причем в течение пяти месяцев в году она отмечается на уровне 0,42—0,48 мг/л.

В паводковый период и при низких температурах воды наблюдается повышение мутности до 1,5 мг/л и более; при этом концентрации остаточного алюминия — на пределе ПДК. В данных условиях трудно обеспечить требуемое ка-

чество питьевой воды, а повышенные значения мутности и концентрации остаточного алюминия свидетельствуют об отклонении от оптимального режима реагентной обработки воды и неэффективной работе очистных сооружений.

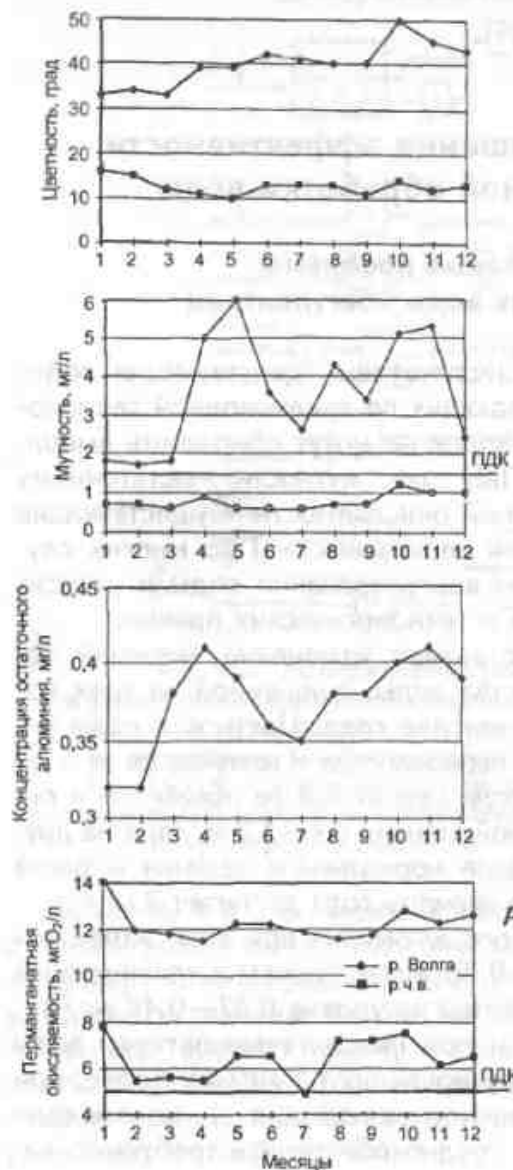


Рис. 6.1. Изменение качества речной и очищенной воды на водопроводной станции № 1

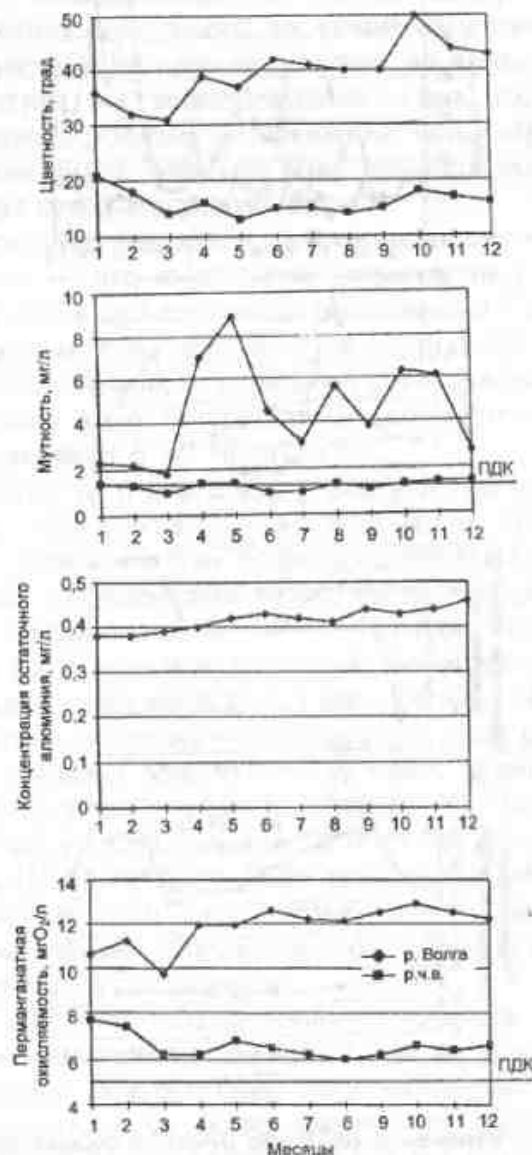


Рис. 6.2. Изменение качества речной и очищенной воды на водопроводной станции № 2



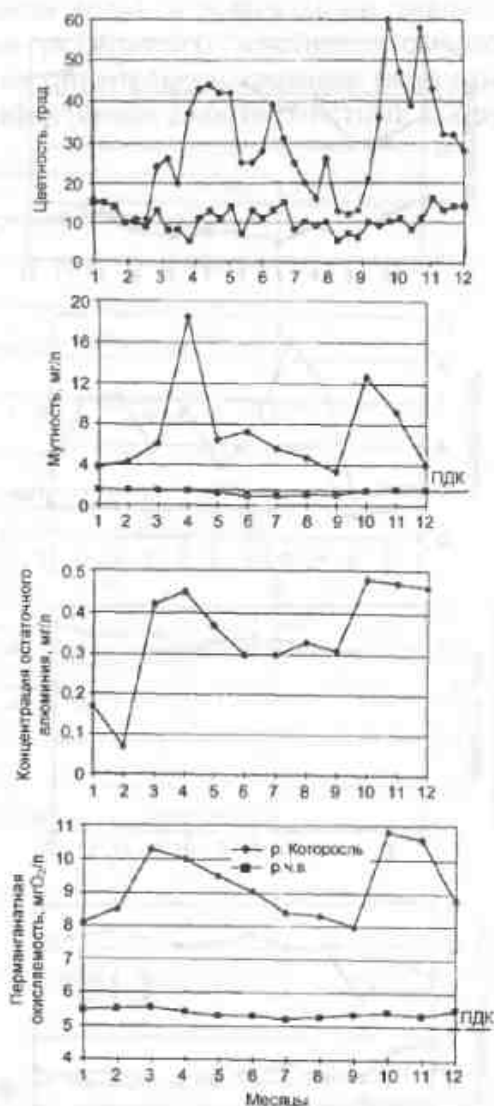


Рис. 6.3. Изменение качества речной и очищенной воды на водопроводной станции № 3

Дополнительные изменения требований к качеству питьевой воды согласно проекту Федерального закона «О пить-

евой воде и питьевом водоснабжении», которые ограничивают содержание остаточного алюминия на уровне 0,2 мг/л, поставили достаточно сложную задачу по выполнению данного норматива на водопроводных станциях. Особенно трудно решить проблему уменьшения концентрации остаточного алюминия в питьевой воде при использовании для очистки воды сульфата алюминия.

Вторая сложная задача, существующая на водопроводных станциях — это выполнение нормативных требований по содержанию в питьевой воде органических загрязнений, характеризуемых показателем перманганатной окисляемости. Во многих случаях содержание органических загрязнений в исходной воде поверхностных водоисточников отмечается на уровне от 8 до 16 мгО<sub>2</sub>/л.

Как известно из опыта работы водопроводных станций и результатов многочисленных исследований, традиционные реагентные схемы очистки воды обеспечивают уменьшение концентрации органических загрязнений и снижение величины ПО в среднем на 50—60%. Поэтому показатель ПО очищенной воды при использовании волжского водоисточника в среднем изменяется от 5,5 до 6,5 мгО<sub>2</sub>/л (см. рис. 6.1, 6.2). Аналогичная ситуация наблюдается и на других водопроводных станциях (рис. 6.3—6.5), где в течение всего года ПО очищенной воды находится на уровне 5,5—8 мгО<sub>2</sub>/л. Таким образом, для того чтобы достичь ПДК по показателю ПО (5 мгО<sub>2</sub>/л), на многих водопроводных станциях необходимо повысить глубину очистки воды за счет оптимизации режима реагентной обработки воды и реконструкции очистных сооружений.

Глубина удаления загрязнений при очистке воды коагулированием существенно зависит от дозы коагулянта. Это подтверждается результатами многочисленных исследований, выполненных на воде различных водоисточников. На рис. 6.6 показано изменение качества очищенной воды р. Волги в зависимости от дозы сульфата алюминия. При этом необходимая степень очистки воды по различным показателям достигается при разных дозах коагулянта. Так, при дозе коагулянта 12 мг/л цветность снижается с 68 до

18 град, мутность очищенной воды составляет 0,6 мг/л. Однако содержание органических загрязнений, определяемых показателем перманганатной окисляемости, в этих условиях уменьшается с 12,2 до 6,3 мгО<sub>2</sub>/л, а концентрация остаточного алюминия отмечается на уровне 0,34 мг/л. Снижение ПО до нормируемой величины обеспечивается лишь при дозе коагулянта 15—16 мг/л. Следовательно, при очистке воды данного водоисточника в рассматриваемый период необходимая минимальная доза составляет 15 мг/л. В этом случае значения показателей качества воды по мутности и цветности существенно ниже ПДК.

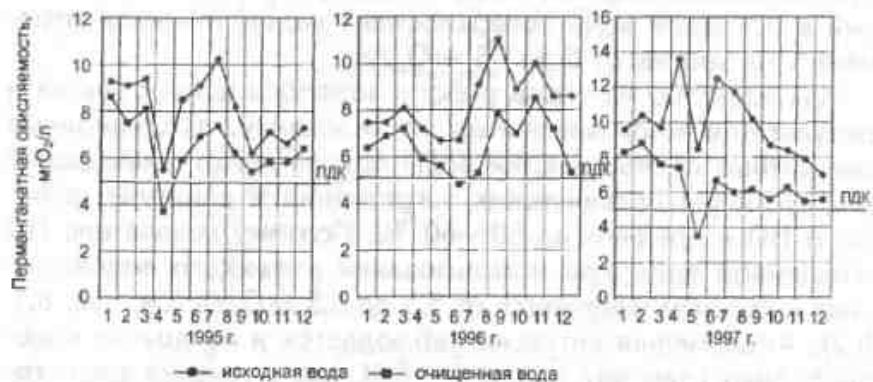


Рис. 6.4. Изменение показателя перманганатной окисляемости в исходной и очищенной воде на станции № 5 за период 1995—1997 гг.



Рис. 6.5. Изменение показателя перманганатной окисляемости в исходной и очищенной воде на станции № 6 за период 1995—1997 гг.

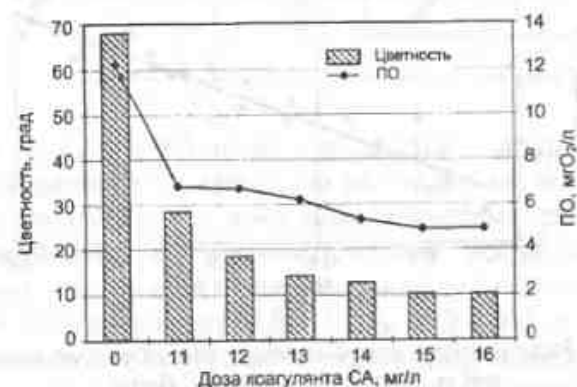
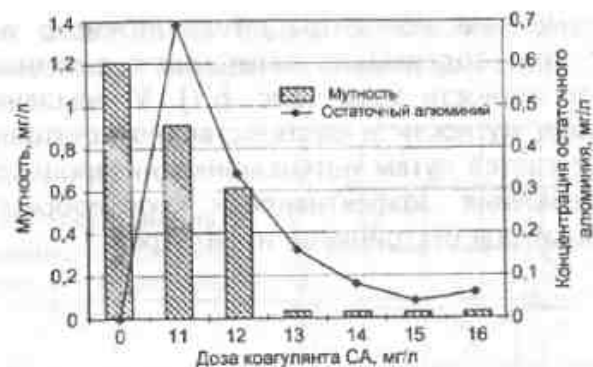


Рис. 6.6. Влияние дозы сульфата алюминия на изменения качества воды р. Волги при ее коагулировании

В связи с уменьшением норматива по остаточному алюминию с 0,5 до 0,2 мг/л во многих случаях при очистке воды поверхностных водоисточников основным показателем, диктующим необходимую степень очистки воды, может быть остаточный алюминий. В то же время концентрация остаточного алюминия зависит от качества исходной воды и глубины ее очистки по таким показателям, как мутность, цветность, ПО и др.

Как правило, при очистке цветных маломутных вод взвешенные вещества, которые остаются в очищенной воде после фильтров или контактных осветлителей, состоят в основном из продуктов гидролиза коагулянта, что обуслав-

ливают повышение концентрации остаточного алюминия. В связи с этим содержание остаточного алюминия может зависеть от мутности воды (рис. 6.7). Уменьшение содержания в воде мутности и соответственно остаточного алюминия достигается путем интенсификации процессов осветления: повышения эффективности хлопьеобразования и улучшения работы отстойников и фильтров.

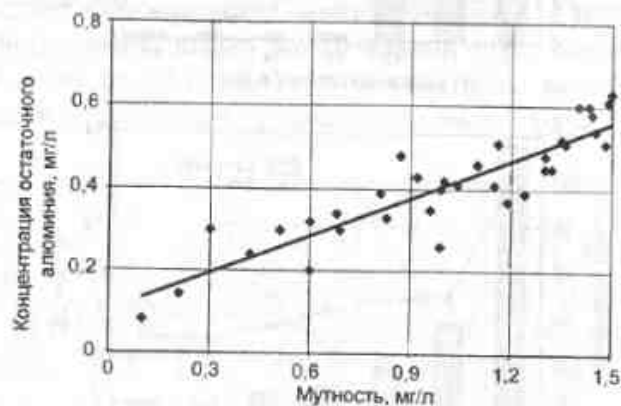


Рис. 6.7. Зависимость концентрации остаточного алюминия от мутности очищенной воды

В определенных условиях в обработанной воде могут присутствовать и растворенные соединения алюминия, которые не задерживаются при осветлении воды в отстойниках и на фильтрах.

Повышение в воде концентрации растворенного алюминия, как правило, связано с образованием комплексных его соединений с гумусовыми веществами. Комплексообразование алюминия с органическими веществами происходит путем взаимодействия ионов алюминия с их функциональными группами.

Образование растворимых комплексных соединений алюминия с гумусовыми веществами подтверждается зависимостью концентрации алюминия от цветности воды после коагуляции (рис. 6.8). Чем больше остаточная цветность

воды, тем выше концентрация остаточного алюминия при условии отсутствия взвешенных веществ в воде.

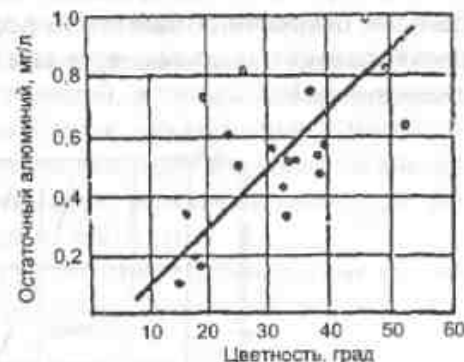


Рис. 6.8. Зависимость концентрации остаточного алюминия от цветности воды

Кроме того, растворимость продуктов гидролиза сульфата алюминия зависит от величины pH воды, ее ионного состава и температуры. По имеющимся литературным данным, подтвержденным экспериментальными исследованиями на модельных растворах, не содержащих органических веществ, в диапазоне pH 4,5—5,5 и 7,2—8,0 в воде после коагуляционной обработки может содержаться от 0,05 до 0,5 мг/л остаточного алюминия в виде растворенных соединений. При этом растворимость гидроксидов алюминия в первом из указанных диапазонов возрастает при уменьшении величины pH, а во втором — при ее увеличении. Принято считать, что основные соединения, которые могут находиться в равновесии с гидроокисью алюминия  $Al(OH)_3$  при pH < 6 —  $Al^{3+}$ ,  $Al(OH)_2^{2+}$  и  $Al_8(OH)_{20}^{4+}$ , а при pH > 6 —  $Al(OH)_4^-$ .

Так как на растворимость соединений алюминия влияют и цветность и pH воды после коагуляции, одновременное воздействие этих факторов показано на рис. 6.9, где концентрация остаточного растворенного алюминия в зависимости от pH представлена в виде семейства кривых, соответствующих различной остаточной цветности воды. В результате видно, что присутствие органических веществ, обуславливающих цветность воды, может повысить раство-



римость продуктов гидролиза коагулянта и значительно сузить (до 6,5—7,0) диапазон значений рН, в котором растворимость этих соединений минимальна. При этом, чем больше остаточная цветность воды, тем выше концентрация растворенного алюминия, и тем уже диапазон оптимальных значений рН.



Рис. 6.9. Зависимость концентрации растворенного алюминия от рН воды после коагуляции

Водосточник	Исходная цветность, град	рН после коагуляции
р. Сходня	22,5	7,9
р. Сходня	75	7,2—7,4
р. Сев. Двина	120	6,2—6,4
р. Кола	40	6,0
Онежское оз.	200	6,4—6,9

Таким образом, для выполнения нормативных требований по остаточному алюминию необходимо осуществлять более глубокую очистку воды по снижению как мутности, так и цветности. Кроме того, процесс коагуляции следует проводить при оптимальных значениях рН для уменьшения количества растворенных соединений алюминия в очищенной воде.

## 6.2. Возможности интенсификации и совершенствования процесса коагуляции

Анализ опыта работы водопроводных станций и полученные нами и другими исследователями данные показывают, что для большинства станций, а практически для всех действующих станций и очистных сооружений, основной проблемой и главной технологической задачей являются совершенствование и оптимизация режима реагентной обработки воды с применением коагулянтов.

Основными факторами, существенно влияющими на интенсификацию процесса коагуляции примесей воды в объеме, являются следующие.

- С увеличением дозы коагулянта до оптимальной скорости хлопьеобразования возрастает.
- Способствуют этому процессу также повышение температуры и перемешивание воды. В зимнее время при низких температурах очистка воды сульфатом алюминия протекает неудовлетворительно. Коагулирование примесей воды в образующейся при гидролизе коагулянта коллоидной системе — самый медленный процесс, тормозящий хлопьеобразование и осаждение гидроксида алюминия. Это объясняется тем, что при низких температурах снижаются подвижность коллоидных частиц и частота их соударений, обуславливающих агломерацию. Снижение температуры воды от 20 до 1 °С увеличивает период коагуляции примерно в 1,5 раза вследствие уменьшения кинетической подвижности примесей воды и повышения ее вязкости, которая при температуре 1 °С примерно в 2 раза выше.

По Е. Д. Бабенкову [5] — подвижность примесей воды и продуктов гидролиза коагулянта при низких температурах больше всего снижается в результате увеличения степени их гидратации, способствующей росту размеров частиц. С возрастанием степени гидратации частиц число их соударений уменьшается, что приводит к стабилизации коагуляции, и система становится более устойчивой.

• Подвижность примесей воды в процессе коагуляции увеличивается при ее перемешивании. Так, улучшение хлопьеобразования наблюдается при улучшении работы гидравлических смесителей за счет удлинения времени перемешивания и других факторов. Но самым существенным этапом, позволяющим значительно повысить эффективность хлопьеобразования и последующего осветления взвеси, является механическое перемешивание обрабатываемой воды с введенным в нее коагулянтом.

• Предварительная обработка воды окислителями также повышает эффективность коагуляции. Это объясняется тем, что окислители разрушают гидрофильные органические соединения, стабилизирующие дисперсные примеси воды, и облегчают условия протекания коагуляции. Особенно эффективно применение окислителей при обработке маломутных цветных вод. При этом возрастает гидравлическая крупность хлопьев коагулированной взвеси и интенсифицируется осветление воды.

На основании изложенного возможные методы улучшения очистки воды коагулированием могут быть разделены на несколько групп:

а) изменение режима реагентной обработки в пределах используемого на станции сульфата алюминия и ПАА;

б) добавление к существующей технологии дополнительных реагентов или минеральных и сорбционных материалов;

в) рециркуляция коагулированной взвеси в зону введения коагулянта;

г) перемешивание воды азрацией или использование в смесителях и камерах хлопьеобразования механического смешения реагентов с водой;

д) замена сульфата алюминия и ПАА на другие более эффективные в данных условиях коагулянты и флокулянты;

е) применение окислителей: хлора, озона и др.;

ж) использование физических методов в дополнение к реагентной обработке воды: обработка воды в магнитном и электрическом поле; воздействие ультразвуком или ультрафиолетовым облучением и др.;

з) улучшение или изменение технического и технологического состояния очистных сооружений, в частности, отстойников и фильтров, а также режима и условий их эксплуатации.

Как видно из перечисленного неполного перечня мероприятий, часть из них выполняется в пределах существующей технологии, другие требуют определенной (небольшой или существенной) реконструкции сооружений или изменения технологической схемы обработки, и, наконец, некоторые предложения требуют нового строительства и применения нового технологического оборудования.

Решения по применяемым методам должны приниматься в зависимости от качества исходной воды и приоритетных видов ее загрязнений, для которых подбираются оптимальные условия коагулирования (вид и доза коагулянтов и флокулянтов, место и порядок их введения, предварительное окисление хлором или другими окислителями, режимы перемешивания и пр.), которые позволяют обеспечить необходимую степень очистки воды в процессе ее осветления.

Из этих же условий, а также из анализа работы водопроводной станции и результатов технологических изысканий, проведенных на объекте, выбираются и дополнительные методы обработки воды.

Ниже остановимся подробнее на каждом из методов совершенствования процесса реагентной обработки воды коагулированием.

### *6.2.1. Изменение способа реагентной обработки воды*

А. Обычно коагулянт вводится в обрабатываемую воду непрерывно одной полной дозой в определенную точку: в двухступенных схемах — в начало смесителя, а в одноступенных — в непосредственной близости от фильтрующей загрузки.

Со времени использования реагентной обработки воды на многих водопроводных станциях применялись различные

способы введения коагулянта, позволяющие уменьшить расход реагента и соответственно уменьшить эксплуатационные расходы на его приобретение.

К таким способам относились:

- фракционное введение реагента;
- раздельное (концентрированное) коагулирование;
- прерывистое коагулирование;
- работа на дефицитных дозах коагулянта и пр.

*Фракционное (дробное) коагулирование* предусматривает добавление расчетного количества коагулянта к воде не одной, а двумя или несколькими последовательными порциями через определенные промежутки времени.

Технологический эффект, достигаемый при фракционировании дозы коагулянта, с кинетической точки зрения можно объяснить образованием в результате гидролиза первых порций коагулянта твердой фазы, выступающей в роли центров хлопьеобразования при гидролизе последующих порций коагулянта, что приводит к более полному использованию промежуточных комплексов алюминия. Так, например, полностью доза коагулянта может быть введена несколькими порциями в различные точки смесителя или перед поступлением воды в камеру хлопьеобразования.

Фракционирование дозы коагулянта может обеспечить более эффективное снижение цветности и уменьшение концентрации остаточного алюминия.

*Раздельное (концентрированное) коагулирование* заключается в дозировании всего количества коагулянта лишь в часть обрабатываемой воды. После смешения с коагулянтот поток обработанной воды объединяют (обычно в начале камер хлопьеобразования) с потоком остальной, некоагулированной воды.

При использовании этого метода может быть получена экономия коагулянта до 20 % и достигнуто более глубокое снижение остаточного алюминия и дополнительное уменьшение мутности и цветности воды. Преимущества концентрированного коагулирования объясняются тем, что распределение всего коагулянта в части воды создает условия

для ускоренного хлопьеобразования, а после смешения с необработанной водой хлопья, сформированные в условиях повышенной концентрации коагулянта, способствуют лучшему протеканию процессов осветления воды.

*Прерывистое (периодическое) коагулирование* основано на более полном использовании свойств продуктов гидролиза коагулянта при их избытке. Оно содержит элементы метода концентрированного коагулирования и состоит в чередовании периодов подачи в обрабатываемую воду увеличенных доз коагулянта с периодами полного прекращения коагулирования. Например, в течение 2 ч воду коагулируют необходимой дозой, затем 2 ч воду не коагулируют; при этом уменьшается расход коагулянта на 30—40 %, а также уменьшается нагрузка на очистные сооружения.

*Работа на дефицитных дозах коагулянта* наиболее эффективна в случаях контактной коагуляции воды и приводит, естественно, к экономии коагулянта, порой за счет некоторого ухудшения качества воды.

Все эти предлагаемые методы не всегда дают положительные результаты и существенно зависят от pH воды. Так, при обработке малоцветных вод при высоких значениях pH (от 7,6 до 8) фракционное введение коагулянта приводит к образованию растворенных продуктов гидролиза алюминия, обладающих малой величиной положительного заряда или даже отрицательным зарядом, что затрудняет взаимодействие продуктов гидролиза с отрицательно заряженными гумусовыми веществами и образование твердой фазы [105].

Метод концентрированного коагулирования также существенно зависит от свойств обрабатываемой воды. Повидимому, в условиях низких значений pH могут формироваться развитые полимерные структуры, на которые дальнейшее повышение pH (за счет смешения с основным потоком воды) не оказывает заметного действия.

Ранее (до 1995—1999 гг.) на многих водопроводных станциях проводилось периодическое коагулирование воды



или применялся один из способов, указанных выше. Однако в то время основными ингредиентами, определяющими степень и глубину очистки воды при коагулировании, являлись в основном мутность или цветность воды и концентрация остаточного алюминия.

При таком проведении коагулирования не всегда удавалось обеспечить значения цветности воды ниже 20 град, и требовалось получение разрешения Санэпидстанции на повышение величины цветности до 30—35 град.

Во многих случаях в зимний период при небольших значениях мутности и цветности (до 1,5—2 мг/л и 20—25 град) на ряде станций коагулирование вообще прекращалось, так как вода по этим показателям отвечала требованиям действовавшего тогда ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая».

Анализ качества очищенной воды при работе в режиме прерывистого коагулирования показал, что величина показателя ПО в зависимости от периода года изменялась от 5,2 до 7,5 мг  $O_2$ /л, а концентрация остаточного алюминия достигала предела ПДК и составляла 0,45—0,48 мг/л.

С введением в действие СанПиН 2.1.4.1074.01 и появлением ПДК на показатель перманганатной окисляемости при обычной схеме обработки воды выполнить новые требования на водопроводных станциях без изменения режима очистки воды, как правило, стало невозможно.

Как было установлено, чаще всего диктующими показателями качества в процессе осветления воды коагулированием были не только цветность и мутность, но и концентрация остаточного алюминия или перманганатная окисляемость. Поэтому вопреки существующей ранее практике экономии коагулянта и стремлению работать на меньших дозах обеспечение норматива по перманганатной окисляемости требует порой повышения необходимых доз коагулянта.

Кроме того, введение новых микробиологических показателей и повышенных требований к ним также создает необходимость проведения постоянного коагулирования воды, даже в зимнее время, повышения глубины очистки

воды по всем показателям для обеспечения надежности работы водопроводной станции в целом.

Б. Практически на всех водопроводных станциях в дополнение к коагулянту применяют полиакриламид. В соответствии со СНиП и «Технологическими указаниями на применение ПАА» [133, 344] разрыв во времени между введением реагентов должен составлять 2 мин. Однако на практике оба реагента часто вводят практически в одну точку. В результате такого введения эффективность хлопьеобразования существенно снижается.

Поэтому для эффективного использования флокулянта должно быть обеспечено определенное время между начальным моментом коагуляции и введением флокулянта в соответствии с рекомендуемым разрывом во времени. Этот промежуток времени может изменяться в зависимости от качества исходной воды, в основном от ее мутности, температуры и технологического режима обработки воды на конкретной водопроводной станции. Устанавливается он путем пробного коагулирования и флокулирования.

В. При обработке маломутных цветных вод и особенно в холодные периоды года хлопьеобразование протекает вяло, хлопья образуются мелкие, практически не оседающие в отстойниках. В таких случаях вся нагрузка ложится на фильтровальные сооружения, в результате уменьшается продолжительность фильтрационных циклов и увеличивается количество промывок, качество воды при этом — не всегда удовлетворительное.

В эти периоды года на станциях целесообразно использовать метод контактной коагуляции на фильтрах с введением реагента непосредственно перед фильтрующей загрузкой. Подача раствора реагента может осуществляться перед каждым фильтром или в сборный канал (или трубопровод), подающий воду из отстойников.

Для повышения грязеемкости фильтрующей загрузки, улучшения качества очищенной воды и стабилизации работы сооружений нами рекомендуется [127, 130] проведение контактной коагуляции на фильтрах с устройством двухслойной загрузки; в качестве верхнего слоя можно исполь-

зовать керамзит, антрацит и другие пористые материалы крупностью 1—5 мм при высоте 0,4—0,5 м и общей высоте фильтрующего слоя до 1,8 м.

Это позволит также уменьшить темп прироста потерь напора в загрузке фильтров и повысить продолжительность фильтрационных циклов.

### 6.2.2. Регулирование величины рН воды

Как было показано в разделе 6.1, рН исходной воды существенно влияет на процесс коагулирования и качество очищенной воды в отношении остаточного алюминия, особенно при использовании сульфата алюминия.

В случае, если очищенная вода содержит остаточный алюминий в виде растворимых комплексов с органическими веществами в области значений рН 7,3—7,7, то с помощью незначительного увеличения дозы коагулянта можно добиться дополнительного снижения цветности и одновременно снижения рН. Это будет способствовать уменьшению растворимости продуктов гидролиза сульфата алюминия и соответственно уменьшится концентрация остаточного алюминия (рис. 6.10).

При низких значениях рН, характерных для коагуляционной обработки воды с малой исходной щелочностью, также возможно образование растворимых комплексных соединений алюминия с органическими веществами, которые не задерживаются фильтрующей загрузкой. Поэтому при очистке цветных вод с низкой исходной щелочностью необходимо тщательно подбирать дозы коагулянта и подщелачивающего реагента (извести или соды) в целях глубокого снижения цветности при значениях рН 6,1—6,4, обеспечивающих минимальную растворимость гидроксидов алюминия.

Так, качество воды р. Ветлуги в паводковый период характеризовалось низкой величиной щелочности — не более 0,6 мг-экв/л и высокой цветностью — до 240 град. Для ее очистки необходимая доза коагулянта достигала 16—20 мг/л.

Без подщелачивания и при дозе коагулянта 16 мг/л показатель рН воды снижался до 4,6. Цветность воды уменьшалась до 23 град, значения перманганатной окисляемости не превышали ПДК, мутность была равна нулю. Однако концентрация остаточного алюминия составляла 1,0 мг/л.

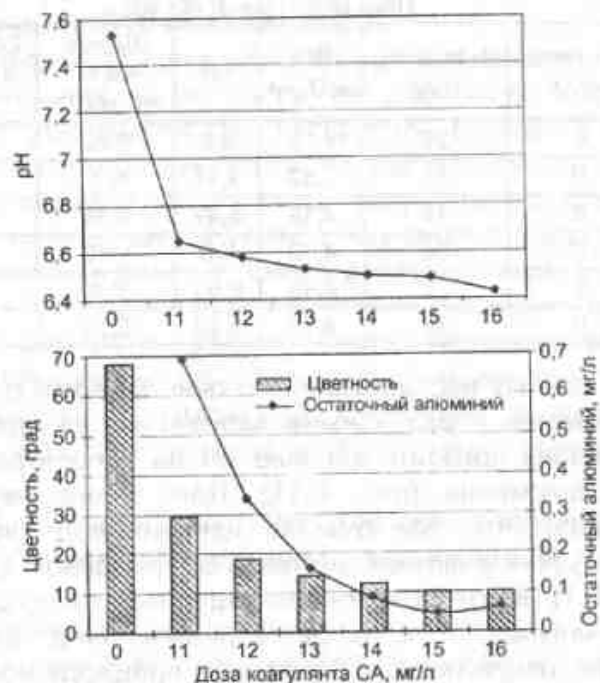


Рис. 6.10. Изменение цветности и остаточного алюминия при увеличении дозы сульфата алюминия и уменьшении рН воды

Пробное подщелачивание воды содой показало, что существует оптимальная доза соды для данных условий, при которой все определяемые показатели качества воды имеют минимальные значения, в том числе и остаточный алюминий (табл. 6.1).

Как видно из представленных данных, с повышением дозы соды более 10—20 мг/л повышаются соответственно щелочность и рН воды, что приводит к ухудшению качества очищенной воды по цветности и перманганатной окисля-

мости. Концентрация остаточного алюминия также увеличивается с ухудшением показателей качества воды.

Таблица 6.1

Влияние дозы соды на качество очищенной воды коагулированием

Доза соды, мг/л	Показатели качества воды					
	Мутность, мг/л	Цветность, град	ПО, мгО <sub>2</sub> /л	pH	Щелочность, мг-экв/л	Остаточный алюминий, мг/л
0	0	22	4,18	4,6	0,02	0,376
10	0	15	3,52	4,97	0,1	0,05
<b>20</b>	<b>0</b>	<b>15</b>	<b>4,16</b>	<b>5,49</b>	<b>0,16</b>	<b>0,014</b>
30	0	20	4,32	5,8	0,26	0,03
40	0	22	4,96	6,06	0,4	0,02
50	0	25	4,64	6,23	0,54	0,036

Анализ данных исследований по очистке воды р. Ветлуги коагулированием с различными вариантами ее подщелачивания позволил показать влияние pH на концентрацию остаточного алюминия (рис. 6.11). Полученные результаты подтверждают, что при очистке цветных вод существует достаточно узкий диапазон значений pH (в данном случае — от 5,4 до 6,7), в котором концентрация остаточного алюминия минимальная, т. е. в растворенном виде алюминий практически отсутствует. Проведение процесса коагулирования вне данного диапазона приводит к увеличению растворенного остаточного алюминия в очищенной воде и к ухудшению качества воды по цветности и ПО.

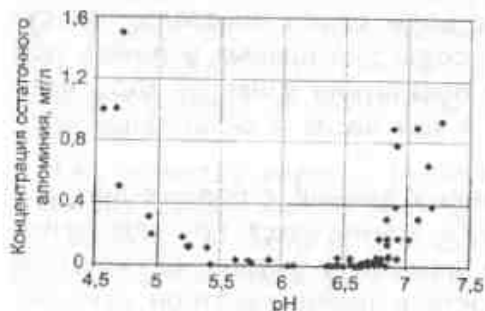


Рис. 6.11. Изменение концентрации остаточного алюминия при изменении показателя pH воды.

В данном случае подщелачивание следует проводить в два этапа: до коагулянта и после коагулянта перед отстойником или даже перед фильтрами. Первая доза обеспечивает проведение коагулирования гумусовых веществ при оптимальных низких значениях pH 5,5—6, а вторая способствует ускорению образования осадка гидроксида алюминия и улучшению осветления воды.

В некоторых случаях наиболее целесообразно проводить подщелачивание воды после ее обработки коагулянтном. При этом достигается более глубокое снижение цветности и соответственно концентрации растворенного алюминия при меньших дозах коагулянта. Полученный эффект объясняется тем, что при введении коагулянта в воду до подщелачивающего реагента взаимодействие гидрокомплексов алюминия с гумусовыми веществами проходит при благоприятных для этого процесса низких значениях pH. Последующее повышение pH снижает растворимость образовавшихся продуктов гидролиза алюминия, и они в виде твердой фазы задерживаются на очистных сооружениях.

### 6.2.3. Применение минеральных замутнителей или сорбционных материалов

Для улучшения протекания коагуляционных процессов, особенно при обработке маломутных цветных вод, в исходную воду добавляются различные материалы, в частности, осуществляется замутнение воды, например глиной.

Внесение искусственных замутнителей, частицы которых играют роль дополнительных центров коагуляции, способствует повышению скорости хлопьеобразования при очистке маломутных вод. Замутнение резко усиливает флокулирующее действие полиэлектролитов.

Одновременно с этим происходит утяжеление хлопьев коагулированной взвеси, увеличение их гидравлической крупности. При замутнении воды большую роль играет степень дисперсности вводимых частиц. Существенно (на 30—60 %) ускоряется процесс хлопьеобразования при добав-



лении частиц размером меньше 3 мкм. Рекомендуется вводить в воду высокодисперсную глинистую взвесь в количестве 10 мг/л.

Однако в настоящее время широкого распространения этот метод не получил, возможно, в связи с необходимостью дозирования в воду еще одного реагента. Кроме того, сам принцип увеличения количества взвешенных веществ при их отсутствии в исходной воде является несколько порочным, так как целесообразнее найти более приемлемый и эффективный способ очистки маломутной воды.

Для повышения прочности и плотности хлопьев, их адгезионной и сорбционной способности предлагаются различные методы.

В НИКТИ ГХ (Украина) разработан способ очистки природной воды, основанный на введении порошкообразного природного алюмосиликата (клиноптилолита, сапонита и др.) как дополнительного реагента к раствору алюминий-содержащего коагулянта для интенсификации процесса коагулирования [134].

Этот способ заключается в том, что порошкообразный природный силикат предварительно смешивается с раствором сульфата алюминия в весовом соотношении (сульфат алюминия в пересчете на  $Al_2O_3$  к природному силикату), равном 1:(0,5—2). Полученный реагент вводится в обрабатываемую воду, далее она очищается как обычно в отстойниках и фильтрах.

При введении в водный раствор коагулянта природного силиката происходит замещение катионов  $Na^+$  и  $Ca^{2+}$ , находящихся в структуре алюмосиликата, на ионы  $Al^{3+}$ , что обеспечивает появление дополнительных центров коагуляции дисперсных примесей, а также создание сорбционных центров для удаления гумусовых веществ. Кроме того, введение пылевидных фракций клиноптилолита и частичный гидролиз препятствуют быстропотекающим процессам полимеризации основных солей алюминия, которая, как известно, ведет к уменьшению удельной поверхности образующегося гидроксида алюминия.

В результате предварительного введения дисперсных минералов в раствор коагулянта достигается пролонгирующее действие ионов  $Al^{3+}$  на очищаемую систему.

Обработка воды таким способом обеспечивает эффективное осаждение хлопьевидных продуктов гидролиза с сорбированными на них различными загрязнениями и более полное использование соединений алюминия в самом процессе гидролиза. Это приводит к глубокой очистке воды от гумусовых и взвешенных веществ при одновременном снижении остаточных концентраций алюминия.

В условиях Днепровского водопровода г. Киева проведена опытно-промышленная проверка эффективности применения порошкообразного клиноптилолита при коагулировании воды р. Днепра. В опытах применялась промышленная партия клиноптилолитовой пыли фракцией менее 0,25 мм. Порошкообразный материал вводился в водный раствор коагулянта в одном из расходных баков.

Для сравнения в технологической схеме станции были выделены две параллельные независимые линии, включающие аналогичные по конструкции смесители и горизонтальные отстойники с одинаковым временем пребывания воды. В сооружениях одной линии вода обрабатывалась только сульфатом алюминия, а другой — рассмотренным выше смешанным коагулянтом.

Результаты испытаний показали, что качество воды при обработке суспензией порошкообразного клиноптилолита в водном растворе коагулянта существенно выше. Эффект очистки по мутности увеличился на 60—68 %, по цветности — на 31 %, по остаточному алюминию после отстаивания — на 46—55 % и после фильтрования — на 50—53 %.

При обработке воды только раствором сульфата алюминия содержание остаточного алюминия после фильтрования достигало 0,2 мг/л. При обработке воды сульфатом алюминия с добавкой порошкообразного клиноптилолита остаточные концентрации алюминия отмечались на уровне нормативных значений уже после отстаивания, а при последующем фильтровании концентрация остаточного алюминия не превышала 0,1 мг/л.

Таким образом, на основании проведенных исследований и выполнения производственных испытаний авторы работы [134] В. Т. Остапенко, А. Е. Кулишенко, Н. А. Синельник и Т. Б. Кравченко считают, что порошкообразный клиноптилолит является перспективным материалом в технологии очистки воды, а использование клиноптилолита в качестве интенсифицирующей добавки к коагулянту улучшает процессы осветления воды в отстойных сооружениях и улучшает физико-химические показатели качества очищенной воды.

Предлагаемая технология легко применима на действующих водоочистных станциях и не требует дополнительных капитальных вложений в реконструкцию реагентного хозяйства и принятой технологической схемы очистки.

В практике водоснабжения в кратковременные периоды ухудшения качества воды в связи с паводковыми явлениями или залповыми аварийными сбросами сточных вод или других химических загрязнений в водоисточник (примерно до 60 суток) принята и периодически проводится обработка воды порошкообразным активным углем (ПАУ). Введение ПАУ решает в основном проблемы пиковой дезодорации воды и позволяет устранить из воды привкусы и запахи, снизить окисляемость и уменьшить концентрацию органических загрязнений.

В такие периоды использования активного угля, который также можно рассматривать как замутнитель воды, повышается эффективность реагентной обработки воды и по основным показателям.

В случаях применения подщелачивания воды известью перед отстойниками известь также может рассматриваться как замутнитель, способствующий хлопьеобразованию из-за введения дополнительной взвеси, а не только из-за повышения рН воды.

Одним из косвенных методов добавления в природную воду дополнительной взвеси является реализация метода повторного использования осветленной промывной воды и ее подача в «голову» очистных сооружений перед смесителем.

Благодаря изменению режима реагентной обработки промывных вод можно регулировать подачу с промывной водой различного количества взвешенных загрязнений. Так, например, в зимний период, когда мутность речной воды минимальна, можно осуществить неглубокую очистку промывных вод, и в речную воду подавать большее количество взвешенных веществ. А в период паводка, наоборот, следует стремиться к максимальной степени очистки промывных вод, чтобы не увеличивать и без того достаточно высокое содержание взвеси в исходной воде.

В любом случае наличие остаточного алюминия в осветленной промывной воде будет также способствовать некоторому повышению эффективности реагентной обработки воды, а в ряде случаев позволяет уменьшить дозу коагулянта.

#### 6.2.4. Использование физических методов

Начиная с 50-х годов множество исследований, работ и предложений относилось к применению физических методов интенсификации процесса коагулирования. Детально эти методы рассмотрены в работе Е. А. Бабенкова [5] с большим количеством библиографических материалов.

Остановимся вкратце на описании некоторых физических методов. К ним относятся:

- *Магнитная обработка.* Омагничивание воды изменяет свойства продуктов гидролиза алюминия [135].

Основные преимущества метода: способствует повышению прочности и гидравлической крупности хлопьев коагулированной взвеси;

позволяет увеличить производительность сооружений первой ступени очистки;

достигается экономия коагулянта и др.

Этот метод нашел достаточно широкое применение в теплоэнергетике при подготовке воды для питания котлов.

В некоторых работах предлагается проводить магнитную обработку раствора коагулянта.

• *Наложение электрического поля.* Эффекты, наблюдаемые при наложении электрического поля на дисперсную систему, коагулирующую под действием электролитов, иногда трудно отделить от побочных процессов, сопровождающих электролиз, — анодного растворения металла, выделения газов и др. Тем не менее специалистами высказывается мнение о наличии интенсифицирующего действия электрического поля на коагуляцию дисперсных примесей воды и продуктов гидролиза коагулянтов [136].

Известно, что электрическое поле интенсифицирует процесс коагуляции, причем этот эффект наблюдается при напряжении на электродах, меньшем, чем напряжение разложения воды. Воздействие электрического поля на процесс коагулирования воды сводится к ускорению процессов формирования и осаждения коагулированной взвеси, полученной при обработке сульфатом алюминия природных вод.

Исследования по изучению влияния электрического поля на процесс очистки воды были проведены Б. Н. Фрогом и др. в лабораторных условиях при использовании сульфата алюминия и хлорида железа [137]. Лабораторные опыты проводили в мерных стеклянных цилиндрах емкостью по 1 л, в одном из них без электрического поля (эталон), в другом — в условиях воздействия электрического поля. Нижний электрод (катод) располагали у дна цилиндра, верхний размещали в воде вблизи поверхности.

В опытах с электрическим полем происходили более быстрое осветление воды, образование осадка и стабилизация его уровня. При этом эффект осветления воды увеличивался на 25—35 %. Результаты экспериментальных исследований показали, что наибольшее влияние на свойства обрабатываемой воды оказывает постоянное (а не прерывистое) наложение электрического поля в течение всего процесса коагулирования воды; при этом повышается эффективность и ускоряется процесс очистки воды. Кроме того, увеличение массового содержания твердой фазы в осадке коагулянта уменьшает расход воды на удаление осадка и облегчает его последующую утилизацию.

Авторами [137] были также проведены исследования по реагентной модификации фильтрующей загрузки. Было установлено, что образующаяся в электрическом поле модифицирующая пленка на зернах загрузки обладает вдвое большей силой адгезии, чем в отсутствие поля. В результате уменьшается удельный объем осадка и снижаются темпы роста гидравлического сопротивления в загрузке. В итоге примерно вдвое увеличиваются грязеемкость фильтра, длительность фильтроциклов и периоды между повторными модификациями загрузки фильтра, а это, в свою очередь, влечет за собой соответствующее уменьшение расхода реагентов на модификацию загрузки фильтров, снижение расходов воды на их промывку, а также электроэнергии.

Полученные результаты, естественно, должны быть доведены до условий опытной проверки и промышленного применения, а также экономического обоснования дополнительных затрат.

• *Воздействие ультразвуком.* Как и при наложении электрического и магнитного полей, применение ультразвука не всегда дает положительные результаты. Например, озвучивание с частотой 1 МГц каолиновой суспензии, обработанной сульфатом алюминия, привело к дополнительному снижению остаточной мутности суспензии в 2,5—3,2 раза. В других экспериментах озвучивание воды (0,5 и 8 кГц), содержащей коагулированную взвесь, дало те же результаты, что и простое механическое перемешивание, произведенное в оптимальном режиме.

Предложенные многочисленными способами применения ультразвука на водоочистных сооружениях предусматривают обработку воды после добавления в нее раствора коагулянта.

Эффективность указанных методов однозначно не подтверждается. С одной стороны, исследователи показывают, что они улучшают процесс очистки воды, в других работах даются противоположные результаты.

Таким образом, краткая информация по использованию физических методов свидетельствует о следующем:

имеющиеся данные носят противоречивый и неоднозначный характер;



применение этих методов требует повышения расхода электроэнергии, дополнительного использования аппаратуры и установок;

усложняются условия эксплуатации реагентного хозяйства.

Может быть, поэтому указанные методы не нашли применения в технологии очистки воды в коммунальном хозяйстве.

### **6.2.5. Механическое смешение реагентов с водой. Конструкции механических устройств**

Значительное влияние на процесс образования хлопьев и их свойства оказывают интенсивность и продолжительность смешения реагентов с водой, а это в свою очередь влияет на процесс осветления и качество очищенной воды.

Процесс осветления воды, начиная с образования мицелл, хлопьеобразования и их осаждения, можно разделить на несколько этапов. На первом этапе, после введения коагулянта в очищенную воду, происходит его гидролиз с образованием мицелл и последующим их агрегированием в более крупные шарообразные частицы золя. Появляется опалесценция. Этот период называется стадией скрытой коагуляции. Затем начинается период построения цепочных структур и образования огромного количества мельчайших хлопьев, которые агрегируются в более крупные и, достигнув определенных размеров, под действием силы тяжести оседают. Наступает стадия седиментации. В действительности эти две стадии не следуют одна за другой, а перекрываются, осложняя процесс осветления.

Для того чтобы достигнуть эффективной очистки воды от коллоидно-взвешенных веществ, необходимо обеспечить наиболее благоприятные условия для гидролиза коагулянтов и максимальную скорость образования мицелл и агрегатов золя на первом этапе, а также максимальную скорость образования достаточно крупных и быстрооседающих хлопьев на последующем этапе.

Для быстрого осаждения хлопьев в отстойниках они должны быть размером около 0,15—0,3 см и иметь боль-

шую плотность, которая зависит от относительного содержания в их структуре твердых частиц.

Хлопья чистого гидроксида алюминия содержат мало твердых частиц и имеют рыхлую структуру с большим содержанием жидкости. Рыхлые и легкие хлопья образуются при коагулировании цветных и маломутных вод, а более плотные и тяжелые образуются при повышенном содержании взвеси в обрабатываемой воде.

Одним из наиболее эффективных методов интенсификации процесса коагулирования воды является повышение интенсивности перемешивания коагулянта с водой. В этом случае увеличивается плотность хлопьев и ускоряется процесс их осаждения. Как показывает опыт эксплуатации очистных сооружений водопроводных станций, перемешивание, осуществляемое в гидравлических смесителях и камерах хлопьеобразования, явно недостаточно эффективно для создания оптимальных условий осветления воды.

Важным этапом при очистке воды коагулированием является нейтрализация коллоидных частиц загрязнений. Время коагуляции очень мало, и наилучшие результаты достигаются при условии, когда коллоидные частицы полностью нейтрализованы до образования хлопьев в форме гидроксида металла. Поэтому считается, что назначение смесителей состоит не только в равномерном распределении коагулянта в обрабатываемой воде до момента образования хлопьев во всей массе, но и в чрезвычайно быстром смешении, чтобы коагулянт вступил в контакт с максимальным числом частиц загрязнений до того, как закончатся реакции гидролиза и полимеризации. Это имеет решающее значение для последующих стадий коагуляции и экономии коагулянта.

Гидравлические смесители, как правило, не обеспечивают оптимального протекания процессов коагуляции, особенно в холодное время года из-за повышения вязкости дисперсионной среды и уменьшения степени гидролиза коагулянта, в результате очищенная вода не всегда соответствует стандарту по мутности и остаточному алюминию.

Другим важным этапом, от которого зависит эффективность очистки воды, обработанной минеральными и органическими реагентами, является процесс образования хлопьев (ортокинетическая коагуляция), протекающий в камерах хлопьеобразования.

Равномерное медленное перемешивание в камере хлопьеобразования благоприятствует укрупнению мелких хлопьев, способных сравнительно легко осаждаться в отстойниках.

Общим недостатком всех гидравлических камер хлопьеобразования является то, что в них невозможно изменить интенсивность турбулизации потока при изменении условий, например, при понижении температуры воды или ее состава. Они не позволяют регулировать интенсивность перемешивания и влиять на эффективность хлопьеобразования при изменении качества исходной воды по сезонам года, а иногда и в течение более короткого времени.

Использование механических мешалок в смесителях и камерах хлопьеобразования позволяет поддерживать устойчивый режим хлопьеобразования независимо от расхода обрабатываемой воды, а также регулировать режим перемешивания при изменении качества воды. Они повышают эффективность очистки воды благодаря обеспечению оптимальной интенсивности смешения, т. е. способствуют образованию более плотных хлопьев, отделению углекислоты и ускорению процесса седиментации.

Целесообразность применения механических мешалок подтверждается опытом работы водоочистных станций за рубежом.

Представления об ортокинетической коагуляции в области очистки воды основаны на работах Кэмп [138, 139]. Кэмп предложил характеризовать работу сооружений по смешению коагулянта с водой средним градиентом скорости  $G$ . Выводы Кэмп основаны на допущении, что в камерах смешения действует механизм градиентной коагуляции, и можно пренебречь турбулентным характером движения воды и отличием градиентов скорости в различных точках камеры хлопьеобразования. Принято, что в установившихся условиях работы смесительного устройства затраты энергии

имеют средний градиент скорости, соответствующий среднему значению функции диссипации энергии в камере. В этом случае значение градиента скорости вычисляется по формуле

$$G = 10 \sqrt{\frac{w}{\mu}}, \text{ с}^{-1},$$

где  $w$  — энергия, затрачиваемая на перемешивание воды, отнесенная к единице объема воды в камере хлопьеобразования,  $\text{кг}\cdot\text{м}/\text{м}^3\cdot\text{с}$ ;

$\mu$  — абсолютная вязкость воды,  $\text{П}(\text{г}\cdot\text{с}/\text{см}^2)$ .

Так как время пребывания воды в камере хлопьеобразования  $T$  (в секундах) также влияет на процесс формирования хлопьев, Кэмп вводит безразмерный критерий данного процесса  $GT$  (критерий Кэмп), который характеризует работу, затрачиваемую на перемешивание воды в камерах смешения. Согласно Кэмп, скорость формирования хлопьев пропорциональна величине  $G$ : чем больше величина этого критерия, тем меньше требуется времени для формирования хлопьев.

Для характеристики скорости коагуляции Кэмп пользуется модификацией уравнения Смолуховского для бидисперсной системы

$$N = \frac{1}{6} N_1 \cdot N_2 \cdot G \cdot (d_1 + d_2)^3,$$

где  $N_1$  и  $N_2$  — количество частиц;

$d_1$  и  $d_2$  — диаметр частиц.

Обработав материал наблюдений за работой механических камер хлопьеобразования на действующих в США водоочистных станциях, Кэмп установил, что величина  $G$  при лопастных мешалках должна находиться в пределах  $25—65 \text{ с}^{-1}$ , а безразмерный критерий  $GT$  должен быть в пределах  $4 \cdot 10^4 \div 21 \cdot 10^4$  (при температуре воды  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Известно, что распределение скоростей диссипации энергии в объеме перемешиваемой воды неодинаково и зависит

от сооружения: в механических смесителях основная часть энергии сосредоточена в окрестностях лопастей мешалок, в гидравлических смесителях — вблизи неподвижных перегородок, и не более 20 % приходится на остальную массу воды. Тем не менее использование расчетных значений  $G$  для оценки гидродинамики перемешивающих устройств дает практически приемлемые результаты.

Наиболее распространенным методом расчета  $G$  для механических смесителей является расчет градиента скорости по мощности  $P$ , затрачиваемой на перемешивание объема воды  $V$ .

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}}$$

Для механических мешалок мощность рассчитывается по формуле

$$P = K_p \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d_m^5$$

где  $K_p$  — безразмерный комплекс, называемый критерием мощности, зависит от типа смесителя;

$\rho$  — плотность воды,  $\frac{\text{Па} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^2}$ ;

$n$  — скорость мешалки,  $\text{с}^{-1}$ ;

$d_m$  — диаметр мешалки, м.

Для гидравлических перемешивающих устройств — по формуле

$$P = \frac{\Delta H \cdot Q}{V}$$

где  $\Delta H$  — потеря напора, Па;

$Q$  — расход воды через перемешивающее устройство,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

По данным различных исследователей, средние значения критерия Кэмпбелла для смесителей составляют  $5 \cdot 10^3 \div 1,8 \cdot 10^4$ . Оптимальный режим смешения зависит от качества обраба-

тываемой воды (мутность, цветность, содержание органических и неорганических загрязнений и т. д.) и вида реагента (минеральный коагулянт или катионный полиэлектролит).

Смешение реагентов с водой должно осуществляться до значений градиента скорости  $G$ , вызывающих частичное диспергирование коагуляционных структур в момент их возникновения (скрытый период коагуляции). Это в свою очередь приводит к увеличению плотности структур, отделению углекислоты и ускорению седиментации образующихся хлопьев.

Чрезмерное, интенсивное и длительное перемешивание воды в смесителе может привести к необратимому разбиванию микрохлопьев, резкому ухудшению адгезионных свойств взвеси и замедлению последующего хлопьеобразования. Поэтому интенсивность быстрого перемешивания должна быть установлена с учетом качества исходной воды.

На практике в смесителях значения скоростного градиента поддерживаются в пределах  $300\text{—}350 \text{ с}^{-1}$ , а перемешивание осуществляется в течение  $1\text{—}2$  мин. Увеличение  $G$  до  $500\text{—}1000 \text{ с}^{-1}$  позволяет сократить период быстрого перемешивания до  $10\text{—}30$  с (т. е. увеличить нагрузки на смеситель).

Скорость движения воды в камерах хлопьеобразования, отвечающая минимальной остаточной мутности воды, лежит в пределах  $0,12\text{—}0,7$  м/с. Для камер хлопьеобразования критерий Кэмпбелла  $GT$ , как показывает практика, должен составлять  $1 \cdot 10^4 \div 2 \cdot 10^5$ . Большие значения  $G$  относятся к водам с высоким содержанием грубодисперсных примесей, большие значения  $T$  — к маломутным водам. Довольно широкий диапазон оптимальных значений  $GT$  и зависимость критерия от качества исходной воды подтверждают предположение о необходимости учета численной и объемной концентрации дисперсной фазы, в том числе продуктов гидролиза коагулянта (возможен контроль оптимального протекания процесса коагуляции).

За последние 35—40 лет многие зарубежные ученые посвятили свои работы интенсификации процессов смешения коагулянтов с водой путем применения механических уст-



ройств [140—144]. Над проблемой механического смешения реагентов с водой работали и проводили исследования отечественные ученые и специалисты, в том числе Ю. И. Вейцер, Е. И. Апельцина, Е. Д. Бабенков, А. И. Егоров, З. А. Колобова, С. Н. Погосова, В. В. Ашанин и др. [145—154].

В НИИ КВОВ проведены многочисленные исследования по определению эффективности механического перемешивания на водоисточниках различного качественного состава [155—159]. Наиболее детальные исследования выполнены авторами этой работы на водопроводных станциях г. Ярославля при очистке воды р. Волги и р. Которосли, в г. Ижевске при очистке воды Воткинского водохранилища и Ижевского пруда и при очистке окской воды в г. Калуге.

Результаты этих экспериментальных исследований излагаются ниже.

#### Результаты экспериментальных исследований

В целях определения влияния интенсивности перемешивания на качество очищенной воды исследования проводились на экспериментальной установке, в процессе их проведения имитировался процесс смешения воды в смесителе и камере хлопьеобразования при различных условиях. В исследованиях использовалась механическая мешалка, позволяющая изменять число оборотов от 0 до 350 об/мин (рис. 6.12).

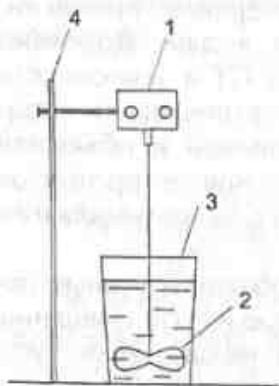


Рис. 6.12. Лабораторная установка для механического перемешивания реагентов с водой:

- 1 — электродвигатель с редуктором;
- 2 — лопасть мешалки; 3 — стакан с обрабатываемой водой; 4 — штатив

Часть опытов по механическому перемешиванию выполняли на лабораторной установке «Капля», которая состоит из шести мешалок пропеллерного типа, одновременно вращающихся с одинаковой скоростью. Регулятор скорости позволяет изменять скорость вращения мешалок от 20 до 250 об/мин. В табл. 6.2 представлены расчетные параметры для данной установки в зависимости от скорости вращения мешалки.

Таблица 6.2

Расчетные параметры установки для пробного коагулирования

Число оборотов мешалки $n$ , об/мин	Значения критерия $Re$	Критерий Эйлера $E_v$	Рабочая мощность мешалки $N_p$	Удельный расход энергии $W_v$ , кгм/с·м <sup>3</sup>	Градиент скорости $G$ , с <sup>-1</sup>
200	21300	0,5	3,23	3,2	180
100	10700	0,6	0,48	0,48	70
60	6400	0,7	0,12	0,12	35
30	3200	0,8	0,016	0,016	17

По данным, приведенным в табл. 6.2, построен график зависимости градиента скорости  $G = f(n)$  для данной установки при температуре воды 10 °С (рис. 6.13).



Рис. 6.13. Зависимость градиента скорости от скорости вращения мешалки

Представленные данные позволяют по скорости вращения мешалки определить градиент скорости, который характеризует и учитывает гидродинамический режим перемешивания реагентов с водой в смесителе и камере хлопьеобразования.

В г. Ижевске изучалось влияние перемешивания в смесителе на эффективность последующего осветления воды. При различных значениях градиента скорости и дозы коагулянта определялось качество осветленной воды при времени осаждения от 5 до 35 мин. Как видно из представленных на рис. 6.14 результатов, оптимальная интенсивность при механическом смешении в течение 1 мин достигается при  $G = 130 \text{ с}^{-1}$  (рис. 6.14, а). Последний ряд на рисунке ( $K_{\text{от}}$ ) — данные, полученные при осветлении воды, отобранной после смесителя станции на входе в камеру хлопьеобразования.

При сравнении результатов осветления воды установлено, что интенсивность перемешивания в смесителе станции соответствует интенсивности механического смешения с  $G = 25 \text{ с}^{-1}$ , что в 5 раз меньше необходимого.

В то же время следует учитывать, что интенсивное и длительное перемешивание воды в смесителе может привести к необратимому разбиванию микрохлопьев, резкому ухудшению адгезионных свойств взвеси и замедлению последующего хлопьеобразования. Из рис. 6.14, также видно, что при  $G = 180 \text{ с}^{-1}$  наблюдается ухудшение качества отстойной воды. Поэтому интенсивность быстрого перемешивания реагента с водой рекомендуется определять для воды конкретного водисточника и регулировать при изменении качества исходной воды и условий ее обработки.

Влияние интенсивности перемешивания и различных доз коагулянта на процесс осветления воды показано на рис. 6.14, б. При проведении этапа смешения коагулянта с водой в оптимальном режиме уменьшается необходимая доза коагулянта (в данном случае с 10 до 8 мг/л) и повышается качество очищенной воды по сравнению с водой, отобранной после смесителя станции.

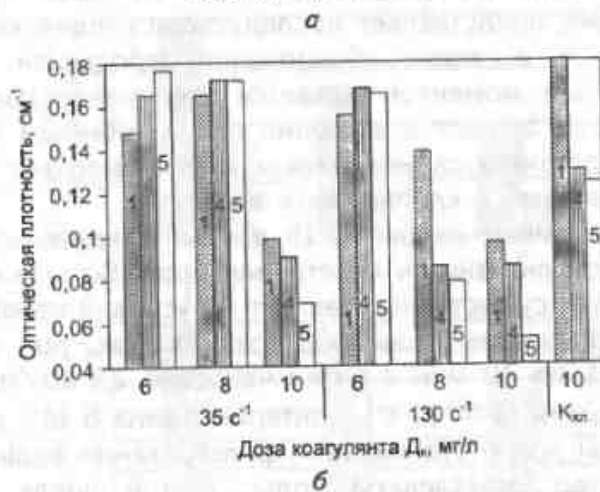
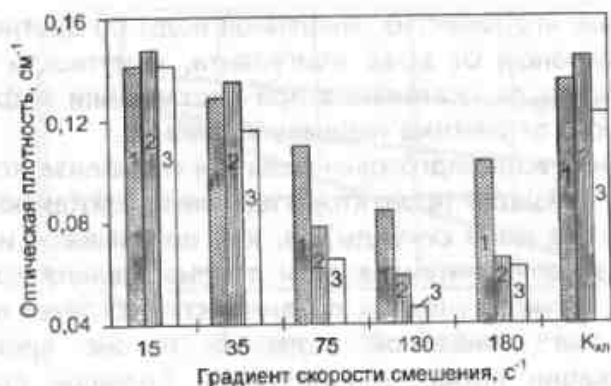


Рис. 6.14. Влияние интенсивности смешения воды с коагулянтом в смесителе на эффективность ее осветления при отстаивании: а — при  $D_{\text{к}} = 8 \text{ мг/л}$ ;  $D_{\text{гЛАА}} = 0,2 \text{ мг/л}$ ; б — при разных дозах коагулянта и  $D_{\text{гЛАА}} = 0,2 \text{ мг/л}$ ; период осветления, мин: 1 — 5; 2 — 15; 3 — 30; 4 — 20; 5 — 35

Сравнение качества воды, обработанной коагулянтом, при интенсивности перемешивания со значениями градиента скорости 35, 50 и  $130 \text{ с}^{-1}$  установлено, что нет большой разницы по показателю цветности и концентрации остаточного алюминия, в то время как мутность воды существенно изменяется и существует обратная зависимость между интенсивностью перемешивания и дозой коагулянта. Это объ-

ясняется тем, что качество очищенной воды по цветности зависит в основном от дозы коагулянта, а мутность воды и эффективность ее осветления при отстаивании и фильтровании зависят от режима перемешивания.

В условиях водоподготовки реакции гидролиза коагулянта и полимеризации продуктов гидролиза протекают очень быстро (сотые доли секунды), и, как показывают исследования, повышение интенсивности перемешивания коагулянта с водой в смесителе, как правило, способствует повышению качества очищенной воды. В то же время для интенсификации процесса коагуляции большой практический интерес представляет последующая стадия хлопьеобразования, т. е. после образования зародышей твердой фазы важным моментом является увеличение размера и массы частиц за счет повышения их способности к слипанию. Это достигается медленным и равномерным перемешиванием в камере хлопьеобразования.

Представленные на рис. 6.15 данные свидетельствуют о том, что эффективность осветления воды Воткинского водохранилища существенно зависит от условий перемешивания воды в камере хлопьеобразования. Так, при времени перемешивания 10 мин с интенсивностью 20 об/мин (градиент скорости  $G = 10 \text{ с}^{-1}$ , критерий Кэмпбелла  $6 \cdot 10^3$ ) качество осветленной при отстаивании и фильтровании воды лучше, чем качество осветленной воды, взятой после камеры хлопьеобразования станции. С увеличением времени перемешивания до 20 мин (критерий Кэмпбелла  $12 \cdot 10^3$ ) эффективность осветления и очистки воды повышаются.

При использовании для очистки воды метода контактной коагуляции требуется высокая интенсивность смешения коагулянта с водой (150 об/мин) при небольших дозах коагулянта и интенсивность снижается до 50 об/мин при увеличении дозы коагулянта.

На водопроводных станциях г. Ярославля был выполнен комплекс работ по определению влияния механического перемешивания на эффективность очистки речной воды в течение всех характерных периодов года.

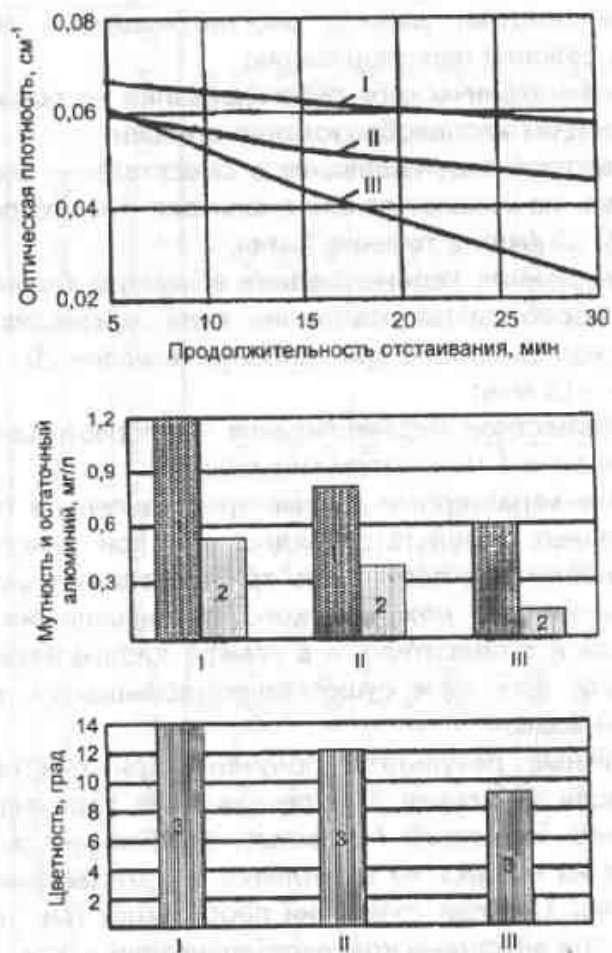


Рис. 6.15. Влияние механического перемешивания в камере хлопьеобразования на процесс очистки воды Воткинского водохранилища в осенний период:

I — камера станции; II — механическое перемешивание — 10 мин; III — то же, 20 мин; 1 — мутность, мг/л; 2 — остаточный алюминий, мг/л; 3 — цветность, град

Исследования основывались на изучении влияния интенсивности и времени перемешивания воды с коагулянтам в смесителе и камере хлопьеобразования на качество очищенной воды.



При выполнении работы рассматривались следующие основные режимы перемешивания:

1 — без механического перемешивания — вода отбиралась из камеры хлопьеобразования станции;

2 — быстрое перемешивание в смесителе — вода перемешивалась на механическом смесителе при скорости мешалки 350 об/мин в течение 1 мин;

3 — медленное перемешивание в камере хлопьеобразования — обработанная реагентами вода перемешивалась на механическом смесителе при скорости мешалки 20 об/мин в течение 5—15 мин;

4 — совместное перемешивание — первоначально быстрое в течение 1 мин, затем медленное.

Наиболее характерные данные представлены в табл. 6.3. Из полученных результатов видно, что при очистке воды р. Волги наилучшее осветление при отстаивании достигается использованием механического перемешивания реагентов с водой и в смесителе, и в камере хлопьеобразования. Кроме того, при этом существенно повышается качество очищенной воды.

Аналогичные результаты получены при очистке воды р. Которосли. Учитывая, что речная вода характеризуется сравнительно невысокой мутностью, влияние условий перемешивания на процесс ее осветления при отстаивании более существенно. Так, при сравнении пробы воды (см. табл. 6.3, режим 3) при механическом перемешивании с контрольной пробой станции (режим 4) эффективность осветления повышается вдвое. Качество очищенной воды по всем контролируемым показателям также лучше при механическом перемешивании.

Таблица 6.3

Влияние режимов перемешивания на качество осветленной воды

Водоисточник	Режим перемешивания	Осветление при отстаивании, оптическая плотность, см <sup>-1</sup>			Качество очищенной воды			
		10 мин	20 мин	30 мин	цветность, град	мутность, мг/л	содержание Al, мг/л	ПО, мгО <sub>2</sub> /л
Волга (D <sub>к</sub> = 9 мг/л)	1	0,071	0,071	0,068	11	0,2	0,08	5,6
	2	0,076	0,076	0,072	17	1,7	0,42	6,4
	3	0,077	0,044	0,04	11	0,1	0,06	4,9
	4	0,074	0,077	0,075	33	1,9	0,48	7
Которосль (D <sub>к</sub> = 8 мг/л)	1	0,147	0,14	0,123	20	0,6	0,08	6,8
	2	0,156	0,104	0,085	16	0,4	0,14	6,6
	3	0,109	0,054	0,047	15	0,3	0,2	5,5
	4	0,16	0,157	0,157	20	0,6	0,5	7,2
Которосль (D <sub>к</sub> = 8 мг/л, D <sub>плл</sub> = 0,2 мг/л)	1	0,115	0,08	0,078	12	0,2	0,08	5
	2	0,152	0,09	0,08	16	0,3	0,14	6,6
	3	0,055	0,042	0,04	11	0,1	0,2	5,7
	4	0,156	0,14	0,14	17	0,4	0,5	6

Влияние продолжительности медленного перемешивания на процесс осветления воды р. Которосли при отстаивании показано на рис. 6.16, из которого видно, что с увеличением продолжительности перемешивания повышается эффективность осветления воды.

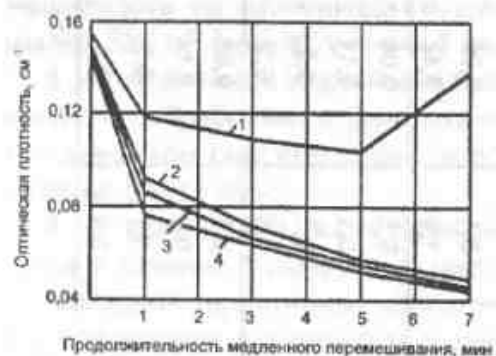


Рис. 6.16. Влияние продолжительности медленного перемешивания воды р. Которосли на процесс ее осветления при отстаивании (доза коагулянта СА — 8 мг/л); продолжительность отстаивания, мин: 1 — 10; 2 — 20; 3 — 30; 4 — 40

Интенсивность перемешивания влияет на процесс очистки воды независимо от вида применяемого коагулянта. На рис. 6.17 показано влияние медленного механического перемешивания на процесс осветления воды при использовании коагулянтов СА и ОХА. Однако при обработке воды ОХА влияние продолжительности перемешивания на качество воды значительно меньше, чем при использовании СА.



Рис. 6.17. Влияние продолжительности медленного перемешивания воды (р. Волги) с коагулянтами СА и ОХА на процесс ее осветления и отстаивания: 1 — СА-10; 2 — ОХА-10; 3 — СА-12; 4 — ОХА-12

Особенно заметно влияние условий перемешивания воды с реагентами при уменьшении дозы коагулянта или при обработке воды без флокулянта. На рис. 6.18 видно, что при соблюдении оптимальных условий перемешивания (быстрое в смесителе и медленное в камере хлопьеобразования) достигается одинаковое осветление воды при ее обработке одним коагулянтом и коагулянтом с флокулянтом, а также при различных дозах коагулянта. При недостаточно эффективном перемешивании требуются повышенные дозы реагентов.

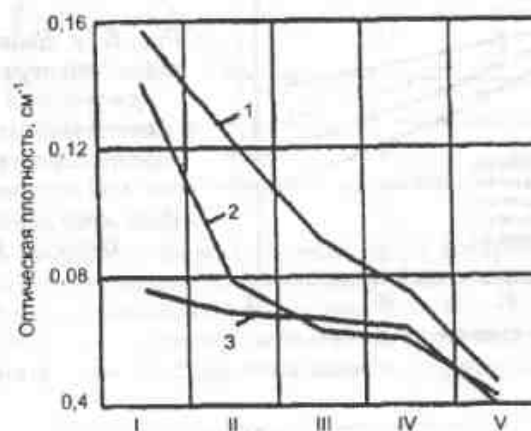


Рис. 6.18. Влияние условий перемешивания воды (р. Которосли) с реагентами на процесс осветления при отстаивании: I — без перемешивания; II — быстрое перемешивание; III — быстрое и медленное перемешивание — 1 мин; IV — то же, 3 мин; V — то же, 7 мин; 1 — СА — 8 мг/л; 2 — СА — 8 мг/л, ПАА — 0,2 мг/л; 3 — СА — 9 мг/л

Представленные результаты исследований показывают, что механическое перемешивание воды повышает надежность и стабильность технологического процесса очистки воды даже при уменьшении дозы коагулянта на станции или при отсутствии флокулянта. В ряде случаев поддержание оптимальных режимов перемешивания может привести к уменьшению необходимой дозы коагулянта и сокращению общего расхода коагулянта на станции.

Исследования в г. Калуге показали, что изменение условий перемешивания воды в смесителе за счет повышения градиента скорости с 200 до 400 с<sup>-1</sup> (рис. 6.19) и увеличения продолжительности перемешивания в камере хлопьеобразования от 2 до 15 мин (рис. 6.20) улучшился процесс осветления воды при отстаивании. На рисунках пробы воды с минимальными значениями градиента скорости и продолжительностью перемешивания соответствуют воде, взятой из смесителя или камеры хлопьеобразования станции.

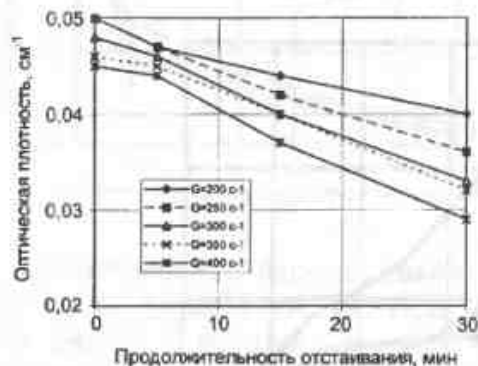


Рис. 6.19. Влияние интенсивности перемешивания реагентов с водой в смесителе на эффективность осветления воды при отстаивании (доза коагулянта 3 мг/л). Паводок 2002 г.

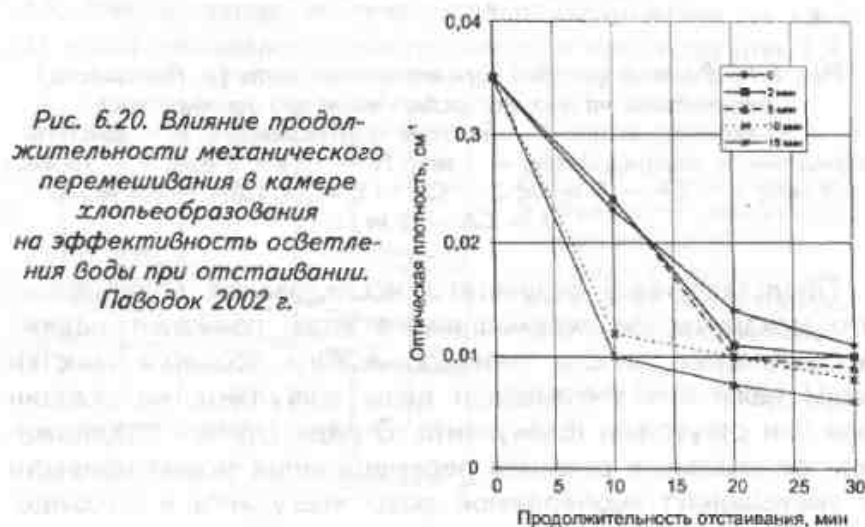


Рис. 6.20. Влияние продолжительности механического перемешивания в камере хлопьеобразования на эффективность осветления воды при отстаивании. Паводок 2002 г.

Результаты обобщенных экспериментальных данных, полученные на ряде объектов и представленные на рис. 6.21—6.22, свидетельствуют о следующем.

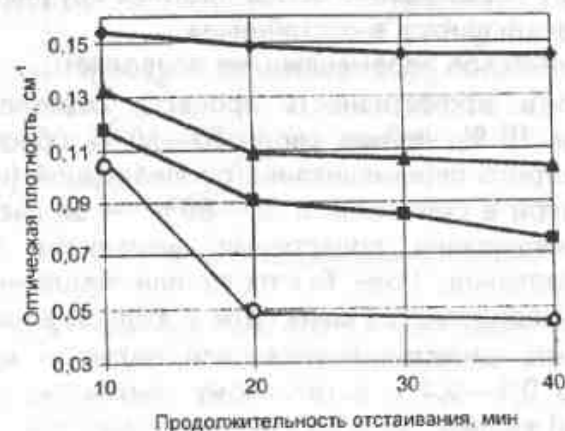


Рис. 6.21. Влияние режима перемешивания коагулянта с водой на эффективность осветления в отстойниках: —◆— без механического перемешивания; —■— с медленным перемешиванием в камере; —▲— с быстрым перемешиванием в смесителе; —○— с перемешиванием в камере и смесителе

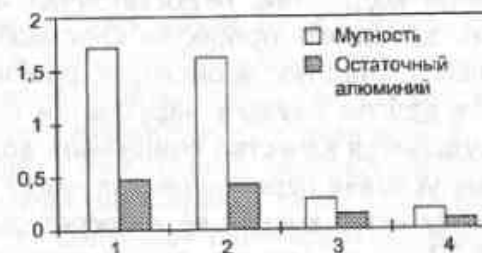


Рис. 6.22. Влияние режима перемешивания на качество очищенной воды: 1 — без механического перемешивания; 2 — с медленным перемешиванием в камере; 3 — с быстрым перемешиванием в смесителе; 4 — с перемешиванием в камере и смесителе

А. При коагуляционной обработке воды очень важно обеспечить в смесителях быстрое перемешивание коагулян-



та с водой в течение короткого времени, а в камерах хлопьеобразования — медленное и равномерное перемешивание с постепенно затухающей интенсивностью, что способствует образованию более плотных крупных хлопьев, быстро осаждающихся в отстойниках.

**Б. Механическое перемешивание позволяет:**

- повысить эффективность процесса осветления воды примерно на 70 %, причем около 20—50 % обеспечивается за счет быстрого перемешивания пропеллерной (или винтовой) мешалкой в смесителе и 50—80% — за счет медленного перемешивания лопастными мешалками в камере хлопьеобразования. Роль быстрого или медленного перемешивания определяется качеством исходной воды;

- улучшить качество осветленной воды по мутности с 0,4—1,5 до 0,1—0,4 и остаточному алюминию с 0,4—0,5 до 0,05—0,1 мг/л;

- уменьшить расход коагулянта примерно на 20—30 %;

- проводить регулирование интенсивности перемешивания, что важно при постоянно меняющемся по сезонам года качестве воды поверхностных водоисточников.

**В. Условия перемешивания существенно влияют на качество осветленной воды. Так, недостаточная интенсивность перемешивания замедляет процессы хлопьеобразования, а при повышенных скоростях происходит разбивание хлопьев, и в том и в другом случаях нарушается процесс коагулирования, ухудшается качество очищенной воды.**

Оптимальные условия перемешивания могут изменяться в зависимости от качества воды и ее температуры. Так, например, из рис. 6.23 видно, что при температуре воды 3—5 °С оптимальные условия перемешивания достигались при скорости вращения 4-лопастной мешалки 1,4 об/мин, а при температуре воды 12 °С она уменьшалась до 0,6 об/мин.

**Г. За счет применения механических смесителей можно существенно уменьшить время отстаивания воды, а за счет повышения качества осветленной воды уменьшить нагрузки на фильтровальные сооружения.**

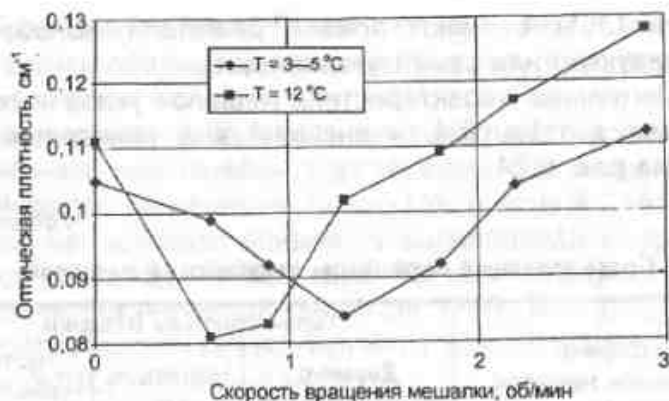


Рис. 6.23. Изменение качества осветленной воды в зависимости от интенсивности перемешивания

**Д. При использовании на станциях метода контактного фильтрования или контактных осветлителей возможно механическое перемешивание только в смесителе.**

В России механические смесители в технологии очистки воды практически не применяются в основном из-за отсутствия надежного отечественного оборудования. Импортное оборудование для устройства механических смесителей и по сей день является недоступным из-за высокой стоимости.

За рубежом механические смесители применяются уже длительное время, и имеющиеся там сооружения и устройства достаточно эффективны и надежны в эксплуатации. Ниже приводятся некоторые зарубежные фирмы, выпускающие механические мешалки различных конструкций.

**Фирма Flygt** выпускает погружные мешалки со встроенным электродвигателем модели 4600 и низкоскоростную мешалку моделей 4410 и 4430.

**Фирма KSB** предлагает погружные мешалки Амаргор и Атапих.

**Фирма ABS** выпускает три типа мешалок — Фло Бустер, СКАБА вертикальные и СКАБА горизонтальные.

«Фло Бустер» представляет собой медленно вращающуюся с вмонтированным электродвигателем мешалку, а

мешалки СКАБА имеют привод двигателя моноблочный, через редуктор или ременную передачу.

Сравнительная характеристика мешалок указанных фирм приведена в табл. 6.4, а внешний вид некоторых моделей — на рис. 6.24.

Таблица 6.4

Сравнительные параметры зарубежных мешалок

Фирмы и модели мешалок	Характеристики мешалок		
	Диаметр пропеллера, мм	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин
Flygt модель 4600 модель 4410 и 4430	210—766 2500	0,75—30 2,3—4,4	1500 27—54
KSB Амаргор Атамix.	1200—2500 215—600	До 4 1,25—10	29—116 475—1450
ABS «Фло Бустер» СКАБА вертик. СКАБА гориз.	До 2500 100—1000 100—1000	1—4 250 250	40—60 40—60 40—60

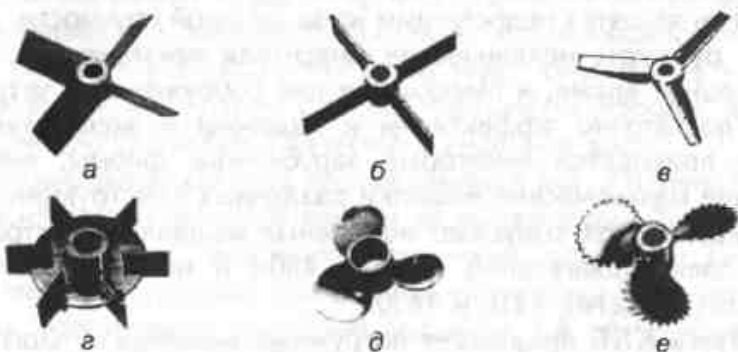


Рис. 6.24. Мешалки:

а — 4-пропеллерная аксиальная; б — 4-пропеллерная радиальная; в — с отражательным действием; г — 6-лопастная; д — 3-лопастной пропеллер; е — 3-лопастной зубчатый пропеллер

*Применение метода механического смешения на водопроводных станциях России и за рубежом*

К сожалению, результаты многолетних исследований, выполненных различными российскими специалистами по механическому смешению реагентов с водой [145—154], остались не использованными в водопроводной практике. Имеются лишь единичные водоочистные станции, где используются механические смесители [160, 161, 302].

Одной из таких станций является Южная водопроводная станция (ЮВС) г. Ярославля [302].

Вопрос о совершенствовании системы обработки воды коагулированием достаточно остро стоит при очистке воды на ЮВС, где для водоснабжения используется вода р. Которосли. Качество речной воды нестабильно и существенно изменяется по сезонам года, характеризуется цветностью от 15 до 80 град, мутностью от 1 до 40 мг/л и окисляемостью 15—17 мгО<sub>2</sub>/л (большие значения относятся к паводковому периоду). Опыт эксплуатации водопроводной станции показывает, что в отдельные периоды года при высокой цветности воды и малой мутности, а также при понижении температуры создаются неблагоприятные условия для протекания процессов осветления воды, и качество воды по показателям мутности и остаточного алюминия ухудшается.

Кроме того, если на большинстве водопроводных станций, построенных по типовым проектам, камеры хлопьеобразования, совмещенные с горизонтальными отстойниками, имеют сплошное перекрытие, то на ЮВС камеры — открытые, и в этом случае была возможность достаточно легко оснастить их оборудованием для механического перемешивания.

Реализовать возможность устройства наиболее эффективных камер хлопьеобразования с поэтапным снижением интенсивности перемешивания по ходу движения воды и состоящих из двух-трех секций было нереально, хотя именно такие камеры в настоящее время широко применяются за рубежом.

В данном случае в камере хлопьеобразования, не имеющей перегородок, можно было осуществить лишь один этап перемешивания (без изменения интенсивности по ходу движения воды) и в соответствии с ее размерами установить две одинаковые мешалки.

Две четырехлопастные мешалки были изготовлены и установлены МП "Ярославльводоканал" в камере хлопьеобразования отстойника № 1 (рис. 6.25). Вращение мешалок осуществлялось в разные стороны: одна по часовой стрелке, другая — против. С помощью редуктора скорость вращения мешалок изменялась от 0 до 3 об/мин.

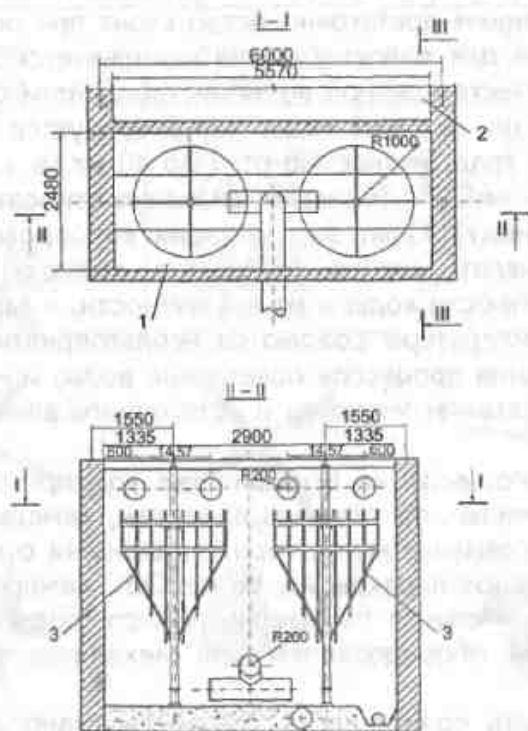


Рис. 6.25. Установка механических мешалок в камере хлопьеобразования ЮВС:  
1 — камера хлопьеобразования; 2 — отстойник;  
3 — механические смесители

Основными задачами производственных испытаний являлись:

- установление оптимального режима работы камеры хлопьеобразования с механическим перемешиванием;
- определение влияния механического перемешивания на работу отстойника;
- изучение влияния механического перемешивания на эффективность очистки и качество очищенной воды.

После установки механических смесителей камера хлопьеобразования отстойника № 1 работала без перерыва с апреля 2000 г. по октябрь 2001 г. Результаты работы отстойника № 1 сравнивали с работой отстойника № 8, работающего без механического перемешивания в камере хлопьеобразования.

Контрольные пробы воды отбирали по четырем точкам: на выходе из камеры хлопьеобразования, в колодцах № 1, 2 и 4, расположенных по длине отстойников. Схема отбора проб представлена на рис. 6.26.

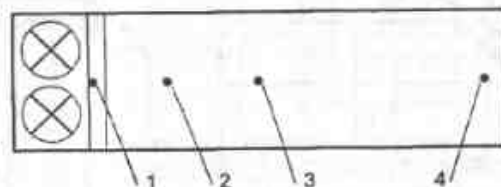


Рис. 6.26. Схема отбора проб. Точки отбора проб:  
1 — выход из камеры хлопьеобразования; 2 — колодец № 1;  
3 — колодец № 2; 4 — колодец № 4

В целях определения оптимального режима перемешивания в камере хлопьеобразования для каждого характерного периода были выполнены исследования при различных скоростях вращения мешалок. Было отмечено, что чем ниже температура и мутность воды, тем выше необходимая интенсивность перемешивания в камерах хлопьеобразования. В случаях увеличения мутности воды даже при сравнительно невысокой ее температуре интенсивность перемешивания уменьшается. В то же время следует иметь в виду,



что оптимальная интенсивность перемешивания в камере хлопьеобразования зависит не только от мутности и температуры исходной воды, но и от других показателей ее качества (цветности, рН, щелочности, солевого состава), а также от доз и видов реагентов.

На рис. 6.27 показана эффективность осветления воды в отстойнике в зависимости от интенсивности ее перемешивания в камере хлопьеобразования. При оптимальном режиме перемешивания воды процесс отстаивания проходит быстрее и эффективнее (кривая 1), чем без механического перемешивания (кривая 2). Чрезмерно интенсивное перемешивание способствует образованию мелких хлопьев, которые хуже оседают в отстойнике (кривая 3).



Рис. 6.27. Влияние процесса перемешивания на эффективность осветления воды при отстаивании

Характерные результаты проведенных производственных испытаний представлены в табл. 6.5—6.7 и на рис. 6.28 и 6.29.

Данные, приведенные на рис. 6.29 и в табл. 6.5, показывают изменение мутности воды в процессе ее осветления по длине отстойников № 1 и 8. Было отмечено, что в случае применения механического перемешивания эффективность осветления воды в отстойнике № 1 значительно выше, около 62 % взвешенных веществ осаждаются уже в первой половине отстойника, в то время как в отстойнике № 8 эффективность осаждения на этом уровне составляет 52 %.

Таблица 6.5

Характерные результаты производственных испытаний, проведенных в апреле 2000 г. (изменение мутности по длине отстойников)

Дата, время	Мутность, мг/л								
	Отстойник 1				Отстойник 8				
	Камера реакции	Люк 1	Люк 2	Люк 4	Камера реакции	Люк 1	Люк 2	Люк 4	
21.04	8-10	19,4	17,7	13,3	11,7	19,8	24,3	23,0	15,2
	9-00	21,2	16,2	15,7	14,0	21,9	18,6	14,7	16,3
	10-00	27,0	16,7	9,2	14,3	27,5	8,8	7,1	16,1
	11-00	27,4	5,8	6,4	5,9	27,5	15,7	7,1	6,7
	13-00	26,1	12,3	6,6	5,2	26,5	11,0	8,4	6,6
24.04	14-00	24,7	18,0	5,9	4,8	24,8	21,0	9,3	6,1
	15-00	24,4	12,2	7,8	5,7	24,4	17,5	8,8	6,5
	11-00	20,5	12,0	8,9	10,2	20,5	17,6	13,7	11,5
	13-00	18,5	14,0	7,5	7,9	18,4	16,2	12,3	12,1
	14-00	19,4	12,9	8,7	7,1	19,8	16,1	9,7	7,5
15-00	21	16,1	8,2	7,0	20,6	17,7	11,9	7,0	
Средняя за месяц	22,0	13,5	8,3	7,6	22,3	17,2	10,7	8,7	
Эффективность осветления по длине отстойника, %		38,6	62,3	65,3		22,8	52,0	61,0	

Таблица 6.6

Характерные результаты производственных испытаний, проведенных в апреле 2000 г.  
(изменение качества очищенной воды после контролируемых отстойников)

Дата, время	Отстойник 1				Отстойник 8			
	Мутность, мг/л	Al, мг/л	Цветность, град	pH	Мутность, мг/л	Al, мг/л	Цветность, град	pH
<b>20.04</b>								
8-10	2,6	0,55	26	5,85	4,8	0,72	44	6,13
9-00	2,8	0,42	24	6,30	4,1	0,52	32	6,38
10-00	2,4	0,12	26	6,09	4,8	0,2	32	6,15
11-00	1,5	0,15	16	6,06	1,8	0,19	19	5,88
13-00	1,0	0,14	16	6,02	1,5	0,18	20	6,12
14-00	1,0	0,14	15	6,08	1,2	0,22	18	6,17
15-00	1,0	0,17	17	6,12	1,4	0,28	20	6,08
<b>22.04</b>								
8-30	1,3	0,19	16	6,16	1,7	0,23	21	6,20
10-00	3,1	0,28	30	6,06	3,5	0,47	36	6,20
12-15	3,8	0,36	39	6,21	4,4	0,45	42	6,35
13-15	4,0	0,38	43	6,23	4,9	0,53	42	6,24
14-00	1,6	0,38	32	6,21	2,7	0,4	33	6,25

<b>23.04</b>								
8-30	2,1	0,34	25	6,05	4,1	0,52	36	6,18
10-30	1,6	0,35	19	6,23	2,8	0,42	28	6,28
12-00	1,1	0,09	12	5,89	1,2	0,16	12	5,93
13-30	1,2	0,12	15	5,92	1,7	0,40	20	6,03
Средняя за месяц	<b>1,93</b>	<b>0,234</b>	<b>22,72</b>	<b>6,1</b>	<b>2,5</b>	<b>0,31</b>	<b>26,4</b>	<b>6,1</b>
Относительная эффективность работы отстой- ников № 1 и 8, %	22,4	23	12,1					

Результаты производственных испытаний, проведенных в апреле 2001 г.  
(изменение мутности по длине отстойников)

Дата, время	Мутность, мг/л											
	Отстойник 1					Отстойник 2						
	Камера реакции	Люк 1	Люк 2	Люк 4	Камера реакции	Люк 1	Люк 2	Люк 4	Камера реакции	Люк 1	Люк 2	Люк 4
<b>20.04</b>												
9-00	29,9	13,6	6,5	6,4	26,2	13,6	6,5	6,4	26,2	13,6	6,5	6,4
10-00	32,0	9,9	5,4	4,1	7,8	13,3	7,0	7,5	7,8	13,3	7,0	7,5
11-20	34,2	16,9	4,5	3,5	37,4	11,1	3,5	4,1	37,4	11,1	3,5	4,1
13-00	37,9	12,1	5,2	4,5	33,4	27,6	4,9	5,3	33,4	27,6	4,9	5,3
15-00	33,1	12,9	8,5	6,8	32,0	17,3	9,6	9,1	32,0	17,3	9,6	9,1
<b>21.04</b>												
13-15	28	13	8,8	8,2	28,2	18,7	16	12,8	28,2	18,7	16	12,8
<b>22.04</b>												
10-00	33,5	7,4	7,7	4,3	40,7	15,6	8,9	6	40,7	15,6	8,9	6
13-00	28,0	11,5	7,3	3,8	27,9	15,7	9,6	4,6	27,9	15,7	9,6	4,6
15-00	28,3	10,7	3,7	3,5	28,3	14,0	5,9	4,3	28,3	14,0	5,9	4,3
<b>Средняя</b>	<b>31,65</b>	<b>12,0</b>	<b>6,4</b>	<b>5,0</b>	<b>29,1</b>	<b>16,3</b>	<b>8,0</b>	<b>6,7</b>	<b>29,1</b>	<b>16,3</b>	<b>8,0</b>	<b>6,7</b>
<b>Эффективность осветления по длине отстойника, %</b>		<b>62</b>	<b>80</b>	<b>84</b>		<b>44</b>	<b>72</b>	<b>77</b>		<b>44</b>	<b>72</b>	<b>77</b>

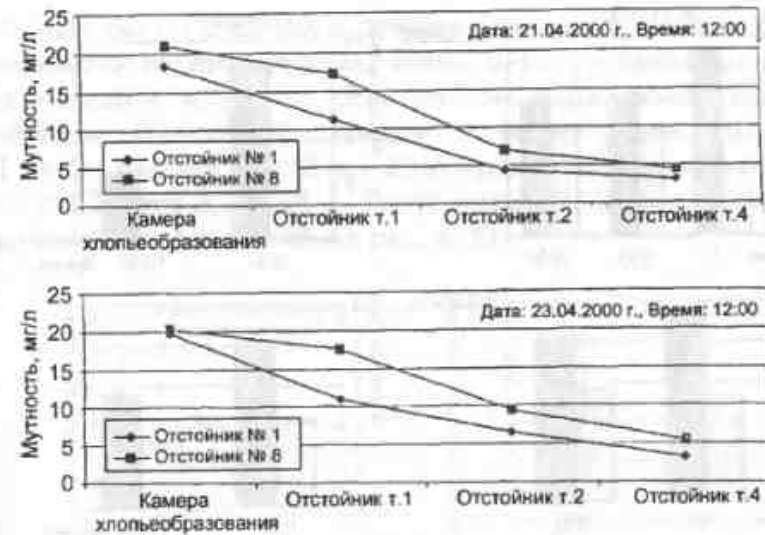


Рис. 6.28. Процесс хлопьеобразования и осаждение взвеси в камерах хлопьеобразования и отстойниках № 1 и 8

Основные показатели качества очищенной воды, представленные в табл. 6.6, также лучше при механическом перемешивании, чем без него. Существенно уменьшается мутность фильтрата (в среднем на 22,4 %) и соответственно концентрация остаточного алюминия (на 23 %). Кроме того, улучшение протекания процесса коагулирования повышает глубину очистки воды от органических загрязнений, при этом цветность очищенной воды уменьшается на 12,1 %.

В течение двух дней сооружения по несколько часов работали в экстремальных условиях, при которых дозы коагулянта уменьшались на 48 % (21 апреля) и на 33 % (23 апреля) от необходимой. При этом качество очищенной воды на станции существенно ухудшалось. Однако при сравнении работы контролируемых отстойников установлено, что при механическом перемешивании воды в камере хлопьеобразования изменение дозы коагулянта в меньшей степени повлияло на качество осветленной в отстойнике и фильтрованной воды, чем в гидравлических камерах.



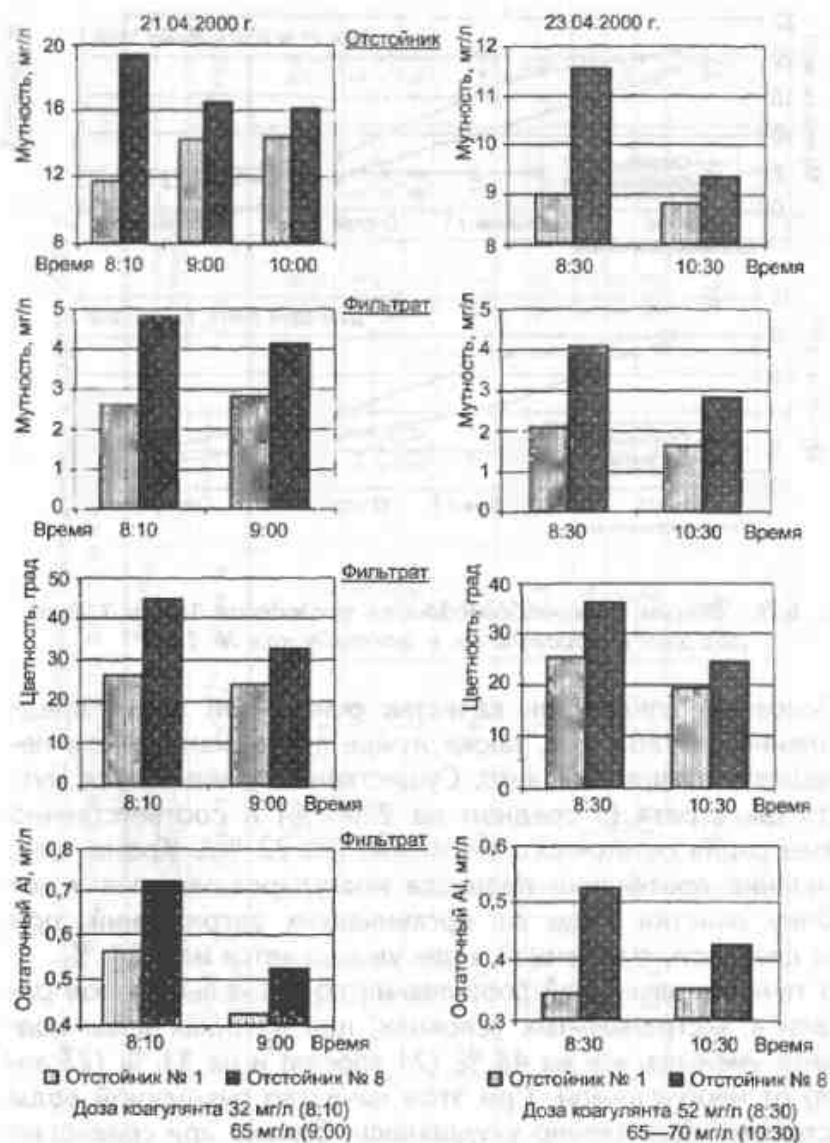


Рис. 6.29. Сравнение качества воды отстойников № 1 и 8 в экстремальных ситуациях работы сооружений

При выполнении работы периодически останавливались механические мешалки, чтобы на одном отстойнике прове-

рить, как бы он работал в режиме станции, т. е. без дополнительного перемешивания. Было четко установлено, что без мешалок качество осветленной воды после скорых фильтров существенно ухудшается: по мутности с 0,05 до 2,3 мг/л, цветности с 9 до 22 град и остаточному алюминию с 0,02 до 0,75 мг/л. Результаты одного из таких наблюдений представлены на рис. 6.30.

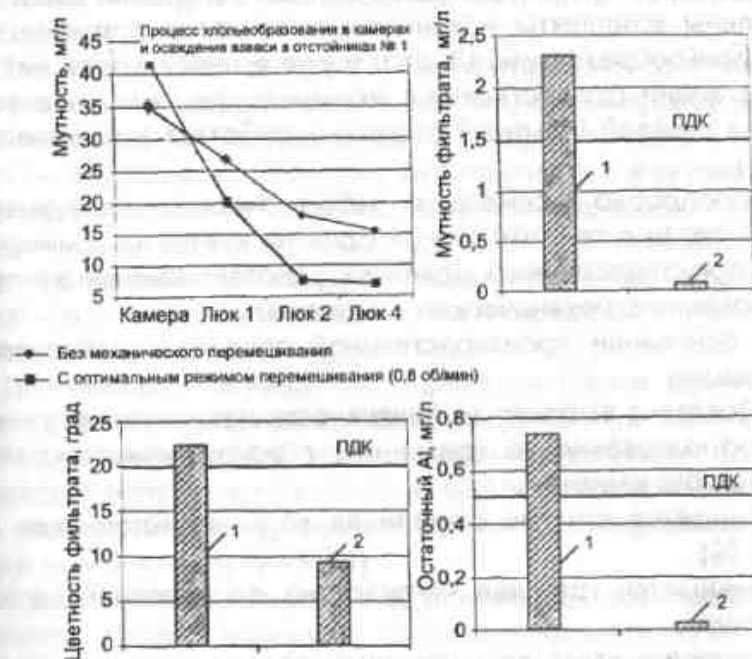


Рис. 6.30. Сравнение средних показателей качества воды в камере хлопьеобразования, отстойнике № 1 и в фильтрате при остановленных механических смесителях и в режиме оптимального перемешивания: 1 — остановлены механические смесители; 2 — оптимальный режим перемешивания (0,8 об/мин)

В процессе проведения производственных испытаний было также отмечено, что уровень шлама в отстойнике № 1 на 10—15 % больше, чем в других отстойниках. Это

свидетельствует о том, что в отстойнике с механической камерой хлопьеобразования взвешенных веществ задерживается больше.

Кроме того, в процессе работы были выявлены некоторые конструктивные недостатки механических мешалок, которые были учтены при разработке и выполнении окончательного варианта конструкции мешалок.

После проведения производственных испытаний были изготовлены комплекты механических мешалок для всех камер хлопьеобразования (8 шт.), и уже в течение трех лет на всей станции осуществляется механическое смешение коагулянта с водой (опытный отстойник работает в течение пяти лет).

Так подробно рассмотрена работа очистных сооружений ЮВС в связи с тем, что это — один из немногих примеров, где в производственных условиях работает камера хлопьеобразования с механическим смешением.

На основании производственной проверки установлено следующее.

1. Показана высокая эффективность механических камер хлопьеобразования по сравнению с эффективностью гидравлических камер:

повышается степень осветления воды в отстойниках на 8—10 %;

уменьшается грязевая нагрузка на фильтровальные сооружения;

улучшается качество очищенной воды по основным показателям (мутность — на 22 %, цветность — на 12 %, концентрация остаточного алюминия — на 23 %).

2. При использовании механических камер хлопьеобразования обеспечена возможность регулирования процесса хлопьеобразования, которое необходимо при изменении качества и температуры исходной воды. Это позволяет повысить надежность и стабильность работы водопроводных станций даже в условиях значительных колебаний качества исходной воды.

3. Использование механической камеры хлопьеобразования позволяет значительно интенсифицировать процесс

хлопьеобразования по сравнению с процессом в гидравлической камере и обеспечить сокращение времени пребывания воды в отстойниках.

4. Применение метода механического смешения позволяет в отдельные периоды года снизить дозу коагулянта примерно на 10—20 %.

Нам известна еще одна станция на водоканале г. Калининграда [162], на которой использовано механическое смешение.

Реконструкция типовых горизонтальных отстойников (производительность около 8 тыс. м<sup>3</sup>/сут каждого) осуществлялась путем встраивания в гидравлические камеры хлопьеобразования механических мешалок: в каждую — по две горизонтальные мешалки и соответствующие струна-правляющие стационарные пластины. При переоборудовании гидравлических камер в механические не потребовалось каких-либо капитальных строительных работ, стенки и днище отстойников не нарушались.

Две мешалки приводятся в действие одним двигателем, расход электроэнергии составляет 0,8 кВт на 1000 м<sup>3</sup> обрабатываемой воды. В этих условиях отстойники эксплуатируются непрерывно в течение шести лет с использованием как сернокислого алюминия, так и полиалюминийхлорида («АКВА — АУРАТ™»).

Вода поверхностного водоисточника, подаваемая на станцию, имеет следующие основные показатели: мутность 3—15 мг/л, цветность 50—120 град, окисляемость 10—25 мг/л, содержание железа 0,5—1,5 мг/л, pH 7—8, температура 0,2—20 °С. Качество исходной речной воды меняется в течение года.

При эксплуатации отстойников с механическими камерами хлопьеобразования на одном блоке станции использовали реагент — сульфат алюминия дозой 8 мг/л, на другом блоке — полиалюминийхлорид дозой 4 мг/л по Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Для сравнения такие дозы реагентов использовались одновременно на отстойниках с гидравлическими камерами хлопьеобразования, что позволило оценить эффективность

применения механических камер. Производительность отстойников с механическими камерами хлопьеобразования увеличилась на 30 % и составила 11 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

В результате работы отстойников с механическими камерами хлопьеобразования эффективность очистки воды по мутности увеличилась на 40 %, по цветности — на 30 %, чего невозможно было достичь на сооружениях с гидравлическими камерами.

Сформировавшиеся в механической камере хлопья выпадают в осадок более компактно, на расстоянии 1/3 длины зоны отстаивания, влажность осадка не превышает 98 %. При использовании гидравлических камер хлопьеобразования осадок располагается на 2/3 длины зоны отстаивания, его влажность составляет 99—99,5 %.

Необходимо отметить еще одно преимущество механических камер по сравнению с гидравлическими — это исключение пенообразования в зоне хлопьеобразования и отстаивания, особенно в летнее время, когда в воде увеличивается присутствие органических веществ.

При использовании механических камер хлопьеобразования в воде после отстойника остаточное содержание алюминия составляет 0,3—0,5 мг/л, при использовании гидравлических камер — 0,8—1,5 мг/л. Достижение высокого качества очистки воды в отстойниках с механическими камерами хлопьеобразования позволило повысить продолжительность фильтроцикла в 1,5—2 раза. При этом уменьшилась доза хлора при первичном хлорировании воды.

Технико-экономическая оценка применения механических камер хлопьеобразования показала, что затраты по их внедрению с учетом энергозатрат окупаются в течение 1,5 месяца за счет сокращения дозы коагулянта и увеличения производительности отстойника. В этих расчетах не учитывалось сокращение объема осадка и дозы хлора при первичном хлорировании.

Рассмотрение зарубежных водопроводных станций показывает, что практически все смесители и камеры хлопьеобразования на них оборудованы механическими смесителями.

Схематично некоторые конструктивные решения по применению механических смесителей на зарубежных водопроводных станциях представлены на рис. 6.31.

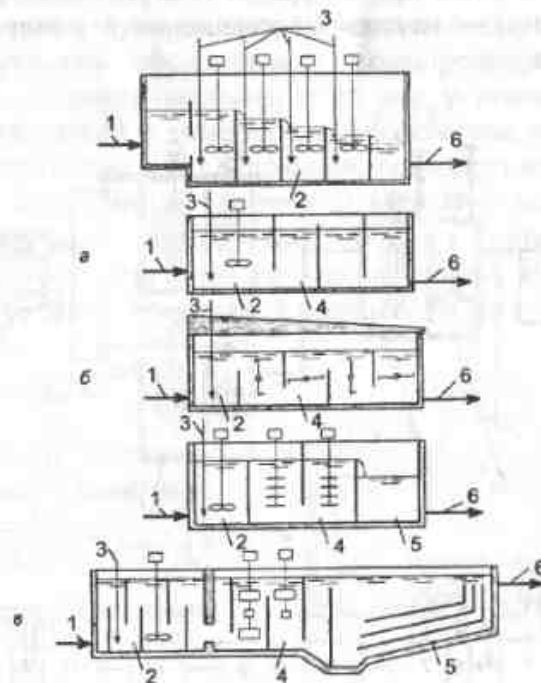


Рис. 6.31. Применение механических мешалок в смесителях (а), камерах хлопьеобразования (б) и совместно (в):

1 — подача воды; 2 — смеситель; 3 — ввод реагентов; 4 — камера хлопьеобразования; 5 — отстойник; 6 — отвод воды

В последнее время появляются новые устройства для быстрого смешения (в течение 30—60 с) водоструйного типа и в виде специальных патрубков, вставляемых в трубопровод сырой воды и снабженных специальными лопастями, разделяющими поток воды на отдельные соударяющиеся и расходящиеся струи.

В г. Ярославле "ИБЦ—Энергопроект" (Югославия) выполнен проект водопроводной станции «Воздвиженье» производительностью 100 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Устройство смесите-



лей и камер хлопьеобразования этой станции представлено на рис. 6.32, из которого видно, что имеются четыре ступени быстрого и медленного механического смешения: смешение в смесителе при введении коагулянта и флокулянта и две ступени — медленное смешение в камерах хлопьеобразования.

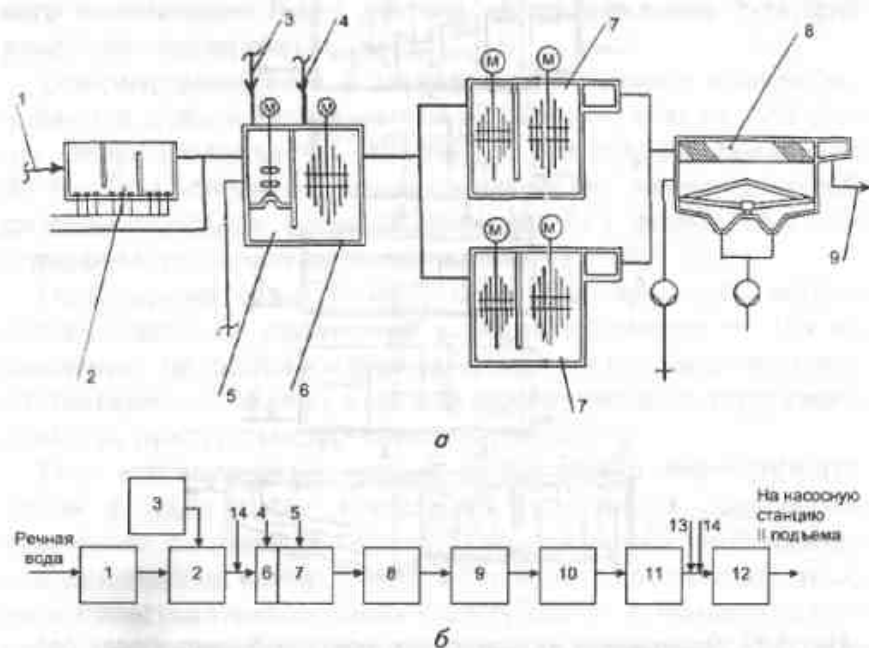


Рис. 6.32. Устройство блока смешения реагентов (а) и технологическая схема очистки воды на водопроводной станции "Воздвиженье" (б):

- а: 1 — исходная вода; 2 — контактные камеры предварительного озонирования; 3 — ввод коагулянта; 4 — ввод флокулянта; 5 — 1-е отделение смесителя; 6 — 2-е отделение смесителя; 7 — камеры хлопьеобразования; 8 — отстойник; 9 — подача воды на последующую обработку;
- б: 1 — аэратор; 2 — контактная камера первичного озонирования; 3 — озонатор; 4 — подача коагулянта; 5 — подача флокулянта; 6 — смеситель; 7 — камера хлопьеобразования; 8 — отстойник; 9 — контактная камера вторичного озонирования; 10 — двухслойный фильтр; 11 — угольный фильтр; 12 — резервуар чистой воды; 13 — известь; 14 — подача хлора

Таким образом, эффективная эксплуатация механических камер хлопьеобразования на водопроводных станциях г. Ярославля и г. Калининграда показала целесообразность их реконструкции.

Многие существующие водоочистные сооружения после соответствующего обследования водопроводных станций могут быть реконструированы и на них установлены механические смесители и камеры хлопьеобразования.

Экспериментальные исследования, проведенные в г. Калуге на Окском водозаборе, также подтвердили необходимость переоборудования плохо работающего существующего гидравлического смесителя на механический. Предложение по реконструкции смесителя представлено на рис. 6.33.

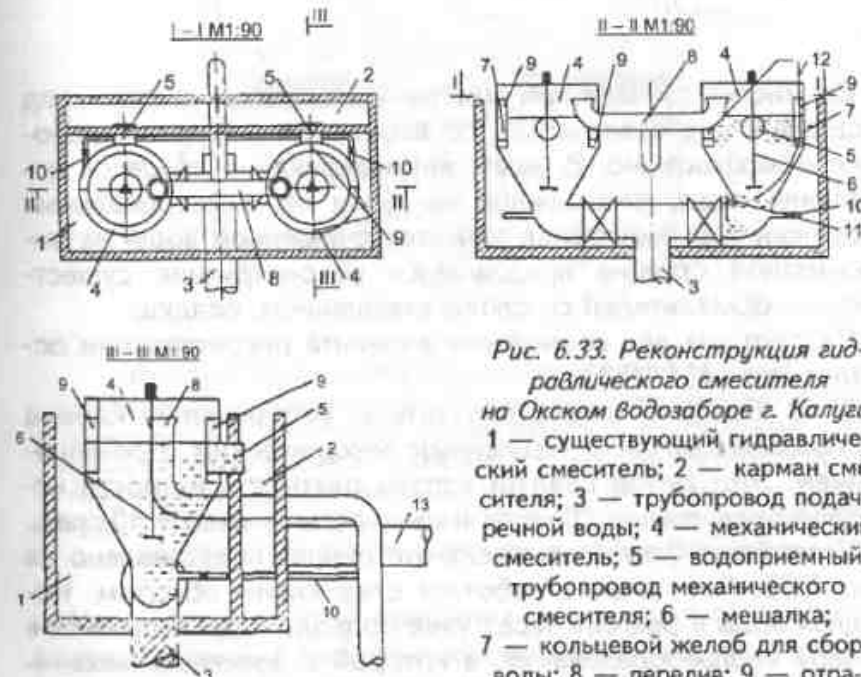


Рис. 6.33. Реконструкция гидравлического смесителя

на Окском водозаборе г. Калуги:

- 1 — существующий гидравлический смеситель; 2 — карман смесителя; 3 — трубопровод подачи речной воды; 4 — механический смеситель; 5 — водоприемный трубопровод механического смесителя; 6 — мешалка; 7 — кольцевой желоб для сбора воды; 8 — перелив; 9 — отражающие перегородки;

- 10 — трубопровод опорожнения смесителя; 11—12 — I и II варианты подачи реагентов; 13 — отводящий трубопровод воды из кармана смесителя.

Объем одного смесителя — 19,7 куб. м; объем двух смесителей (общий) — 39,4 куб. м; время пребывания воды в смесителях — 34,04 с

Разработано несколько вариантов замены широко применяемых на водоочистных станциях вихревых смесителей на механические; один из примеров показан на рис. 6.34 (патент на полезную модель «Смеситель» [156]).

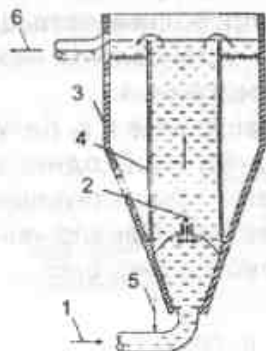


Рис. 6.34. Схема реконструкции смесителя:

- 1 — подача воды; 2 — механический смеситель; 3 — корпус старого смесителя; 4 — корпус нового смесителя; 5 — подача коагулянта; 6 — отвод воды

Во многих случаях при очистке маломутных цветных вод существующие осветлители со взвешенным осадком работают неэффективно. В целях интенсификации процесса осветления воды, уменьшения нагрузки на фильтровальные сооружения и повышения качества очищенной воды на водоочистной станции предлагается реконструкция существующих осветлителей со слоем взвешенного осадка.

Рассмотрим два возможных варианта реконструкции осветлителей [157, 158].

1. В бывшем шламоуплотнителе устраивается камера хлопьеобразования с медленным механическим перемешиванием. Этот метод следует использовать при мутности исходной воды свыше 20 мг/л и цветности — свыше 50 град.

Устройство блока смесителя-отстойника представлено на рис. 6.35. Сооружение работает следующим образом. Исходная вода и реагент через узел подвода воды подаются в камеру хлопьеобразования, в которой с помощью механической мешалки осуществляется медленное смешение реагента с обрабатываемой водой. Из камеры хлопьеобразования вода переливается в карман, откуда через переливные окна поступает в отстойник, в верхней части которого

находятся тонкослойные осадительные элементы. Отбойные козырьки позволяют равномерно распределить поток воды во взвешенном слое осадка в камере отстаивания. Такое направление движения воды в меньшей степени препятствует сползанию образовавшихся хлопьев осадка на тонкослойных элементах. Осветленная вода после прохождения тонкослойных элементов собирается в приемные желоба и подается на фильтры для дальнейшей обработки. Осадок, собирающийся в нижней части камер отстаивания, отводится на блок обработки осадка.

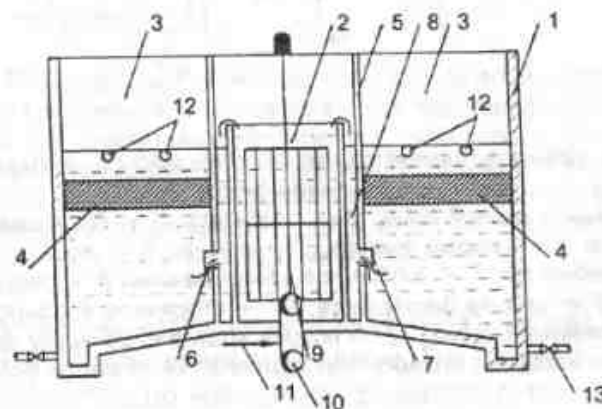


Рис. 6.35. Устройство блока смесителя-отстойника:

- 1 — корпус; 2 — камера хлопьеобразования с медленной механической мешалкой 9; 3 — камеры отстаивания; 4 — тонкослойные осадительные элементы в зоне отстаивания; 5 — вертикальные перегородки с переливными окнами 6 и козырьком 7; 8 — карманы; 10 — подвод воды к осветлителю; 11 — ввод реагента; 12 — приемные желоба осветленной воды; 13 — опорожнение и отвод осадка

Изменяя скорость вращения механической мешалки, расположенной в камере хлопьеобразования, можно регулировать скорость перемешивания обрабатываемой воды с реагентом, что позволяет вести процесс осветления в оптимальных режимах. Механических мешалок может быть одна или несколько в зависимости от геометрических размеров камеры хлопьеобразования.

На рис. 6.36 показан вариант технологической схемы очистки воды с применением блока смесителей-отстойников.

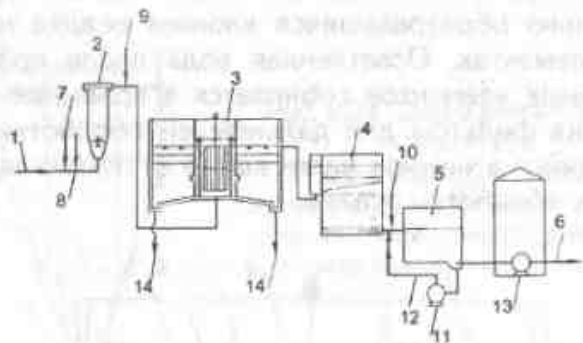


Рис. 6.36. Принципиальная схема очистки воды с использованием блока смесителей-отстойников:

- 1 — подача исходной воды; 2 — смеситель; 3 — блок смесителей-отстойников; 4 — скорый фильтр; 5 — р. ч. в.; 6 — подача очищенной воды потребителю; 7 — первичное хлорирование; 8 — подача коагулянта; 9 — подача флокулянта; 10 — вторичное хлорирование; 11 — промывной насос; 12 — подача воды на промывку фильтров; 13 — насосная станция II-го подъема; 14 — сброс осадка

Представленное устройство нашло **практическое применение** и реализуется, в частности, на водопроводной станции г. Нефтеюганска на станции производительностью 20 тыс. м<sup>3</sup>/сут при обработке воды р. Оби.

2. Второе предложение заключается в переоборудовании осветлителя со взвешенным осадком на смесительно-фильтровальный блок. В шламоуплотнителе устраивается смеситель со скоростной мешалкой, а зоны осветления перестраиваются в фильтровальные сооружения. Такое решение возможно при небольших значениях мутности исходной воды — до 20 мг/л и цветности — до 50 град.

Устройство блока фильтрационной очистки с предварительным быстрым смешением представлено на рис. 6.37. Фильтрация осуществляется сверху-вниз (прямоточный фильтр); загрузка выполняется двухслойной.

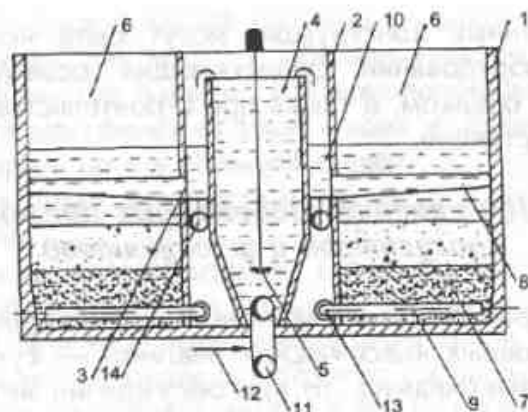


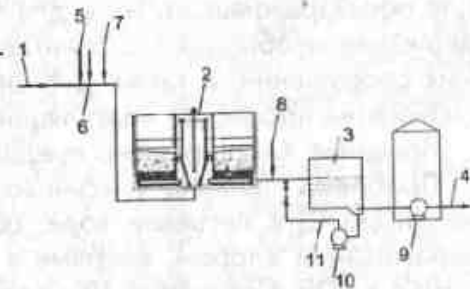
Рис. 6.37. Устройство смесительно-фильтровального блока: 1 — корпус сооружения; 2 — вертикальные перегородки; 3 — перепускные окна; 4 — смеситель со встроенной мешалкой; 5, 6 — фильтры; 7 — фильтрующая загрузка; 8 — желоба; 9 — дренаж; 10 — перепускной канал; 11 — подача исходной воды; 12 — подача реагента; 13 — трубопровод отвода очищенной воды; 14 — трубопроводы отвода промывной воды

Количество фильтров определяется размерами и длиной осветлителя со взвешенным осадком. По длине осветлителя может быть устроено несколько фильтров путем устройства поперечных перегородок.

Принципиальная схема очистки воды с использованием смесительно-фильтровального блока представлена на рис. 6.38.

Рис. 6.38. Принципиальная схема очистки воды с использованием смесительно-фильтровального блока:

- 1 — подача исходной воды; 2 — смесительно-фильтровальный блок; 3 — р. ч. в.; 4 — подача очищенной воды потребителю; 5 — первичное хлорирование; 6 — подача коагулянта; 7 — подача флокулянта (при необходимости); 8 — вторичное хлорирование; 9 — насосная станция II-го подъема; 10 — промывной насос; 11 — подача воды на промывку фильтров





Рассмотренные конструкции могут быть использованы при переоборудовании существующих осветлителей со взвешенным осадком, а также при строительстве новых водоочистных станций.

#### **6.2.6. Применение современных реагентов: коагулянтов и флокулянтов**

Когда в практике водоснабжения использовались только два традиционных классических реагента — сульфат алюминия и полиакриламид, то при обсуждении интенсификации процессов коагулирования говорилось о мероприятиях, связанных с этими двумя основными реагентами.

В настоящее время имеется громадный арсенал новых коагулянтов и флокулянтов анионного и катионного типа. Детальное изложение материалов о реагентах приводится в главе 7 — об эффективности реагентов на основании экспериментальных исследований и в главе 8 — о производственном опыте применения новых реагентов на водопроводных станциях России.

#### **6.2.7. Применение окислителей: хлора и озона**

##### *Первичное хлорирование воды*

Первичное хлорирование воды осуществляется не только для обеззараживания, но и для борьбы с планктоном, поддержания необходимого санитарного состояния водоочистных сооружений, а также для снижения цветности и интенсификации процессов коагуляции.

Введение хлора обычно предшествует коагуляции.

Проблема наличия токсичных хлорорганических соединений (ХОС) в питьевой воде, образующихся при ее обеззараживании хлором, впервые в России была рассмотрена в НИИ КВОВ в середине 70-х годов.

В настоящее время в связи с повышением требований по содержанию в питьевой воде токсичных хлорорганических

соединений следует более разумно подходить к важному процессу обработки воды — обеззараживанию ее хлорреагентами. Качество воды по бактериологическим показателям зависит не только от дозы хлора и времени контакта воды с хлором, но и в большей степени от глубины очистки воды по мутности, цветности и концентрации органических загрязнений.

На многих водопроводных станциях обеззараживание воды хлором проводится на этапе предварительного хлорирования. При этом повышенные дозы хлора применяются с таким расчетом, чтобы остаточного хлора было достаточно вплоть до резервуара чистой воды без дополнительного вторичного хлорирования.

В то же время хлорирование неочищенной воды высокими дозами хлора, как правило, не повышает эффективность обеззараживания воды, а создает благоприятные условия для образования повышенных концентраций хлорорганических загрязнений, которые не удаляются традиционными методами очистки воды. Кроме того, при наличии в воде органических загрязнений возникает опасность вторичного бактериального загрязнения воды даже в присутствии хлора при транспортировании ее населению.

Для уменьшения концентрации ХОС в питьевой воде необходимо осуществить первичное хлорирование воды минимальными дозами хлора только в целях поддержания санитарного состояния очистных сооружений. Основное обеззараживание воды проводится на заключительном этапе ее обработки, после удаления всех нормируемых загрязнений. В этом случае обеспечивается не только минимальное содержание ХОС в питьевой воде, но и повышается эффективность ее обеззараживания.

После многочисленных исследований на более 60 водопроводных станциях (обобщение опыта хлорирования и определение качества воды по содержанию ХОС [22]) были разработаны рекомендации, в которых даны способы очистки воды, направленные в основном на устранение причин образования ХОС в питьевой воде, или методы их удаления [23].

Основными методами, предотвращающими образование ХОС, что неоднократно проверено и скорректировано на практике, являются:

- защита водоемисточника от загрязнения органическими веществами;
- предварительная глубокая очистка воды от органических загрязнений до введения хлорреагента;
- изменение режима хлорирования воды (уменьшение дозы хлора первичного хлорирования, изменение точки ввода хлора или отказ от предварительного хлорирования);
- использование связанного хлора, введение процесса хлораммонизации;
- замена хлора другими окислителями (озон, перманганат калия, диоксид хлора и пр.);
- применение метода УФ-обеззараживания и мембранных методов очистки с использованием нанофильтрационных или ультрафильтрационных мембран.

Наиболее просто уменьшить концентрацию образующихся ХОС в процессе очистки вод можно за счет уменьшения дозы хлора при предварительном хлорировании, как это было неоднократно показано, она не должна превышать 1,5—2 мг/л.

Так, при предварительном хлорировании воды на одной из станций дозой хлора 7 мг/л концентрация хлороформа в очищенной воде доходила до 200 мкг/л, при снижении дозы хлора до 1 мг/л она уменьшалась до 60—80 мкг/л.

На некоторых водопроводных станциях применяют связанный хлор (хлорамины), который получают при одновременной обработке воды хлором и водным раствором аммиака. Впервые хлораммонизация была применена на водопроводных станциях г. Ярославля. Использование хлораминов для обеззараживания воды позволяет на порядок уменьшить концентрацию ХОС в питьевой воде.

В настоящее время для обеззараживания воды все чаще используют вместо жидкого хлора гипохлорит натрия (химический или электролитический).

Перед началом промышленного применения технического гипохлорита натрия в г. Кемерове были проведены исследования по определению влияния вида реагента на последующий процесс очистки воды коагулированием. В этих целях использовались для первичного хлорирования жидкий хлор и гипохлорит натрия. Работа выполнялась с апреля по ноябрь, что давало возможность исследовать процесс коагуляции в широком интервале содержания взвешенных веществ в воде (от 4 до 200 мг/л) [163].

Полученные результаты показали, что независимо от вида хлорсодержащего окислителя расход коагулянта и флокулянта был примерно одинаковым и независимо от способа обеззараживания воды при любом содержании взвешенных веществ процесс коагуляции протекает практически идентично.

В период весеннего паводка при низкой щелочности воды и обычной технологии хлорирования жидким хлором для достижения эффективного осветления на станции применяются подщелачивающие реагенты. Вместе с тем было отмечено, что при использовании технического гипохлорита натрия в этом нет необходимости, так как он содержит 40—90 г/л щелочи.

Комплексные исследования показали эффективность действия гипохлорита натрия, и в настоящее время он постоянно используется на водопроводных станциях производительностью 200 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

#### *Предварительное озонирование воды*

Озонирование воды предназначено для удаления загрязнений антропогенного происхождения, таких как фенолы, нефтепродукты, синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), пестициды, амины и многие другие, которые практически не удаляются на сооружениях с традиционной технологией очистки.

НИИ КВОВ и другими организациями [164—175] проведены многочисленные исследования по определению эф-

эффективности озонирования воды (в сочетании с сорбционными методами и без них) в различных регионах России. Было убедительно показано, что без применения этих методов получить воду требуемого качества из воды загрязненных водных объектов, используемых в качестве источников, невозможно.

Особенно актуальна проблема глубокой очистки воды в настоящее время, когда подготовлены к введению в действие новые нормативные документы, регламентирующие повышенные требования по некоторым показателям качества воды, особенно по группе органических веществ, ПДК для которых понижаются в 20—100 раз. Разработка и принятие закона Российской Федерации «О питьевой воде и питьевом водоснабжении» переводит задачу подготовки воды на новый уровень, что также требует коренного совершенствования технологических процессов очистки воды и водоочистного оборудования.

Озонирование применяется также для удаления загрязнений природного происхождения:

- гуминовых веществ, обуславливающих цветность воды;
- специфического запаха и привкуса, появляющегося при повышенных концентрациях планктона, а также для устранения выделяемых планктоном ядовитых веществ;
- привкусов и запахов (почвы, плесени, травы, рыбы и др.), продуцируемых различными водными организмами;
- неорганических соединений, таких как железо, марганец, сероводород.

Кроме того, озон является более эффективным, чем хлор, дезинфицирующим реагентом в отношении спор и вирусов, а также его роль существенна при обеззараживании воды.

Наиболее целесообразно озонирование применять совместно с сорбционной очисткой, при этом достигается глубокое удаление из воды органических загрязнений, обеспечивается высокое качество питьевой воды.

Принципиальные технологические схемы применения озона и активных углей на водоочистных станциях с традиционными очистными сооружениями представлены на рис. 6.39.

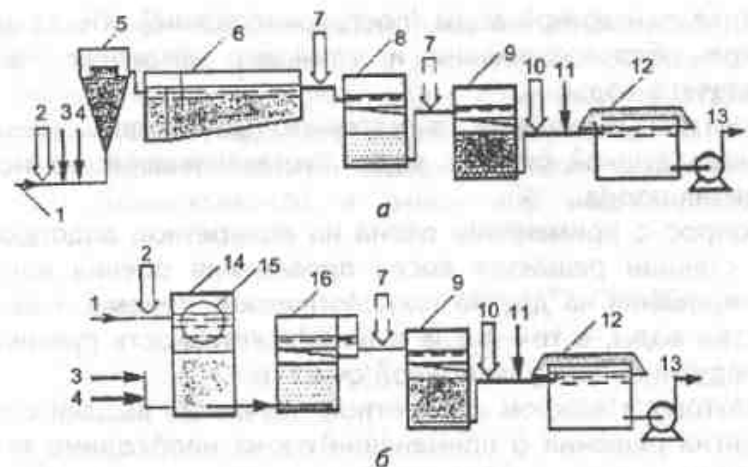


Рис. 6.39. Схема очистки воды от антропогенных загрязнений озонированием:

а — станция с двухступенной схемой очистки воды; б — станция с контактными осветлителями;

- 1 — подача речной воды; 2 — первичное озонирование; 3 — первичное хлорирование; 4 — ввод коагулянта; 5 — смеситель; 6 — отстойник (или осветлитель со взвешенным осадком); 7 — вторичное озонирование; 8 — песчаный фильтр; 9 — угольный фильтр; 10 — третичное озонирование; 11 — вторичное хлорирование; 12 — резервуар чистой воды; 13 — подача питьевой воды потребителю; 14 — входная камера; 15 — сетчатый барабанный фильтр; 16 — контактный осветлитель

На действующих водоочистных станциях озон может использоваться на различных этапах очистки воды. Первичное озонирование (предозонирование) проводится в целях окисления легкоокисляемых органических и неорганических загрязнений, улучшения процесса коагулирования, а также для частичного обеззараживания воды. В этом случае исходная вода обрабатывается небольшими дозами озона. Вторичное озонирование воды позволяет осуществить дальнейшее более глубокое окисление оставшихся загрязнений и, кроме того, повышает эффективность сорбционной очистки, продлевает срок службы активного угля до регенерации, в данном случае озон вводится перед песчаными или угольными фильтрами. Заключительное озони-



рование очищенной воды (постозонирование) обеспечивает полное обеззараживание и улучшает органолептические показатели воды.

Контактные камеры, в которых происходит смешение озоноздушной смеси с водой, устанавливаются в местах введения озона.

Вопрос о применении озона на конкретной водопроводной станции решается после проведения оценки влияния озонирования на другие технологические приемы и методы очистки воды, в том числе и на эффективность протекания последующей коагуляционной очистки.

Поэтому в каждом конкретном случае до выдачи схем и принятия решения о применении озона необходимо проведение предпроектных технологических исследований, в результате которых можно обоснованно судить о целесообразности и эффективности озонирования, определить места введения озона в общую технологическую схему и оценить его влияние на основные процессы очистки воды, применяемые на станции.

Начиная с 1975 г. НИИ КВОВ провел обширные исследования по озонированию воды в различных регионах страны, направленные на решение вопросов использования озонирования при реконструкции существующих станций или строительстве новых водопроводных комплексов очистки воды.

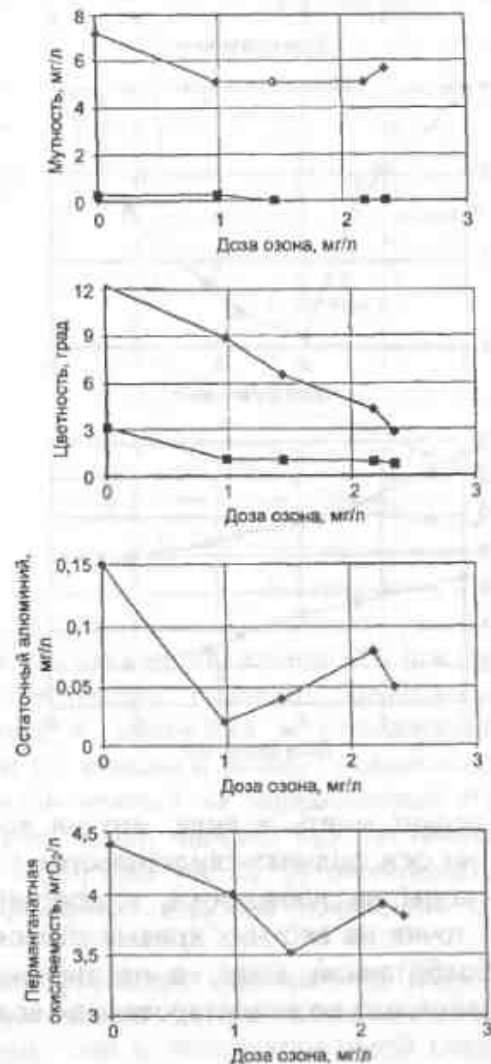
Рассмотрим влияние предварительного озонирования на процесс коагуляции на примере очистки окской воды на Окском водозаборе г. Калуги. Вода р. Оки отличается невысокой цветностью и малой мутностью, в воде имеются органические вещества, характеризующиеся перманганатной окисляемостью до 12 мгО<sub>2</sub>/л.

В целях определения оптимальной дозы озона при обработке воды р. Оки в лабораторных условиях проводилось предварительное озонирование речной воды различными дозами озона. Затем озонированная вода подвергалась коагуляционной очистке различными дозами коагулянтов и флокулянтов в зависимости от качества речной воды. Исследования проводились в характерные периоды года.

На рис. 6.40—6.42 показано влияние дозы озона на изменение мутности, цветности и перманганатной окисляемости при озонировании речной воды. Изменение показателей качества исходной воды при озонировании представлено на графиках верхней кривой. Нижняя кривая характеризует качество озонированной и очищенной коагулированием воды.

Рис. 6.40. Влияние предварительного озонирования на качество речной и очищенной воды при последующем коагулировании (лето 2001 г.),  $D_k = 3$  мг/л:

- озонированная вода;
- озонированная и коагулированная вода



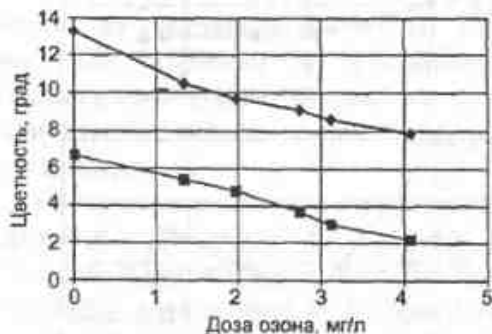
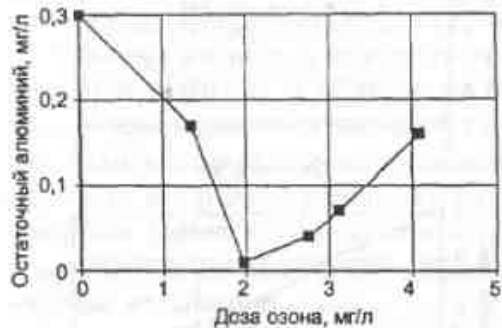
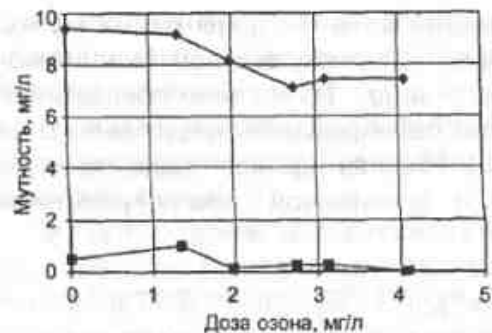


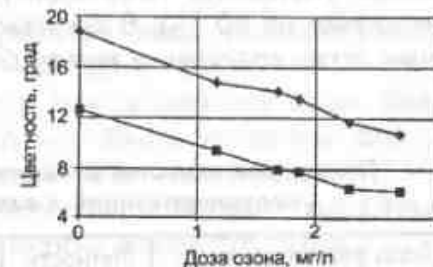
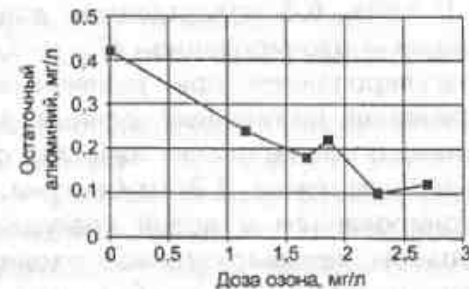
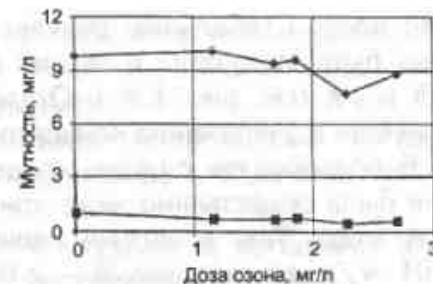
Рис. 6.41. Влияние предварительного озонирования на качество речной и очищенной воды при последующем коагулировании (зима 2002 г.),  $D_k = 3 \text{ мг/л}$ :

- ◆— озонированная вода;
- коагулированная вода

Следует иметь в виду, что на всех графиках значение «0» на оси ординат свидетельствует о том, что озонирование воды не проводится, и соответственно показатели в этой точке на верхних кривых относятся к качеству речной необработанной воды, а на нижних кривых показывают значения только коагулированной воды без озона.

Рис. 6.42. Влияние предварительного озонирования на качество речной и очищенной воды при последующем коагулировании (паводок 2002 г.),  $D_k = 3 \text{ мг/л}$ :

- ◆— озонированная вода;
- коагулированная вода



Практически во всех случаях установлено, что предварительное озонирование позволяет повысить качество очищенной воды по мутности, цветности и перманганатной окисляемости. Как уже указывалось выше, перманганатная окисляемость может увеличиваться на определенных этапах окисления воды (см. рис. 6.40), однако при оптимальной дозе озона (1,5—2,5 мг/л) она на 20 % уменьшается в предварительно озонированной воде по сравнению с неозонированной.

В некоторые периоды существует оптимальная доза озона, при которой концентрация остаточного алюминия в очищенной воде меньше, чем в неозонированной очищен-

ной воде. Стабильные результаты по остаточному алюминию были получены в летний период при дозе озона 1—2,5 мг/л (см. рис. 6.41). Отклонение от этой дозы может привести к увеличению концентрации остаточного алюминия.

В большинстве случаев концентрация остаточного алюминия была существенно ниже при коагулировании озонированной воды. Так, в зимний период она снижалась с 0,3 до 0,01 мг/л, а в паводковый — с 0,4 до 0,1 мг/л (см. рис. 6.42).

В табл. 6.8 представлены данные качества неозонированной и озонированной ( $D_{\text{оз}} = 1,5$  мг/л) воды, очищенной коагулированием при различных дозах коагулянта. При сравнении полученных данных видно, что без предварительного озонирования качество очищенной воды даже при дозе коагулянта 2,3 мг/л хуже, чем с предварительным озонированием и дозой коагулянта 1,0—1,2 мг/л. Таким образом, предварительное озонирование позволяет существенно уменьшить необходимую дозу коагулянта (в данном случае на 50 %). В производственных условиях уменьшение дозы коагулянта может быть около 20—30 %.

Таблица 6.8

Показатели качества очищенной при коагулировании неозонированной и озонированной воды

Доза реагентов, мг/л		Мутность, мг/л	Цветность, град	Остаточный алюминий, мг/л
коагулянта	озона			
2,3	0	0,9	12	0,3
	1,5	0,2	7	0,2
2,0	0	0,8	12	0,36
	1,5	0,8	8	0,31
1,2	0	1,1	13	0,27
	1,5	1,0	10	0,18
1,0	0	1,3	13	0,42
	1,5	0,9	9	0,2

Кроме того, было установлено, что при небольшой (до 5 мг/л) мутности исходной воды в случае применения озонирования и последующего фильтрования очищенная

вода по основным показателям удовлетворяет требованиям норматива. В такие периоды возможна очистка воды только озонированием без коагулирования.

В результате экспериментальных исследований по озонированию воды на Окском водозаборе г. Калуги было установлено:

озонирование не приводит к ухудшению процессов коагуляции воды в условиях очистки окской воды;

предварительное озонирование позволяет повысить качество воды по мутности, цветности, ПО и остаточному алюминию;

необходимая доза озона в исследуемые периоды составляла: летом — 2—3 мг/л, осенью — 2—3 мг/л, зимой — 2—2,5 мг/л, в паводок — 3 мг/л. Рекомендуемые дозы озона, выполняющего основную функцию окисления и обеззараживания воды, повышают эффективность процессов коагуляции;

предварительное озонирование воды позволит уменьшить дозу коагулянта на 20—30 %;

существует возможность при обработке воды малой мутности (в зимний период) исключить из схемы очистки воды коагулирование и заменить его озонированием.

Подобные данные были получены в большинстве случаев при очистке природных вод многих водоисточников.

Однако имеются примеры, когда предварительное озонирование ухудшает протекание коагуляционных процессов. Такое явление наблюдалось, например, при очистке воды р. Кондомы (г. Калтан Кемеровской обл.). Качество воды этой реки характеризуется в обычное время содержанием взвешенных веществ от 0 до 40 мг/л, цветностью — от 17 до 90 град (в периоды паводка — до 290 град) и перманганатной окисляемостью — от 1,3 до 8,0 мг $O_2$ /л. В воде отмечается наличие железа в пределах от 0,15 до 0,5 мг/л, постоянное присутствие нефтепродуктов на уровне от 0,2 до 0,7 мг/л и в отдельные периоды — фенолов в концентрациях до 0,006 мг/л.

Для воды такого качества применение дополнительных методов — озонирования и сорбционной очистки воды —



обязательно, так как традиционная реагентная схема не обеспечит требуемого снижения органических загрязнений. В опытах по реагентной обработке воды были выбраны следующие дозы реагентов: коагулянта — 6–8 мг/л, соды — 10 мг/л и ПАА — 0,4 мг/л.

Результаты озонирования речной воды дозами озона от 1 до 7 мг/л показали, что уменьшение цветности и окисляемости воды в наибольшей степени происходило при дозах озона до 4 мг/л. При повышении доз озона с 4 до 7 мг/л заметного повышения эффективности очистки не наблюдалось. Вместе с тем при дозах 3–4 мг/л отмечалось повышение мутности очищенной воды.

При определении влияния озона на эффективность последующей реагентной обработки озонированную воду с дозами озона от 1 до 6 мг/л коагулировали дозой сульфата алюминия 6 и 8 мг/л. Результаты исследований представлены на рис. 6.43.

Цветность очищенной воды в зависимости от режима обработки составляла 0–18 град и уменьшалась с увеличением доз озона. В то же время величина остальных показателей, таких как мутность, окисляемость и остаточный алюминий — повышалась с увеличением доз озона и была наименьшей в случае коагулирования неозонированной воды.

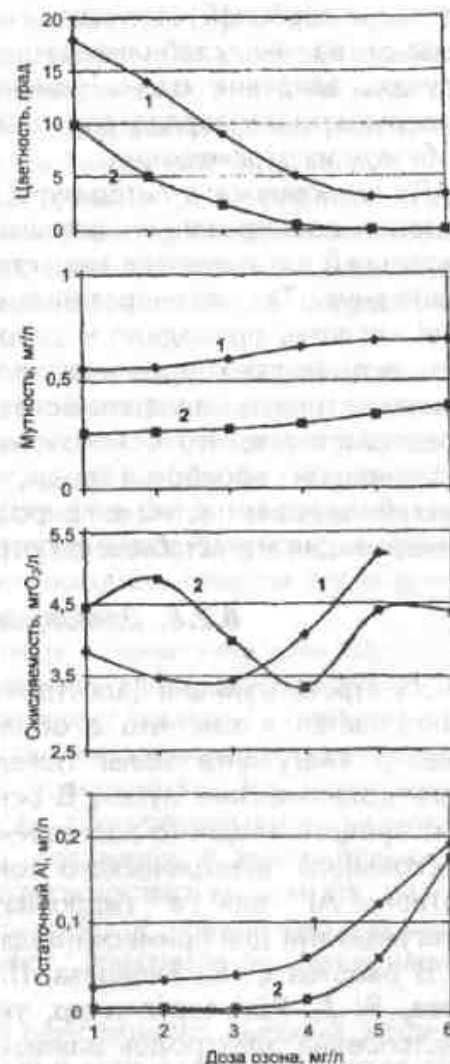
На основании экспериментальных данных было установлено, что для условий водоочистной станции г. Калтана возможно введение озона перед песчаными или угольными фильтрами, однако было решено применить озонирование воды перед песчаными фильтрами, так как по местным условиям это исключало необходимость в разрыве потока обрабатываемой воды между песчаными и угольными фильтрами и потребность в дополнительных коммуникациях. Кроме того, введение озонирования повысит эффективность работы как песчаных, так и угольных фильтров.

Таким образом, исследования, проведенные на различных водоисточниках, показали, что предварительное озонирование неоднозначно влияет на коагуляционный процесс. В зависимости от качества исходной воды, дозы озона и условий проведения процессов очистки воды —

технологии очистки на данной водопроводной станции — качество очищенной воды может улучшаться (повышается глубина очистки воды от органических загрязнений, сокращается расход коагулянта), а может и ухудшаться (при этом возрастают мутность воды и концентрация остаточного алюминия).

Рис. 6.43. Влияние озонирования на эффективность процесса коагулирования воды (коагулирование озонированной воды):

—●— озонированная вода;  
—■— коагулированная вода



В основном это относится к маломутным цветным водам, и объясняется тем, что в результате предварительного озонирования изменяется структура содержащихся в воде органических соединений. Так, многие высокомолекулярные соединения, хорошо удаляемые коагулированием, при деструкции в процессе озонирования превращаются в низкомолекулярные соединения, которые труднее извлекаются из воды сорбцией частицами гидроксида алюминия и оказывают на них стабилизирующее действие. В некоторых случаях введение озона изменяет природу или величину поверхностного заряда содержащихся в воде частиц, способствуя их агломерации.

По имеющимся в литературе данным, механизм дестабилизации озонированием взвешенных частиц в системе, содержащей органические вещества, определяется структурой последних. Так, озонирование воды, содержащей гуминовые кислоты, приводило к разрушению ароматических колец, а в опытах с органическими веществами — к образованию длинных алифатических цепей. В связи с этим предполагается, что если озонирование способствует коагуляционной обработке воды, то основным механизмом дестабилизации частиц в природных водах может быть полимеризация метастабильной оканки.

### 6.2.8. Электрокоагуляция

Электрокоагуляция (электрохимическое коагулирование) заключается в том, что в обрабатываемую воду вводятся вместо коагулянта ионы тяжелых металлов, полученные электрохимическим путем. В основе электрокоагуляции лежит процесс анодного растворения металлов под действием постоянного электрического тока. Перешедшие в раствор катионы  $Al^{3+}$  или  $Fe^{2+}$  гидролизуются и служат активными коагулянтами для примесей воды.

В работах С. В. Яковлева, П. П. Строкача, Е. Д. Бабенкова, Я. Д. Рапопорта и др. указывается, что на процесс растворения электродов влияют физико-химические, элект-

рические и гидродинамические факторы: активная реакция среды, ее солевой состав, температура, состав электрода, плотность тока, частота смены полярности, скорость движения воды в межэлектродном пространстве и др. [5, 176].

Интересные сведения о технологических свойствах коагулирующих растворов, полученных путем анодного растворения алюминия и железа в растворах серной кислоты и поваренной соли, приведены в работе [177].

В отличие от обычного коагулирования солями железа и алюминия при электрокоагуляции вода не обогащается анионами  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$  и др., что сказывается благоприятно на обработке вод, содержащих растворенные загрязнения.

При электрокоагуляции в отличие от обработки воды кислыми солями алюминия и железа происходит некоторое повышение pH среды, благодаря которому в отдельных случаях отпадает необходимость в добавке подщелачивающих реагентов.

Большинство аппаратов для очистки воды электрокоагуляцией представляют собой безнапорные пластинчатые электролизеры горизонтального или вертикального типа, в зазорах между которыми протекает обрабатываемая вода или раствор электролита. Для борьбы с пассивацией металлов (в целях снижения затрат электроэнергии), а также для равномерного износа электродных пластин периодически производят смену их полярности.

Помимо электрокоагуляторов с пластинчатыми электродами делались попытки применить для целей очистки воды коагуляторы со стружечными электродами — отходом металлообработки. Преимущество металлической стружки состоит в большей площади поверхности. Но имеющиеся электротехнические трудности с использованием металлической стружки (или лома), связанные с неопределенной формой электродов и невозможностью выдержать малое расстояние между ними, приводят к повышению расхода электроэнергии и затрудняют практическое применение этого метода.

Метод электрокоагуляции обеспечивает высокий эффект удаления из воды загрязнений в виде взвесей (минерально-

го, органического и биологического происхождения), коллоидов (соединений железа, веществ, обуславливающих цветность воды, и т. д.), а также отдельных веществ, находящихся в молекулярном и ионном состояниях.

Однако этот метод имеет существенные недостатки, связанные с повышением расхода электроэнергии и металла на единицу обрабатываемой воды, относительно высокой стоимостью листового металлического железа и алюминия.

Вместе с тем компактность и простота эксплуатации электрокоагуляторов, а также возможность механизации, управления и автоматизации электрохимических процессов делают метод электрохимической коагуляции пригодным при обработке малых объемов воды и особенно удобным для небольших объектов и станций малой производительности (на судах морского и речного флота, в сельском хозяйстве, для малых поселков и т. д.).

Метод электрокоагуляции перспективен также при решении вопросов водоснабжения объектов на Крайнем Севере и удаленных районов, куда поставка коагулянтов затруднительна, и удобнее проводить обработку воды коагулянтном, получаемым на месте [176].

## **Глава 7. Оценка эффективности применения различных реагентов на основании экспериментальных исследований**

### **7.1. Применение различных типов коагулянтов для очистки воды р. Волги и ее притоков**

За последние десятилетия авторами накоплен громадный экспериментальный материал по изучению эффективности различных коагулянтов в технологии очистки природных вод в различных городах и регионах России. В качестве примеров подробнее остановимся на очистке воды рек Волги и волжского бассейна.

Наиболее детально исследования проведены в Ярославле, Калуге и Ижевске, где работы выполнялись в течение года во все характерные периоды изменения качества воды (зимний, летний, осенний периоды и период весеннего паводка) [178—180].

#### **7.1.1. Методика экспериментальных исследований**

При исследованиях применялись коагулянты и флокулянты отечественного и зарубежного производства, которые могут быть использованы для подготовки питьевой воды (табл. 7.1).

Сравнение эффективности различных коагулянтов и флокулянтов проводилось по результатам пробного коагулирования воды, которое выполнялось на установке «Капля» по общепринятой методике.



Марки исследуемых коагулянтов и флокулянтов

Наименование реагента	Производитель	Выпускаемая форма	Массовая доля основного вещества, %	Примечание
Сульфат алюминия	ОАО «АУРАТ»	Сухой	16	
AVR — совместный алюминиевый и железный коагулянт	«Кемира» (Финляндия)	—	13,5 Доля железа — 0,3	
ALG — коагулянт на основе СА	—	—	17	
PAX (ПОХА) «АКВА-АУРАТ™»	ОАО «АУРАТ»	Жидкий	10 и 17,5	
Оксихлорид алюминия	ПО «Сорбент» (г. Пермь)	Гель	14—15, 1/3 основной 19—22, 2/3 основной	
Оксихлорид алюминия	ОАО «АУРАТ»	Сухой	30	
Композиционный коагулянт-флокулянт СА-3Н-600	ПО «Сорбент»	—	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — 14 ПАА — 0,15	
ПАА	г. Дзержинск	Гель	7	Анионный
ВПК-402	ПО «Каустик» (г. Стерлитамак)	—	25—42	Катионный

Superfloc C-577	СУТЕС Ind., США	—	50	—
Superfloc A-100	То же	Сухой	90	Анионный
Fennopol K-211	«Кемира»	—	100	Катионный
Fennopol K-321	—	—	100	Анионный
Praestol 611 TR	ООО «Дегусса Евразия»	—	100	Катионный
Praestol 650 TR	То же	—	100	—
Praestol 2515 TR	—	—	100	Анионный
Praestol 2530 TR	—	—	100	—
Praestol 2540 TR	—	—	100	—

При выполнении пробного коагулирования в стаканы емкостью 1 л наливалась исходная вода, вводились растворы исследуемых коагулянтов, перемешивались, затем (при необходимости) вводились флокулянты и проводилось вначале быстрое перемешивание в течение 1 мин, затем — медленное в течение 3—5 мин. После этого вода отстаивалась в течение 30 мин для осаждения образовавшихся при коагулировании хлопьев. С учетом явления гравитационной коагуляции (столкновение и слипание частиц в результате различной скорости осаждения) осаждение в течение 10—30 мин в слое воды толщиной около 10 см в наибольшей степени соответствует условиям осветления воды в производственных отстойниках глубиной 3—4 м за 2—3 ч.

В течение 30-минутного отстаивания через равные интервалы времени отбирались пробы воды пипеткой с погружением ее на глубину 8—10 см от уровня жидкости. Пробы наливались в конические колбы и взбалтывались до полного разрушения хлопьев.

Оценка осветления воды проводилась измерением оптической плотности на фотоэлектроколориметре при длине волны 540 нм. Оптическая плотность таких проб с разрушенными хлопьями пропорциональна весовой концентрации взвешенных веществ. Идентичность весового и оптического методов определения концентрации суспензии обусловлена постоянством размера первичных агрегатов, получающихся при разрушении хлопьев во время отбора проб и встряхивании перед измерением.

По окончании отстаивания определялись значения pH осветленной воды, затем вода фильтровалась через промытые горячей дистиллированной водой бумажные фильтры. Определение pH в нефiltroванной пробе воды позволяет более точно характеризовать условия, при которых в данном опыте происходили гидролиз коагулянта и образование твердой фазы. В фильтрате определялись цветность, мутность, перманганатная окисляемость, концентрация остаточного алюминия и щелочность.

### 7.1.2. Результаты экспериментальных исследований

Наиболее трудно процессы коагуляции протекают при холодной температуре воды (зимний период и весенний паводок). Поэтому эффективность различных реагентов очень важно определить именно в эти периоды.

Исследования показали, что при очистке воды р. Волги (г. Ярославль), так же как и других водоисточников, на качество очищенной воды в первую очередь влияет доза коагулянта СА. На рис. 7.1 показано изменение качества очищенной воды в зависимости от дозы коагулянта. Доза реагента до 11 мг/л была недостаточной для получения качества воды по всем нормируемым показателям. При ее изменении от 11 до 15 мг/л по  $Al_2O_3$  качественные показатели воды улучшались, в результате цветность воды уменьшилась от 25 до 10 град; мутность — от 0,9 мг/л до 0; ПО — от 6,8 до 4,9 мг $O_2$ /л; остаточный алюминий — от 0,69 до 0,06 мг/л.

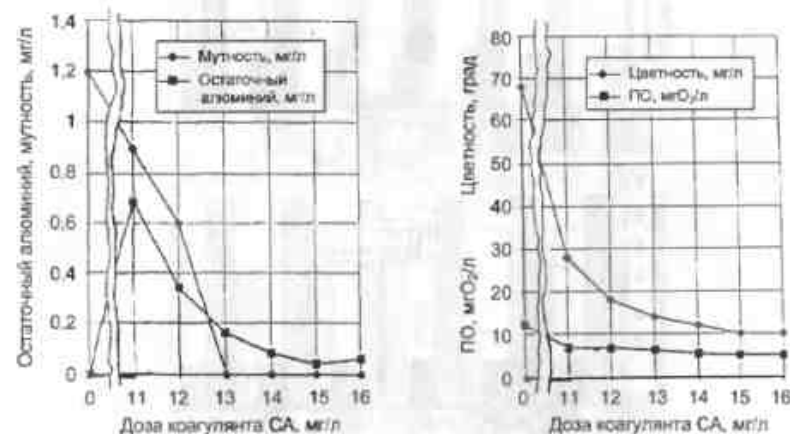


Рис. 7.1. Влияние дозы сульфата алюминия на изменение качества воды р. Волги при ее коагулировании и осветлении

Эффективность осветления воды при отстаивании также улучшается с увеличением дозы коагулянта. При этом величины pH и щелочности снижались в этом интервале доз коагулянта соответственно с 7,5 до 6,5 и с 2 до 1,1 мг-экв/л.

Причем увеличение дозы коагулянта более 15 мг/л практически не влияет на эффективность очистки воды.

Финские коагулянты AVR и ALG на основе сульфата алюминия по своим коагуляционным свойствам мало отличаются от СА. На рис. 7.2 показано изменение качества воды р. Волги при коагулировании ( $D_{\text{коаг}} = 12$  и 14 мг/л).

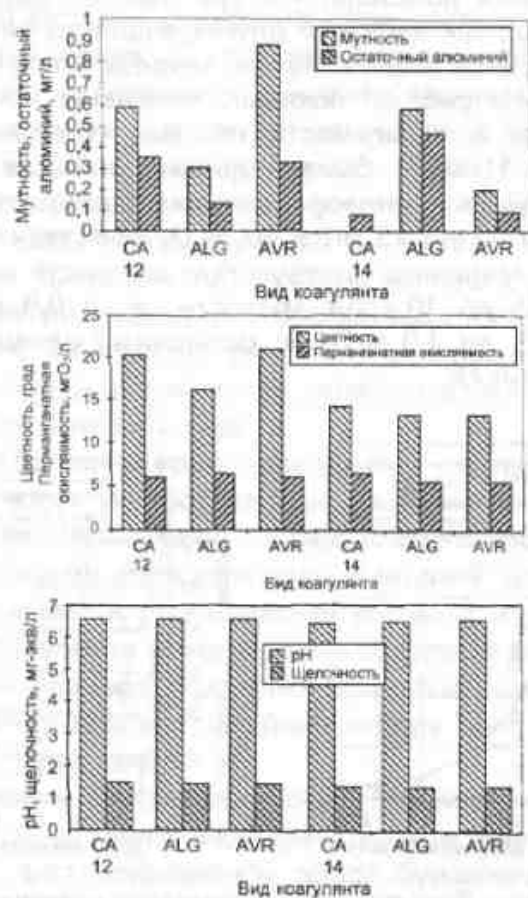


Рис. 7.2. Влияние вида коагулянта на основе сульфата алюминия на эффективность очистки воды р. Волги при коагулировании (зимний период)

Наибольшая эффективность при коагулировании воды отмечается при использовании оксихлоридов алюминия. Качество очищенной воды ОХА характеризуется меньшей

мутностью, цветностью, концентрацией остаточного алюминия, чем при применении СА. Также следует отметить, что при использовании ОХА рН воды снижается с 7,32 до 7,24 и щелочность — с 2,14 до 1,98—2 мг-экв/л, а при СА — до 6,5—6,6 и 1,44—1,5 мг-экв/л, соответственно (рис. 7.3). Изменение величины этих показателей при коагулировании существенно влияет на процесс очистки воды с низкой щелочностью, а также на коррозионную активность очищенной воды.

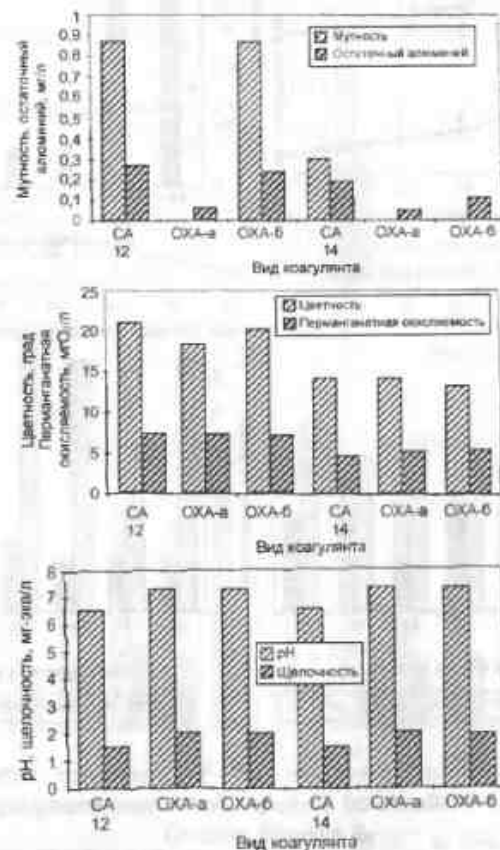


Рис. 7.3. Сравнение эффективности очистки воды р. Волги при коагулировании сульфатом алюминия и оксихлоридом алюминия (зимний период):

ОХА-а, ОХА-б — коагуляторы ОАО «Сорбент», г. Пермь;  
ОХА-в — коагуляторы ОАО «Аурат»



Применение ОХА для очистки воды р. Волги значительно повышает интенсивность осветления воды при отстаивании (рис. 7.4). Так, мутность осветленной воды с ОХА в зимний период практически вдвое меньше, чем с СА.

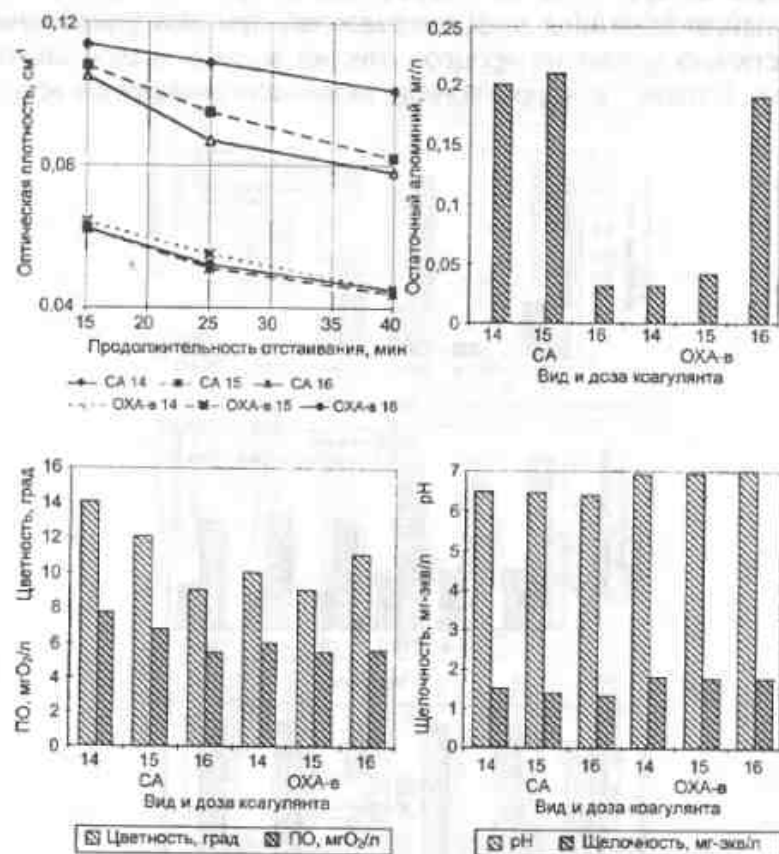


Рис. 7.4. Влияние дозы СА и ОХА-в на процесс осветления и качество очищенной воды р. Волги при коагулировании в зимний период

На рис. 7.4 показано влияние дозы СА и ОХА на качество очищенной воды. Так, доза коагулянта СА существенно влияет на процесс осветления при отстаивании, концентрацию остаточного алюминия, цветность и перманганатную

окисляемость: чем больше доза, тем глубже очистка воды. В то же время доза коагулянта ОХА в меньшей степени оказывает влияние на процесс очистки воды, эффективность осветления даже при дозе 14 мг/л значительно выше, чем при дозе СА 16 мг/л. Увеличение дозы ОХА выше оптимальной, в данном случае с 15 до 16 мг/л, приводит к ухудшению качества очищенной воды.

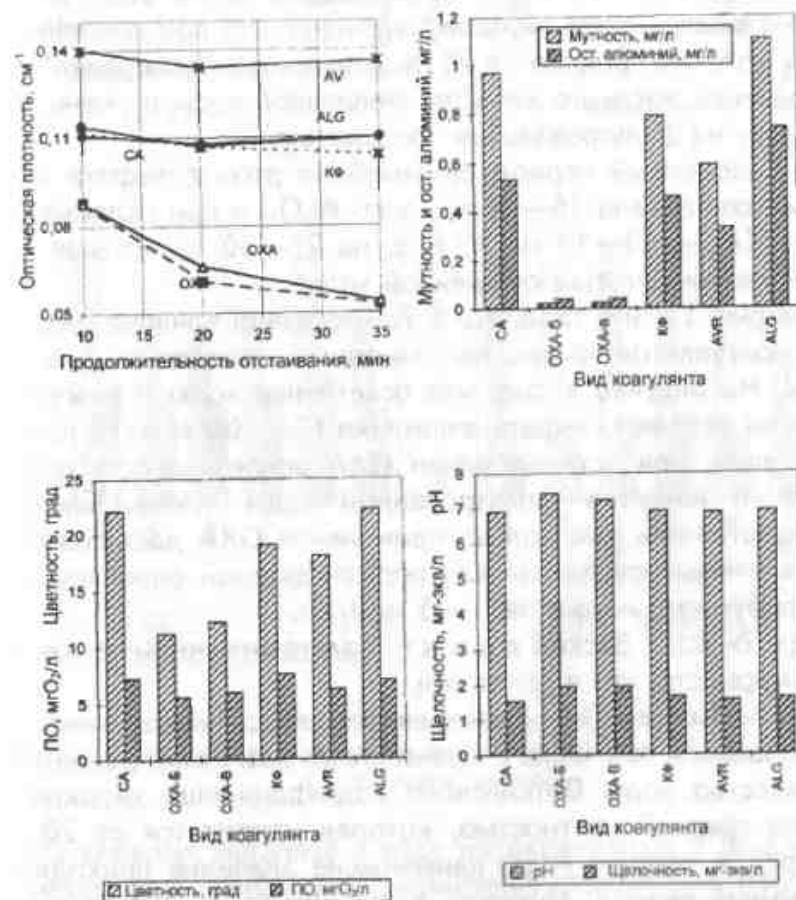


Рис. 7.5. Влияние вида коагулянта (доза 12 мг/л) на процесс осветления и качество очищенной воды р. Волги в зимний период

Для получения наиболее объективной оценки реагентов один из опытов очистки воды проводился с дефицитной дозой реагентов (12 мг/л по  $Al_2O_3$ ). На рис. 7.5 видно, что осветление воды при отстаивании с использованием коагулянтов на основе сульфата алюминия в этих условиях было неэффективно. Особенно следует отметить, что даже при дефицитной дозе ОХА качество очищенной воды по мутности, цветности и остаточному алюминию также было значительно выше. Таким образом, очевидно, что при применении ОХА можно в среднем на 20 % снизить дозу коагулянта при сохранении высокого качества очищенной воды и уменьшить нагрузку на фильтровальные сооружения.

В паводковый период оптимальная доза сульфата алюминия составляла 16—18 мг/л по  $Al_2O_3$ , а при использовании ОХА — 10—12 мг/л, т. е. на 25—30 % меньше при одинаковом качестве очищенной воды.

На рис. 7.6 и в табл. 7.2 и 7.3 показано влияние различных коагулянтов на процесс очистки и качество очищенной воды. На рисунке видно, что осветление воды с коагулянтами на основе сульфата алюминия (СА, КФ и AVR) протекает вяло, при использовании ОХА эффективность осветления и качество фильтрованной воды лучше. Следует также отметить, что только применение ОХА дает возможность уменьшить показатель перманганатной окисляемости до требуемого норматива — 5 мг $O_2$ /л.

При очистке окской воды в г. Калуге отмечены те же закономерности, что и волжской.

В г. Ижевске был проведен комплекс многолетних исследований, в том числе с применением различных реагентов.

Качество воды Воткинского водохранилища характеризуется средней цветностью, которая изменяется от 20 до 50 град в течение года, наименьшие значения приходятся на зимний период. Мутность воды — невысокая и в среднем составляет 0,5—2 мг/л, причем большую часть года не превышает 1,5 мг/л, в паводковый период достигает максимумом 5 мг/л.

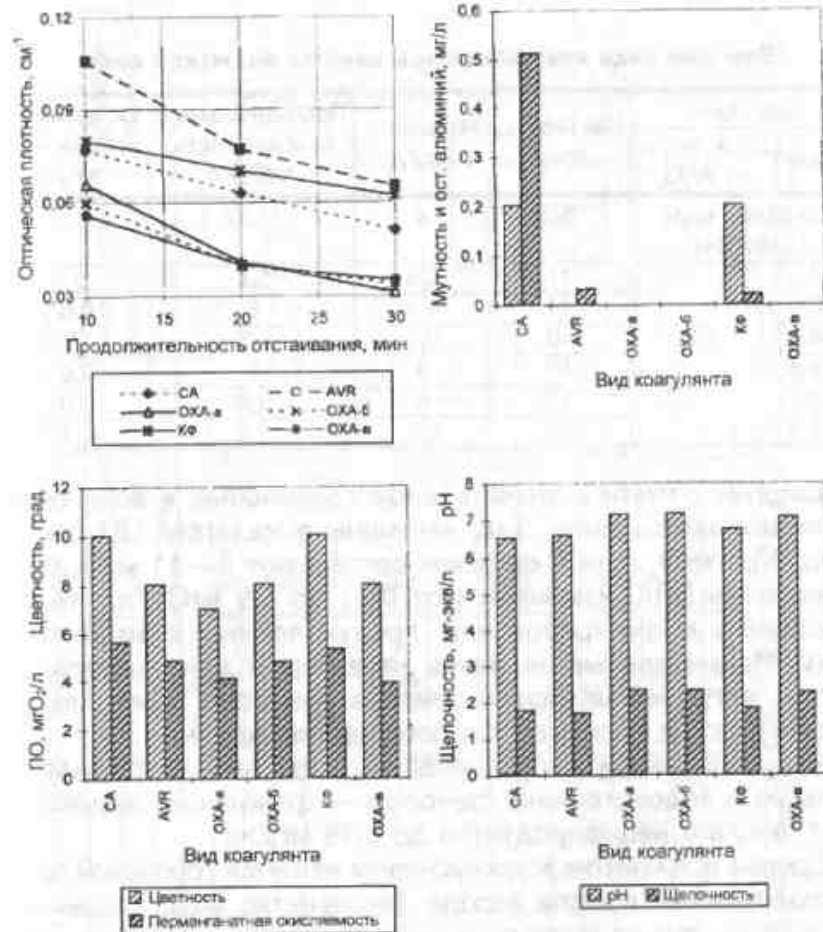


Рис. 7.6. Влияние вида коагулянта (доза 14 мг/л) на процесс осветления и качество очищенной воды р. Волги в паводковый период

Из тяжелых металлов в воде водохранилища в отдельные периоды года отмечается повышенное содержание марганца до 4 ПДК, в среднем изменяется от 0,05 до 0,42 мг/л, на уровне ПДК — железо.

Таблица 7.2

## Влияние вида коагулянта при очистке волжской воды

Коагулянт		Цветность, град	Мутность, мг/л	Перманганатная окисляемость, мгО <sub>2</sub> /л	Остаточный алюминий, мг/л
марка	доза, мг/л по Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				
Исходная вода (паводок)		50	4	11,37	—
СА	10	17	0,9	5,8	0,3
AVR		11	0,1	6	0,04
ОХА-а		10	0,1	5,5	0
ОХА-б		10	0	5	0,05
КФ		12	0	5,8	0,04
ОХА-в		15	0,7	5,5	0,12

Следует отметить значительное содержание в воде органических загрязнений. Так, величины показателя ПО достигают 13,5 мгО<sub>2</sub>/л и в среднем составляют 9—11 мгО<sub>2</sub>/л, а показатель БПК<sub>5</sub> изменяется от 0,05 до 5,9 мгО<sub>2</sub>/л, что существенно выше требований, предъявляемых к водоисточнику. Максимальные значения характерны для зимнего периода, когда из-за низкой температуры воды замедляются биологические процессы самоочищения водоема.

Из специфических органических загрязнений отмечается наличие в водоисточнике фенолов — фенольный индекс до 0,017 мг/л и нефтепродуктов до 0,19 мг/л.

Другим источником водоснабжения является городской пруд, расположенный в черте города. На качество воды оказывают влияние не только природные загрязнения, но и сточные воды ряда предприятий, находящихся в непосредственной близости от пруда, а также поверхностные стоки с территории города.

Качество прудовой воды характеризуется сравнительно небольшой цветностью — от 15 до 45 град и лишь в паводок она увеличивается до 60—70 град. Мутность воды изменяется от 0,4 до 7 мг/л, в основном не превышает 2 мг/л. Следует отметить высокий уровень содержания в прудовой воде аммонийного азота, который в среднем составляет 0,4—0,5 мг/л и в паводковый период достигает 0,7—2,8 мг/л, что может свидетельствовать о попадании в водоисточник антропогенных загрязнений.

Таблица 7.3

## Влияние вида коагулянта при очистке воды рек Волги и Которосли

Время года	Коагулянт	Доза коагулянта, мг/л	Цветность, град	Мутность, мг/л	рН	Щелочность, мг-экв/л	Перманганатная окисляемость, мгО <sub>2</sub> /л	Остаточный алюминий, мг/л
Зима	Исходная вода		68	1,5	7,7	2,06	13,7	—
	СА	15	14	0	6,5	1,3	6	0,12
	ALG		6,6			5,6	0,08	
	AVR		7		6,4	1,2	4,3	0,04
	ОХА		8		7	1,7	4	0,06
	ПОХА		7		6,9		0,04	
	СА		22		6,8	1,52	7,1	0,54
	ALG	12		1,1	6,9	1,56	7	0,73
	AVR		18	0,56	6,8	1,54	5,9	0,3
	ОХА		12	0	7,3	1,92	5,7	0,03
ПОХА	13			7,2	1,9	5,8	0,02	
Весна	Исходная вода		49	20,5	7,3	1,28	14,6	—
	СА	7	21	0,68	6,7	1,06	6,6	0,25
	ALG		22	0,87	1	6,8	0,3	
	AVR		21	1,15	6,9	1,02	5,1	0,15
	ОХА		18	0,4	7,2	1,14	0,1	
	ПОХА		19	0,3	7,1	1,1	5,2	0,08

Примечание. ОХА — реагент пермского завода 2/3 основной; ПОХА — реагент московского завода "Аурат"



На загрязнение водоисточника антропогенными веществами также указывают высокие значения показателя перманганатной окисляемости. Так, содержание органических загрязнений по показателю ПО изменяется от 5 до 13 мгО<sub>2</sub>/л, в среднем составляет 7—9 мгО<sub>2</sub>/л.

В прудовой воде периодически отмечается наличие повышенных концентраций нефтепродуктов — 0,2—0,26 мг/л.

Анализ качества воды по содержанию марганца показывает, что его концентрация изменяется в широких пределах (от 0,05 до 0,8 мг/л), причем максимальные концентрации отмечаются, как правило, в зимний и весенний периоды (январь—апрель), когда вода находится подо льдом и содержание свободного кислорода в воде — минимальное.

Характерные результаты исследований различных реагентов на эффективность очистки воды Воткинского водохранилища коагулированием представлены на рис. 7.7—7.9. Наилучшее осветление воды при осаждении получено в результате использования финского коагулянта AVR (доза — 8 мг/л) и ПАА (доза — 0,1 мг/л). Коагулянт AVR, основную долю которого составляет сульфат алюминия и 0,3 % железа, эффективен при очистке маломутных вод. Этот коагулянт был лучше, чем другие, и с точки зрения удаления органических загрязнений (цветности и ПО) (рис. 7.7). Аналогичные опыты проведены при использовании различных коагулянтов в сочетании с финским анионным флокулянтом А-321 (рис. 7.8), которые также показали, что осветление воды отстаиванием лучше проходит при использовании коагулянтов AVR, OXA, ALG.

При сравнении различных коагулянтов при очистке прудовой воды (рис. 7.10 а) установлено, что с точки зрения осветления воды эффективность их уменьшается в следующей последовательности: AVR, OXA, CA, ALG и КФ.

На рис. 7.10 б представлены данные по изменению показателя перманганатной окисляемости и концентрации остаточного алюминия в зависимости от вида применяемого коагулянта. Здесь следует отметить, что наиболее глубокое удаление органических загрязнений наблюдается

при использовании КФ, ALG и OXA. Так, КФ обеспечивает снижение окисляемости до 5,1 мгО<sub>2</sub>/л по сравнению с 7,2 мгО<sub>2</sub>/л при использовании сульфата алюминия. Концентрация остаточного алюминия также минимальная при коагулировании с OXA и КФ — 0,4 мг/л, при введении СА — 0,8 мг/л.

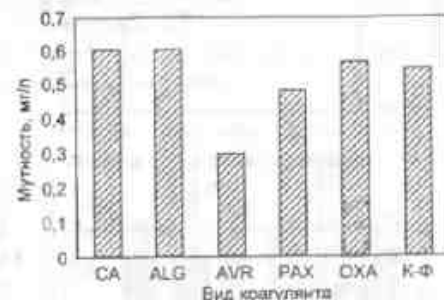
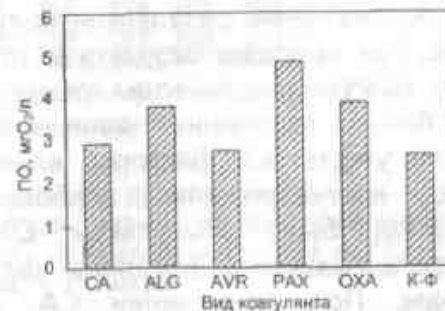
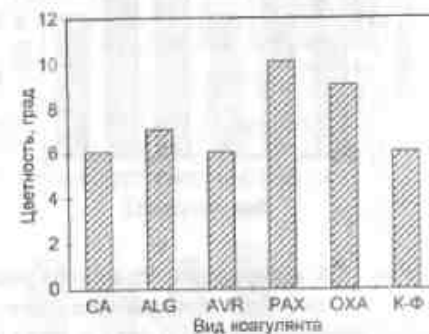


Рис. 7.7. Влияние вида коагулянта на качество очищенной воды (лето 1997 г.), доза коагулянта 8 мг/л; доза ПАА — 0,2 мг/л (г. Ижевск).  
Исходная вода: мутность — 1,35 мг/л; цветность — 43 град; ПО — 7,1; щелочность — 0,57; pH — 7,25



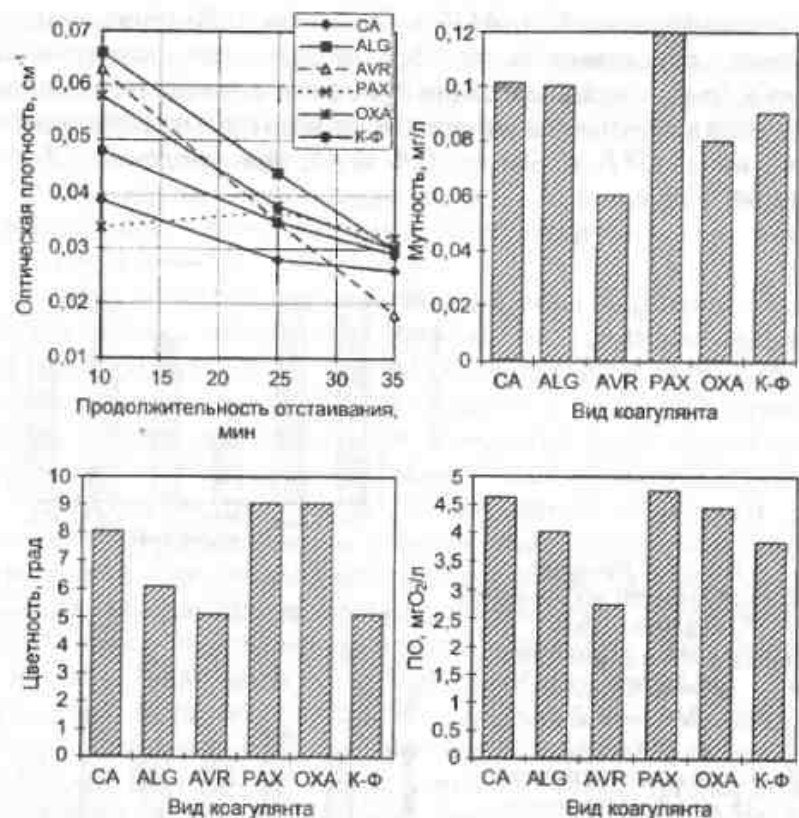


Рис. 7.8. Изменение качества очищенной воды в зависимости от вида коагулянта (лето 1997 г., г. Ижевск), доза коагулянта — 7 мг/л; доза флокулянта А-321 — 0,2 мг/л

Аналогичные результаты получены в другой серии опытов, где хорошие результаты отмечены при использовании для коагулирования воды прежде всего КФ, AVR, OXA и СА.

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что, если учесть все факторы, влияющие на процесс очистки воды коагулированием, наиболее эффективными в данный период были коагулянты OXA, AVR, КФ. При их использовании достигалось высокое качество очищенной воды. При применении СА или ALG для получения аналогичного эффекта требуются их повышенные дозы.

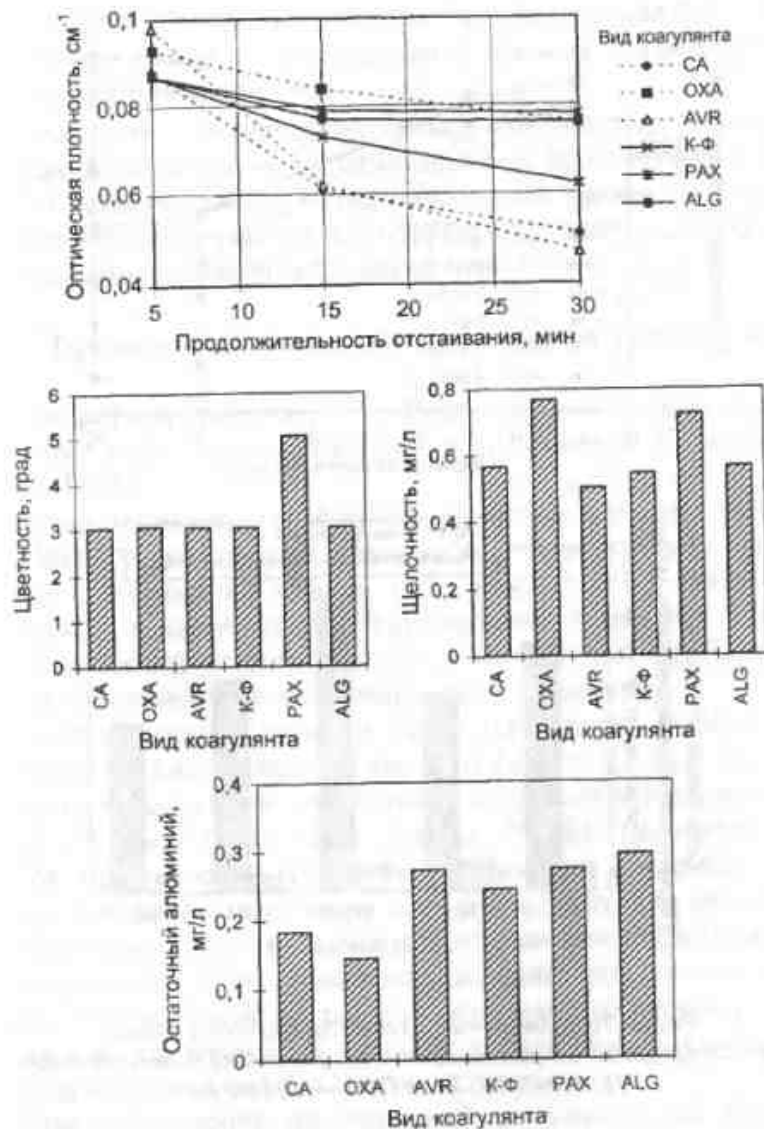


Рис. 7.9. Изменение качества очищенной воды Воткинского водохранилища в зависимости от вида коагулянта (г. Ижевск, паводок 1998 г.), доза коагулянта — 6 мг/л; доза ПАА — 0,2 мг/л

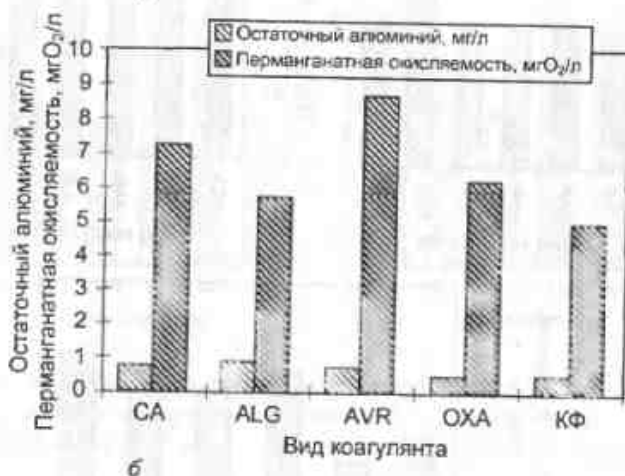
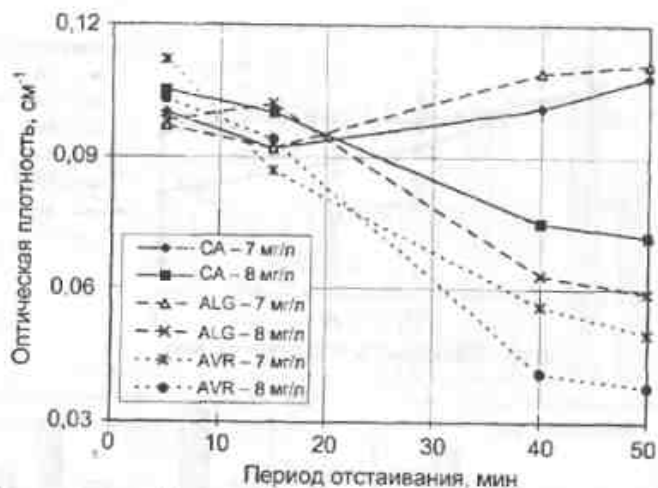


Рис. 7.10. Изменение качества прудовой воды при ее коагулировании различными коагулянтами в период паводка (г. Ижевск), доза ПАА — 0,4 мг/л

Неудовлетворительная работа очистных сооружений в отдельные периоды года во многих случаях объясняется особенностями процесса коагулирования:

- медленным гидролизом коагулянта и малой скоростью хлопьеобразования при низких температурах воды;

- недостаточной прочностью плохо оседающих в отстойниках хлопьев, приводящей к выносу загрязнений из загрузки фильтров;

- малыми крупностью и плотностью хлопьев, образующихся при коагуляции цветных маломутных вод.

Для стабилизации и регулирования процесса очистки, ускорения образования прочных быстрорастущих хлопьев необходимо применять флокулянты.

## 7.2. Применение реагентов для очистки невской воды

Интересная работа по выбору реагентов для очистки невской воды была проведена в водоканале Санкт-Петербурга [181].

Источником водоснабжения Санкт-Петербурга является р. Нева, вода которой относится к маломутным цветным водам с низким щелочным резервом. Очистка такой воды связана с определенными трудностями и требует тщательного выбора реагентов, их доз и выполнения необходимых условий проведения коагуляционной обработки.

Водопроводные станции Санкт-Петербурга работают по технологии двухступенной очистки (около 22%), по одноступенной схеме на контактных осветлителях обрабатывается основная часть воды (около 78%). До начала 80-х годов при условии 50%-ной коагуляции обрабатываемой воды сульфатом алюминия удавалось получать очищенную воду, полностью отвечающую требованиям нормативов. Но в дальнейшем при ухудшении качества воды в водоисточнике, интенсификации работы очистных сооружений и повышении требований к качеству очищенной воды положение на водоочистных станциях осложнилось.

При проведении исследований по улучшению процесса коагуляции использовались модели контактных осветлителей и широкий спектр минеральных коагулянтов и органических флокулянтов. Положительным качеством оксихлоридов алюминия, особенно высокоосновных, а также



полиалюминийхлоридов является их способность незначительно снижать щелочность и pH исходной воды.

Результаты испытаний оксихлоридов алюминия ОАО «Сорбент» (рис. 7.11) наглядно иллюстрируют результативную работу низко- (образец № 2) и высокоосновных (образец № 1) гидроксидов алюминия в сравнении с действием сульфата алюминия. Для получения питьевой воды более высокого качества необходимо проводить глубокую очистку при оптимальных для удаления органических загрязнений значениях pH с последующим подщелачиванием фильтрованной воды.

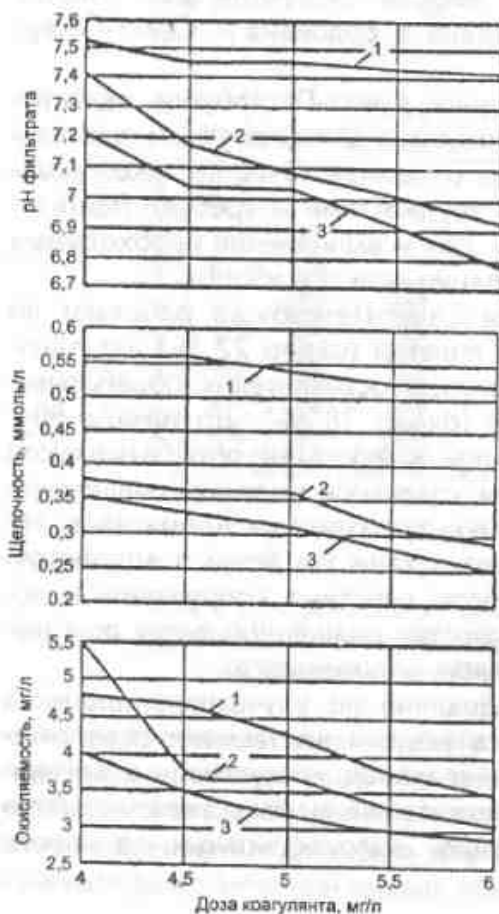


Рис. 7.11. Результаты испытаний гидроксидов алюминия и сульфата алюминия:

- 1 — высокоосновный гидроксид алюминия (образец № 1);
- 2 — низкоосновный гидроксид алюминия (образец № 2);
- 3 — сульфат алюминия

Проводились испытания железных (хлорного железа, сульфата железа) и железоалюминиевых коагулянтов.

Полученные в разные периоды года результаты показали, что использование коагулянтов на основе железа не дает существенных преимуществ перед применением в тех же условиях сульфата алюминия. Как правило, доза коагулянта на основе железа выше, чем доза сульфата алюминия (по  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  10—12 мг/л, по  $\text{Al}_2\text{O}_3$  5—6 мг/л).

Для глубокой очистки воды в исследованиях применялся новый класс минеральных коагулянтов — на основе солей титана. В результате лабораторных испытаний более 30 образцов соединений титана установлено, что оптимальная область pH при коагуляции воды р. Невы составляет 5—6,3. При этих условиях достигается высокая степень очистки от органических соединений: цветность 2—3 град, окисляемость 2,5—2,6  $\text{мгO}_2/\text{л}$ . Дозы коагулянта составляли 2—3 мг/л по Ti.

Высокая исходная мутность после введения коагулянтов на основе титана и специфика работы контактных осветлителей не позволяют применять их при одноступенной схеме очистки в связи с быстрым заиливанием загрузки, что соответственно приведет к сокращению фильтроцикла.

Применение титановых коагулянтов при двухступенной схеме очистки позволит повысить эффективность работы отстойников и получить питьевую воду высокого качества, однако низкая оптимальная область pH указывает на необходимость последующего подщелачивания очищенной воды. Кроме того, в настоящее время отсутствует промышленный выпуск реагентов этого типа, и существует проблема утилизации осадка отстойников и промывных вод.

На водопроводных станциях Санкт-Петербурга при очистке невской воды на контактных осветлителях наиболее эффективным оказалось совместное применение алюминиевых коагулянтов дозой 3—4 мг/л в сочетании с катионными флокулянтами (0,5—1,5 мг/л).

На сооружениях с отстойниками и фильтрами более эффективным представляется использование оптимальных доз коагулянтов (на основе алюминия, железа, смешанных же-

лезоалюминиевых) в сочетании с микродозами (0,05—0,1 мг/л) анионных или катионных флокулянтов при условии последующего подщелачивания воды.

### 7.3. Сопоставление эффективности сульфата алюминия и ОХА

Ранее (в разделе 7.1) было представлено сравнение эффективности различных реагентов, в том числе и ОХА.

В практике очистки воды на российских водопроводах использовались в основном два коагулянта: традиционный реагент сульфат алюминия и сравнительно новый — оксихлорид алюминия.

Отечественными и зарубежными исследователями в различных регионах проводились работы по испытанию различных образцов оксихлоридов алюминия под следующими марками: полиоксихлорсульфат алюминия (ПОХСА), полигидрохлорид алюминия (ПГХА), полиоксихлорид алюминия (ПОХА), выпускаемый московским ОАО «Аурат» с торговой маркой «АКВА-АУРАТ™», гидроксохлорид алюминия (ГОХА или ГХА), выпускаемый ОАО «Сорбент» (г. Пермь), «БОПАК-Т» (Венгрия) и др.

ПОХА, ГОХА и ОХА в международной классификации именуется — polyaluminium chlorides (РАС).

Рассмотрим некоторые варианты применения СА и ОХА при проведении экспериментальных исследований, выполненных авторами.

Результаты сравнения эффективности очистки воды СА и ОХА при очистке воды рек Волги и Оки представлены в табл. 7.4.

Наибольшие трудности при очистке воды р. Волги отмечались в зимний период при цветности исходной воды 68—70 град, мутности 1,4—1,6 мг/л, перманганатной окисляемости 13—14,5 мг/л и температуре воды 0,2 °С. Доза коагулянта на станции составляла 13—15 мг/л по  $Al_2O_3$ , цветность очищенной воды изменялась от 14 до 20 град, мутность (1,4—1,5 мг/л) и концентрация остаточного алюминия (0,33—0,49 мг/л) были на уровне ПДК.

Таблица 7.4

Сравнительные данные эффективности СА и ОХА

Время года	Коагулянт	Доза коагулянта, мг/л	Цветность, град	Мутность, мг/л	Перманганатная окисляемость, мг/О <sub>2</sub> л	Остаточный алюминий, мг/л	р. Волга	
							Исходная вода	Очищенная вода
Зима	СА	12	68	1,6	12,4	—	—	—
		13	21	0,87	7,3	0,69		
		14	16	0,6	6,6	0,34		
		15	13	0,06	6,3	0,16		
		15	12	0	6,1	0,08		
Зима	ОХА	12	15	0,04	6,2	0,06	—	—
		13	13	0	5,9	0,03		
		14	10	0	5,5	0		
		15	8	0	5,1	0		
		15	8	0	5,1	0		
Весна	СА	8	56	2,6	12,8	—	—	—
		10	21	0,2	8,6	0,24		
		12	16	0,1	8	0,26		
		14	12	0,2	7,2	0,1		
		16	11	0,3	7,1	0,1		
Весна	СА	18	8	0	6,1	0,04	—	—
		18	7	0	5,4	0,05		
		18	7	0	5,4	0,05		

Время года	Коагулянт	Доза коагулянта, мг/л	Цветность, град	Мутность, мг/л	Перманганатная окисляемость, мг/О <sub>2</sub> /л	Остаточный алюминий, мг/л	
Весна	ОХА	6	20	0,5	7,3	0,02	
		8	15	0,1	5,5	0,03	
		10	10	0		0	
		12	9		5,6	0,02	
		14	6		5,3	0	
		16	6		4,4		
р. Ока							
Весна	Исходная вода		23	11,3	6,4	—	
			18	1,6	5,8	0,22	
	СА		17	1,1	5,2	0,2	
			14	0,7	4,7	0,14	
			12	0,4	4,3	0,1	
			13	0,75	5,7	0,17	
	ОХА		12	0,6	5	0,13	
			1,5	11	0,4	4,4	0,1
			2,4	9	0,2	3,9	0,08

На основании результатов пробного коагулирования необходимая доза коагулянта (СА) в данный период составляла 16 мг/л. Только при этой дозе СА, цветности воды 10 град и мутности 0—0,1 мг/л перманганатная окисляемость не превышала ПДК и отмечалась на уровне 4,9 мг/л, а концентрация остаточного алюминия — менее 0,1 мг/л.

При сравнении коагулянтов СА и ОХА наибольшая эффективность очистки воды достигалась при использовании ОХА: качество очищенной воды характеризуется меньшими значениями мутности, цветности, концентрации остаточного алюминия. Стабильные результаты при использовании ОХА были получены уже при дозе коагулянта 12—13 мг/л.

В паводковый период (см. табл. 7.4, весна) оптимальная доза СА на станции составляла 16—18 мг/л, только в этом случае можно было достичь ПДК по таким показателям воды, как мутность и остаточный алюминий. При использовании ОХА и получении аналогичного качества очищенной воды его доза могла быть уменьшена до 10—12 мг/л, т. е. примерно на 25 %.

Важным фактором при очистке воды коагулированием является процесс ее осветления в отстойниках. Как показали данные исследований, при использовании ОХА значительно повышается эффективность осветления воды при отстаивании (рис. 7.12). Мутность осветленной воды вдвое меньше, причем эффективность осветления при использовании ОХА в меньшей степени зависит от дозы коагулянта. Из рисунка видно, что при дозе СА 10 мг/л вода практически не очищается, а с ОХА достигается существенное снижение мутности.

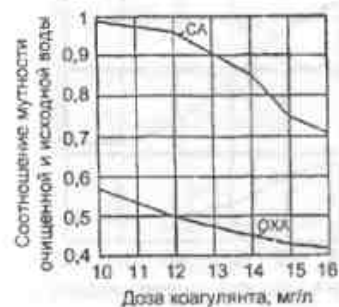


Рис. 7.12. Эффективность осветления воды р. Волги при отстаивании в зависимости от дозы коагулянта



Повсеместное использование на водопроводных станциях России малоэффективных гидравлических смесителей и камер хлопьеобразования не позволяет оперативно изменять режим смешения реагента с водой при постоянном изменении качества воды поверхностных водоисточников и тем самым не обеспечивает необходимых условий для проведения эффективного хлопьеобразования и осветления воды. Проведенные исследования показали (рис. 7.13), что влияние интенсивности перемешивания на последующий процесс очистки воды значительно меньше при использовании ОХА, чем СА. Даже при минимальных значениях градиента скорости смешения существенно выше качество очищенной воды, обработанной ОХА, чем СА.

Изменяющиеся данные показывают, что качество очищенной воды по мутности, цветности и содержанию остаточного алюминия значительно выше при обработке ОХА, чем другими коагулянтами. На рис. 7.14 видно, что процесс осветления воды при отстаивании с использованием коагулянтов на основе СА в этих условиях проходит неэффективно. При применении ОХА эффективность осветления воды достигает 50 %, соответственно на столько же уменьшается нагрузка на фильтровальные сооружения.

Исследования в г. Калуге на окской воде в паводковый период подтвердили более высокое качество воды при использовании ОХА (рис. 7.15). При обработке воды в режиме контактной коагуляции на фильтрах при дозах коагулянта 1—2 мг/л было определено, что основные показатели качества воды также лучше при использовании ОХА.

Рис. 7.13. Влияние интенсивности перемешивания воды (р. Волги) с коагулянтами СА и ОХА ( $D_k = 10$  мг/л) на качество осветленной воды при отстаивании



Рис. 7.14. Эффективность осветления воды при отстаивании с использованием коагулянтов

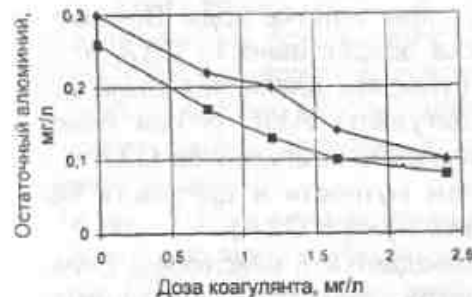
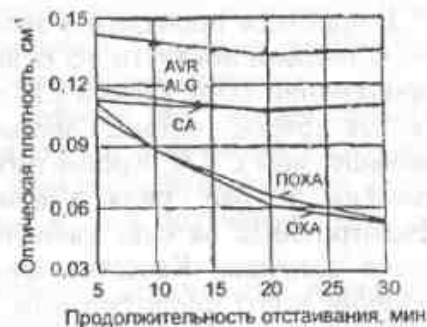
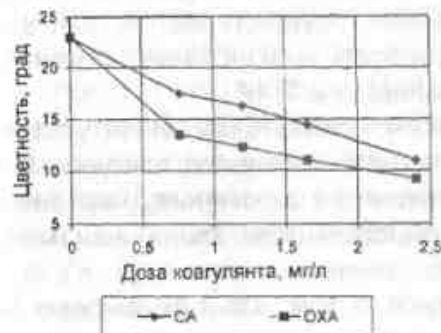


Рис. 7.15. Изменение качества очищенной воды в зависимости от дозы реагента при использовании сульфата алюминия и оксихлорида алюминия (паводок, р. Ока)



В процессе проведения экспериментальных исследований на установке контактного осветлителя установлено, что при применении ОХА взамен СА при одной и той же дозе реагентов прирост потерь напора в случае с ОХА значительно меньше, чем с СА. Кроме того, при применении ОХА практически в два раза увеличивается продолжительность фильтроцикла за счет увеличения времени защитного действия загрузки. Качество фильтрата по мутности выше в течение всего фильтроцикла. Положительные технологические свойства оксихлорида алюминия дали возможность рекомендовать его для применения на 2-й очереди Окского водозабора на станции производительностью 100 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

Эти данные были подтверждены исследованиями, проведенными на воде оз. Селигер: даже при высоких нагрузках на фильтровальные сооружения (доза коагулянта 6—7 мг/л) в течение фильтроцикла средняя скорость прироста потерь напора для ОХА составляла 0,02 м/ч, а для СА — 0,03 м/ч при прочих равных условиях.

В ряде случаев, например, при очистке воды Воткинского водохранилища г. Ижевска эффективность ОХА и других коагулянтов на основе сульфата алюминия была ниже эффективности финского коагулянта AVR. А при очистке воды Ижевского пруда и сравнении коагулянтов ОХА и СА качество воды по показателям мутности и цветности было одинаковым (и даже несколько хуже с ОХА).

Аналогичная ситуация наблюдается в некоторых случаях при очистке воды сильно загрязненных водоемистиков в периоды, когда коагулирование осуществляется повышенными дозами коагулянта, при этом иногда также отмечают преимущества СА по сравнению с ОХА.

Преимущества ОХА по всем показателям были установлены в зимний период и в период весеннего паводка. В то же время концентрации остаточного алюминия, марганца и величина перманганатной окисляемости были неизменно ниже при применении ОХА.

Эти данные свидетельствуют о том, что при выборе эффективных реагентов и определении их оптимальных доз

необходимо проведение технологических изысканий, на основании которых можно сделать правильный выбор тех или иных реагентов в данных конкретных условиях.

Кроме того, приведенные данные по эффективности различных реагентов показывают, что в некоторых случаях необходимо использовать на станции два коагулянта в зависимости от качества исходной воды в различные периоды года.

Вопрос эффективности различных коагулянтов поднимается при очистке воды любого водоемистика, и исследования проводятся специалистами во многих регионах России.

Так, в Самарской государственной архитектурно-строительной академии [182] был проведен поиск путей интенсификации коагулирующей способности ПГХА путем установления влияния условий синтеза основных хлоридных солей алюминия на их эффективность при очистке воды.

Водные растворы ПГХА получены на основе соляной кислоты и двух видов алюминийсодержащего сырья. С использованием металлического алюминия подготовлен раствор коагулянта К-1, а раствор коагулянта К-2 синтезирован на основе товарной метагидроокиси алюминия  $AlO(OH)$  (содержание основного вещества  $91 \pm 0,5 \%$ ).

Оценка эффективности синтезированных коагулянтов в процессе очистки волжской воды проводилась на фильтрационной установке.

На рис. 7.16 показаны кривые изменения цветности воды от дозы коагулянтов. Из рисунка видно, что коагулянты на основе ПГХА значительно эффективнее, чем  $Al_2(SO_4)_3$ . Обращают на себя внимание чрезвычайно малые дозы комплексных коагулянтов, при которых достигается необходимая степень очистки воды. При дозе коагулянтов К-1 и К-2, равной 4—8 мг/л, и исходной цветности 60 град цветность очищенной воды находится в пределах 5—10 град, в то время как для сульфата алюминия дозы, при которых достигается аналогичный эффект очистки, составляют 20—30 мг/л. При этом отмечено, что коагулянт К-2 эффективнее коагулянта К-1.

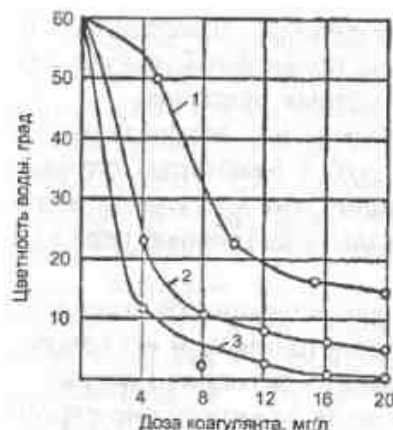


Рис. 7.16. Изменение цветности воды в зависимости от дозы коагулянтов ( $T = 15^{\circ}\text{C}$ ):  
1 —  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ; 2 — K-1; 3 — K-2

Что касается остаточного алюминия, то при одинаковых условиях его концентрации в очищенной воде ниже при использовании коагулянта K-2 (табл. 7.5).

Выполненная работа показывает, что, изменяя условия синтеза реагентов, можно управлять свойствами водных растворов полигидроксохлоридных коагулянтов.

Таблица 7.5

Сравнительные данные по эффективности синтезированных коагулянтов

Показатель	Коагулянт		
	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	K-1	K-2
Цветность, град	30	15	4,2
Остаточный алюминий, мг/л	0,13	0,091	0,064

В работе О. Соренссон [183] детально рассмотрены преимущества использования полиалюмохлорида (РАС) в сравнении с СА на основании лабораторных и производственных испытаний.

Был исследован полиалюмохлорид марки Ekoflock 91, содержащий 9,2 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Коагуляция воды проводилась в лабораторных стаканах емкостью 800 мл. После введения коагулянта производилось быстрое перемешивание в течение 3 мин при скорости  $180 \text{ мин}^{-1}$  и медленное перемешивание в

течение 20 мин при скорости  $40 \text{ мин}^{-1}$ . После отстаивания в течение 30 мин осветленная вода переливалась с помощью сифона, затем фильтровалась через бумажный фильтр.

В табл. 7.6 представлены результаты лабораторных и промышленных испытаний по очистке поверхностных вод в Скандинавии с использованием полиалюмохлорида и сульфата алюминия.

Из анализа полученных данных можно сделать выводы:

- при использовании полиалюмохлорида расход щелочи меньше;
- эффективность очистки с полиалюмохлоридом выше, чем с сульфатом алюминия;
- содержание остаточного алюминия ниже при применении полиалюмохлорида. В настоящее время в Скандинавии полиалюмохлорид применяется на трех водопроводных станциях.

В табл. 7.7 представлены результаты лабораторных испытаний, проведенных на Рублевской водопроводной станции (РВС) в августе 2000 г. специалистами станции. Качество исходной воды р. Москвы в период исследований было следующим: мутность 4,1—5,5 мг/л; цветность 28—33 град; pH 8,14—8,3; щелочность 3,25—3,3 мг-экв/л; перманганатная окисляемость 5,4—5,9 мг/л. При проведении испытаний на Рублевской водопроводной станции использовали тот же тип коагулянта, что и в Скандинавии.

Полученные результаты позволяют выявить следующие закономерности. Коагулянт Ekoflock 91 по сравнению с сульфатом алюминия показал лучшую эффективность снижения мутности, цветности и содержания остаточного алюминия при осветлении воды фильтрацией. Сульфат алюминия более эффективен для снижения величины перманганатной окисляемости. Для уменьшения содержания остаточного алюминия, устранения цветности и мутности оптимальная доза сульфата алюминия составляла 7 мг/л, а полиалюмохлорида марки Ekoflock 91 — 5 мг/л. Однако при использовании коагулянта Ekoflock 91 увеличивается доза серной кислоты для создания оптимальной величины pH, что характерно только для данного типа поверхностных вод.



Результаты лабораторных и производственных испытаний реагентов

Реагент	Доза, мг/л	NaOH, мг/л	pH	Цветность, % снижения	ПО, % снижения	Остаточный алюминий, мг/л
Исходная вода: pH 6,5, цветность 70 град, перманганатная окисляемость 7 мгO <sub>2</sub> /л						
<b>СА:</b>						
в промышленных условиях	50	13	6,1	89	79	0,08
в лабораторных условиях	50	13	6,1	89	74	0,18
<b>Ekoflok 91</b>						
в лабораторных условиях	40	7	6,4	93	72	0,1
Исходная вода: pH 6,4, цветность 47 град, перманганатная окисляемость 12 мгO <sub>2</sub> /л						
<b>СА:</b>						
в промышленных условиях	100	30	6,1	93	82	0,03
в лабораторных условиях	100	30	6,1	93	82	0,03
в лабораторных условиях	70	20	6,3	94	82	0,05
<b>Ekoflok 91</b>						
в лабораторных условиях	60	10	6,5	91	82	0,01
Исходная вода: pH 6,9, цветность 50 град, перманганатная окисляемость 8 мгO <sub>2</sub> /л						
<b>СА:</b>						
в промышленных условиях	60	11	6	92	67	0,32
в лабораторных условиях	60	16	6,2	94	47	0,4

Результаты лабораторных испытаний на РВС Москвы

Показатели	Качество воды по номерам опытов									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Доза NaOCl, мг/л	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Доза 1-н раствора серной кислоты для корректировки pH, мл/1000 мл	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
Коагулянт, мг/л:										
СА	—	—	—	—	—	4	5	6	7	8
Ekoflok 91	4	5	6	7	8	—	—	—	—	—
pH во время коагуляции	6,55	6,52	6,5	6,49	6,56	6,56	6,56	6,53	6,5	6,49

<b>Ekoflok 91:</b>										
в промышленных условиях	43	6	6,4	94	70	0,15				
в лабораторных условиях	60	8	6,4	94	60	0,09				
<b>Ekoflok 70</b>										
в лабораторных условиях	70	6	6,2	94	53	0,17				

Показатели	Качество воды по номерам опытов									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Мутность, мг/л, при осаждении в течение, мин:	0,66	0,47	0,42	0,42	0,46	0,52	0,5	0,45	0,55	0,44
	0,6	0,37	0,36	0,26	0,29	0,49	0,47	0,41	0,45	0,32
	0,45	0,31	0,32	0,31	0,23	0,47	0,45	0,39	0,34	0,34
Качество воды после осаждения в течение 30 мин										
Мутность, мг/л	0,14	0,146	0,13	0,13	0,2	0,32	0,366	0,442	0,31	0,28
Цветность, град	14	12	11	10	10	13	13	12	11	10
Остаточный алюминий, мг/л	0	0	0	0	0,037	0,206	0,323	0,217	0,262	
pH	7,12	7,18	7,11	7,1	6,99	6,95	6,95	6,98	6,99	7,01
Качество воды после фильтрации										
Мутность, мг/л	0,05	0,04	0,027	0,016	0,005	0,088	0,071	0,06	0,037	0,008
Цветность, град	9	7	7	6	6	10	9	9	7	7
Перманганатная окисляемость, мгО <sub>2</sub> /л	4,08	3,52	3,44	3,2	3,2	3,76	2,96	2,8	2,48	2,32
Остаточный алюминий, мг/л	0	0	0	0	0	0,153	0,071	0,047	0,042	0,05

Фильтрующая способность воды значительно увеличивается при использовании коагулянта марки Ekoflock 91. Как известно, размер флокул и их плотность оказывают влияние на время осаждения и способность к фильтрации, критерием оценки которой может быть продолжительность фильтроцикла.

Как следует из табл. 7.6, коагулянт Ekoflock 91 по сравнению с сульфатом алюминия обеспечивает более длительную продолжительность фильтроцикла.

Полиалюмохлорид имеет лучшие эксплуатационные качества: его не нужно растворять, он не требует специальных помещений для складирования, не вызывает запыленности рабочих помещений, имеет постоянную концентрацию дозируемого раствора, а также возможность быстрого регулирования расхода, подаваемого насосом из резервуара для хранения жидкого коагулянта, при изменении качества обрабатываемой воды.

Работы по изучению эффективности новых отечественных реагентов в лабораторных условиях и на опытно-производственной установке были выполнены на водопроводной станции г. Сарапула (Удмуртия) [184].

Основными проблемами эксплуатации Сарапульской водоочистной станции с применением сульфата алюминия, особенно в периоды низких температур и щелочности, являются:

- необходимость частой и тщательной регулировки дозаторов коагулянта и щелочных агентов;
- применение дополнительной затратной операции — процесса стабилизации воды для снижения ее агрессивности и предотвращения вторичного загрязнения питьевой воды продуктами коррозии трубопроводов.

Несмотря на подщелачивание из-за относительно медленного протекания процессов гидролиза и коагуляции не удается в отдельные периоды работы станции добиться стабильного получения питьевой воды нормативного качества по показателям цветности, перманганатной окисляемости, остаточного алюминия.

Усредненные данные по некоторым показателям качества исходной воды в период испытания коагулянтов представлены в табл. 7.8, из которой видно, что исходная вода характеризуется небольшой цветностью, средней мутностью, существенно повышающейся в паводковый период, и низкой щелочностью.

Таблица 7.8

Данные по качеству камской воды

Показатели	Данные по периодам испытаний 2001—2002 гг.	
	Январь—февраль	Апрель—май
Мутность, мг/л	0,65—1,7	6—67 (в период ледохода — до 400)
Цветность, град	18—28	14—40 (летом — до 90)
Жесткость, моль/л	4—4,5	0,52—2
pH	7,2—7,8	6,6—7,9
Перманганатная окисляемость, мг/л	5,8—10	5,9—12
Сухой остаток, мг/л	425	102

Лабораторные исследования коагулирующей способности реагентов, характеристики которых представлены в табл. 7.9, показали следующее.

1. ГОХА-Б и «АКВА-АУРАТ™30» в дозах 3—4 мг/л в сравнении с дозами СА (8—10 мг/л) обеспечивали более высокое качество очищенной воды по цветности, окисляемости и остаточному алюминию.

2. Смешанный алюможелезный коагулянт, уступая по эффективности ГОХСА, превосходил серноокислый алюминий по снижению основных показателей качества воды.

3. «Касофт» практически не отличался от серноокислого алюминия по оптимальным дозам и результатам очистки воды.

Таблица 7.9

Характеристика реагентов

Реагент, форма выпуска	Производитель	Норматив	Массовая доля основного вещества, %, основность
Серноокислый алюминий (СА), сухой	ООО «Уралкоагулянт», г. Первоуральск Свердловской области	ГОСТ 12996-85	15—16 — $Al_2O_3$
Гидроксохлорид алюминия марки Б (ГОХА-Б), сухой	ОАО «Сорбент», г. Пермь	ТУ 6-00-05795731-250-96	45—47 — $Al_2O_3$ , основность ~80 %
Гидроксосульфат алюминия (ГОХСА), сухой	ОАО «Сорбент», г. Пермь	ТУ 2163-001-05795731-99	15—16 — $Al_2O_3$
Алюможелезный коагулянт (АЖК), сухой	ОАО «Сорбент», г. Пермь	—	12,6 — $Al_2O_3$ , 4,4 — $FeCl_3$
«Касофт», очищенный серноокислый алюминий, сухой	ОАО «Галоген», г. Пермь	ГОСТ 12996-85	15—16 — $Al_2O_3$
«АКВА-АУРАТ™30» (АА), сухой	ОАО «АУРАТ», Москва	ТУ 6-09-05-1456-96	30 — $Al_2O_3$ , основность ~43 %
Полиакриламид (ПАА) — гель, марка «Аммиачный»	ФГУП «Завод им. Я. М. Свердлова», г. Дзержинск	ТУ 6-01-1049-92	Не менее 6



Во всех вариантах и режимах работы на опытно-производственной установке результаты лабораторных исследований подтвердились: наиболее эффективными коагулянтами при очистке воды данного водоемщика были полиоксихлорид алюминия «АКВА-АУРАТ™30», ГОХА-Б и алюможелезный коагулянт.

Кроме того, отмечена эффективность указанных реагентов в отношении удаления ПАВ, нефтепродуктов и других органических примесей.

Испытанные реагенты по-разному влияют на изменение показателей рН и щелочности и, следовательно, на коррозионную активность воды. В табл. 7.10 приведены результаты расчетов параметров, характеризующих стабильность воды, из которых видно, что наименьшей углекислотной агрессивностью по отношению к водопроводной системе обладает вода, обработанная ГОХА-Б. При применении этих коагулянтов сокращается потребность в щелочных реагентах для стабилизационной обработки воды.

В г. Минске на водопроводной станции производительностью 320 тыс. м<sup>3</sup>/сут [185] проведенные лабораторные исследования коагулянтов гидрооксихлорида алюминия (ГОХА) марки «Полвак™68», выпускаемого ОАО «Пологовский химический завод "Коагулянт"», г. Пологи (Украина), полиоксихлоридов алюминия (ПОХА) и др. в 2001 г. позволили перейти к производственному применению коагулянта «Полвак™68», а в 2002 г. были начаты производственные испытания коагулянтов ОАО «АУРАТ».

Результаты первого этапа исследований коагулянтов в период средней загрязненности и высокой температуры (до 20 °С) исходной воды показали практически одинаковую технологическую эффективность коагулянтов «АКВА-АУРАТ™10» и «Полвак™68» по снижению: цветности исходной воды на 33 и 40 %, мутности — на 43 и 33 %, перманганатной окисляемости — на 17,3 и 16 %, фитопланктона — на 20 и 24 %.

По экономическим показателям более предпочтителен полиоксихлорид алюминия «АКВА-АУРАТ™10».

Таблица 7.10

Характеристика реагентов по стабильности воды

Реагент	Доза, мг/л	ΔЩ	ΔрН	Щелочность мг-экв/л	рН	рН <sub>с</sub>	β <sub>с</sub>	Доза извести, мг/л	Доза соды, мг/л
СА	10	0,64	0,7	1,8	6,9	8,04	0,27	13,6	48
ГОХА-Б	4	0,32	0,47	2,12	7,13	7,95	0,14	7,6	22,8
ГОХСА	8	0,45	0,6	2	7	7,97	0,23	12,9	38,7
АЖК	8	0,64	0,67	1,8	6,93	8,04	0,26	13,1	39,3
«Касофт»	10	0,64	0,7	1,8	6,9	8,04	0,27	13,6	40,8
«АКВА-АУРАТ™30»	4	0,49	0,45	1,94	7,15	7,97	0,16	9,5	28,5

Примечание. Исходная вода: щелочность 2,44 мг-экв/л; солесодержание 397 мг/л; рН 7,6; С<sub>с</sub> = 67 мг/л

Большие работы проводятся специалистами вузов, научно-исследовательских институтов, представителями производственных организаций и ОАО «АУРАТ» по испытаниям и применению современных реагентов в южном регионе европейской части России, в частности при очистке донской воды.

Поверхностные водные ресурсы Ростовской области — это р. Дон, а также сравнительно крупные и средние реки — Северский Донец, Миус, Сал, Западный Маныч, Калитва, Аксай. Источниками питания р. Дона являются талые снеговые, дождевые и частично подземные воды.

По данным С. Н. Линевича и др. [186], на качественный состав Дона оказывают влияние не только природные факторы, но и агрохимические и гидрохимические мероприятия, осуществляемые в районе расположения водоемника, а также наличие промышленных предприятий, добывающих и перерабатывающих производств. В реку без достаточной предварительной или вовсе без очистки сбрасывается более 60 % всех промышленных и бытовых сточных вод Ростовской области.

В настоящее время практически на всех водоочистных станциях Ростовской области используются традиционные технологии и обычно применяемые реагенты. Для выбора наиболее эффективных реагентов были проведены исследования в лабораторных и производственных условиях на Новочеркасском центральном, Шахтинско-Донском и Новошахтинском городских водопроводах.

На основании результатов лабораторных исследований было установлено, что доза СА в опытах существенно выше по сравнению с применяемой в производственных условиях, что объясняется следующим. Для нормальных условий процесса коагуляции донской воды требуется снижение pH до оптимальных значений (6,5—7,5), т. е. подкисление воды. В проводимом эксперименте подкисление воды происходило за счет увеличения дозы коагулянта. Искусственно заниженные (дефицитные) дозы сульфата алюминия на водопроводных станциях определяют неэффективное протекание процесса хлопьеобразования в камерах и неудов-

летворительную работу горизонтальных отстойников, а также предельную (0,5 мг/л) концентрацию остаточного алюминия после фильтров.

В связи с этим в дальнейших работах проводилось сравнение коагулирующей способности СА и ПОХА по значениям мутности и величины электрокинетического потенциала (дзета-потенциала). Зависимость их изменения от вида и дозы коагулянта при пробном коагулировании показали значительные преимущества ПОХА (табл. 7.11).

Таблица 7.11

Показатели мутности и дзета-потенциала при обработке воды различными коагулянтами

Доза коагулянта, мг/л	Сульфат алюминия		Полиоксихлорид алюминия	
	мутность, мг/л	дзета-потенциал, мВ	мутность, мг/л	дзета-потенциал, мВ
0	87	-39,4	87	-39,4
5	51,5	-39,2	51,8	-37,2
10	25,6	-38,6	7,4	-33,6
15	19,7	-30	3,8	-15,2
20	14,8	-15,8	1,3	-3,6
25	16,5	-6,8	0,9	-0,8

На заключительном этапе испытаний при промышленной очистке донской воды использовался в качестве коагулянта ПОХА марки «АКВА-АУРАТ™30». В паводковый период дозы изменялись в интервале 2—15 мг/л, что в среднем в 6—10 раз меньше доз сульфата алюминия. При этом коагулирующая способность ПОХА мало зависела от колебаний мутности, температуры и pH обрабатываемой воды. ПОХА «АКВА-АУРАТ™30» одинаково успешно работал в интервале изменения мутности 10—200 мг/л.

Специфические проблемы возникают при подготовке котловой воды. При поступлении в разводящую водопроводную сеть воды с повышенным содержанием солей алюминия или железа происходят выделение осадка этих соединений (железа или алюминия) в трубах и вынос их

вместе с водой к потребителю, что особенно опасно для воды, питающей котлоагрегаты большой единичной мощности, и может привести к преждевременному выходу из строя оборудования ГРЭС [187].

В связи с этим при водоснабжении Новочеркасской ГРЭС (водоисточник — р. Аксай) встал вопрос о корректировке существующей технологии реагентной обработки воды. Выполненные испытания по очистке аксайской воды показали возможность снижения дозы коагулянта в 6—12 раз при повышении эффекта очистки воды.

Применение на станции осветлителей со взвешенным слоем осадка, где фактически происходит контактная коагуляция, позволило отказаться в производственных условиях от применения флокулянта ПАА при условии установки автоматических дозирующих устройств коагулянта «АКВА-АУРАТ™30» и обеспечении его оптимальной дозы.

Проведенная работа на донском водоисточнике показала, что для очистки донской воды целесообразно использование вместо ранее применяемых сульфата алюминия, ВПК-402 и КФ-91 более эффективного коагулянта — полиоксихлорида алюминия, в частности «АКВА-АУРАТ™30». Это позволит получать питьевую воду нормативного качества без существенных капитальных вложений в реконструкцию водоочистных станций при значительной экономии текущих затрат на подготовку воды.

На Таманском групповом водопроводе производительностью до 65 тыс. м<sup>3</sup>/сут водоисточником являются реки Кубань и Казачий Ерик, качество воды которых характеризуется высокой мутностью, повышающейся в период паводка до 600 мг/л и более и средней цветностью — до 65 град [188].

На станции с традиционной двухступенной схемой очистки обработка воды с 1972 г. осуществлялась сульфатом алюминия (дозами 10—20 мг/л) и ПАА в дозах 2—4 мг/л. С 2001 г. взамен сернокислого алюминия начали применять флокулянт ВПК-402 в дозах 0,65—4,1 мг/л.

Повышение требований к качеству питьевой воды потребовало принятия мер по улучшению коагуляционной обра-

ботки воды. В связи с этим на основании лабораторных исследований различных марок ПОХА и проведения производственных испытаний коагулянта ПОХА «АКВА-АУРАТ™30» установлено, что для получения воды нормируемого качества требуются дозы реагента от 3 до 5 мг/л (по Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), что в 3—4 раза меньше доз сульфата алюминия.

При очистке мутных вод рек Дона и Северского Донца в производственных условиях на водопроводах Ростова-на-Дону и Каменск-Шахтинска использование различных органических и неорганических коагулянтов [120] позволило повысить глубину очистки воды по мутности до 0,1—0,3 мг/л, что обеспечило повышение эффективности удаления вирусных загрязнений.

В настоящее время на Александровских водоочистных сооружениях г. Ростова-на-Дону проводятся мероприятия по реализации совместной обработки воды органическим и минеральными коагулянтами на основе ПОХА «АКВА-АУРАТ™30». Параллельно решается проблема автоматического дозирования коагулянтов в зависимости от мутности речной воды и объема ее подачи.

В течение ряда лет в ЗАО «Водоканал» г. Новокузнецка ведется поиск наиболее эффективных реагентов для коагуляционной очистки томской воды. Исследования, выполненные специалистами Водоканала В. В. Гридасовым, Н. П. Вагиной и представителем СибГИУ Л. Р. Ланге [189, 190], показали, что самый эффективный реагент — это оксихлорид алюминия, который дает наилучшие показатели очистки. Однако следует отметить, что в настоящее время рынок оксихлоридов велик и при выборе ОХА необходимо учитывать особенности природных вод, технологические схемы и состав водоочистных сооружений. Так, для томской воды и водоочистных сооружений г. Новокузнецка наиболее предпочтительными являются ОХА с высоким модулем основности — 5/6, атомным соотношением Al/Cl — не менее 2,1, рН раствора — не менее 4,2. Это основные характеристики качественного и количественного состава гидроксокомплексов алюминия. Состав этих комплексов в итоге и определяет свойства конечного продукта гидро-



лиза — гидроокиси алюминия и, следовательно, влияет на скорость и эффективность хлопьеобразования.

Исследования также показали, что в качестве флокулянтов наиболее эффективно использовать катионные полимеры.

В настоящее время после проведения лабораторных исследований и промышленных испытаний на водоочистных станциях применяются два перспективных реагента: коагулянт оксихлорид алюминия производства ЗАО «Сибресурс» г. Новосибирска и катионный флокулянт Праестол 650 TR.

Тяжелый весенний паводок 2004 г. показал, что решение о переводе водоочистных сооружений на оксихлорид алюминия в технологическом и экономическом отношении является правильным. Качество р. Томи в створах водозаборов в весенний паводок было самым критическим и нестабильным за последние 10—15 лет. Ситуация осложнялась еще и тем, что высокий уровень и максимальные значения мутности (150 мг/л), цветности (450 град против 120 град ранее), окисляемости (16 мгО<sub>2</sub>/л) совпали с ледоходом, температура воды снизилась до 0,2—0,5 °С, щелочность упала до 0,27 мг-экв/л. Бактериологические загрязнения при этом составляли: ОКБ — 2400—6200 (при норме 1000), ТКБ — 620—24000 (при норме 100). Опыт показывает, что при таком качестве воды сульфат алюминия вообще не работает.

Кроме того, в этот период все подземные водозаборы были подтоплены, увеличилась мутность инфильтрационных водозаборов до 3—5 мг/л, и для того, чтобы питьевая вода соответствовала нормативному качеству, на водоочистных сооружениях требовалась более глубокая очистка воды, до мутности 0,2—0,5 мг/л. Коагулянт оксихлорид алюминия обеспечил требуемую степень очистки.

Применение ОХА подтвердило и его экономическую целесообразность. Техничко-экономический расчет показал, что применение в качестве коагулянта ОХА позволило снизить удельную стоимость 1000 м<sup>3</sup> обрабатываемой воды с учетом складских и автотранспортных расходов в среднем на 25 руб. Экономический эффект от замены коагулянта

сульфата алюминия на оксихлорид алюминия за 8 месяцев 2004 г. составляет 640 тыс. рублей.

Как было показано выше, в настоящее время имеется большое количество экспериментальных данных, выполненных различными исследователями, результаты которых изложены в данном разделе, и накоплен определенный опыт производственного применения различных видов оксихлоридов в сопоставлении с сульфатом алюминия. Тем не менее на практике часто возникает вопрос: какой же коагулянт применять в данных конкретных условиях?

Естественно, этот выбор следует выполнять на основании данных пробного коагулирования, а также по эффективности очистки воды на сооружениях.

Для оценки этого явления были рассмотрены и обработаны данные по пробному коагулированию воды с СА и ОХА, выполненные лабораторией Восточной водопроводной станции Москвы в течение года. По данным каждого опыта Е. И. Апельциной были построены кривые зависимости окисляемости очищенной воды от дозы коагулянта и определена доза, которая обеспечивала снижение перманганатной окисляемости до 5 мгО<sub>2</sub>/л.

Затем были построены зависимости этих доз коагулянтов от окисляемости исходной воды (рис. 7.17). В обоих случаях и для СА, и для ОХА установлены достаточно высокие коэффициенты парной корреляции между дозой и ПО исходной воды, т. е. эти зависимости близки к линейным. Очевидно, что полученные прямые пересекаются в некоторой точке, соответствующей исходной окисляемости воды около 12 мгО<sub>2</sub>/л. В этой точке отношение требуемой дозы ОХА к требуемой дозе СА равно 1. При меньших значениях ПО исходной воды это отношение меньше 1, т. е. требуемые дозы ОХА оказываются меньшими, чем СА, и при этом достигается экономия коагулянта за счет применения ОХА. При больших значениях ПО соотношение больше 1, т. е. при ПО исходной воды в диапазоне от 12 до 16 мгО<sub>2</sub>/л доза СА и его эффективность выше, чем

ОХА; в этом случае для снижения ПО фильтрата до 5 мгО<sub>2</sub>/л требуется более высокая доза ОХА, чем СА.

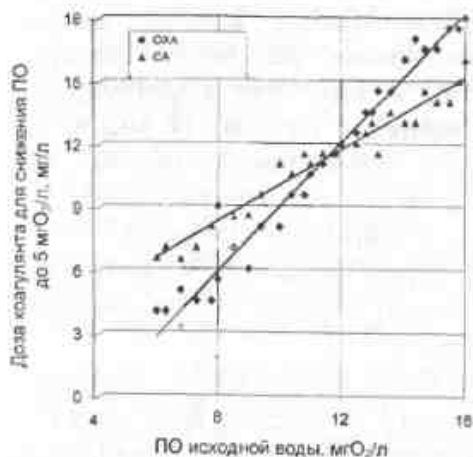


Рис. 7.17. Зависимость доз коагулянтов, необходимых для снижения перманганатной окисляемости до 5 мгО<sub>2</sub>/л, от окисляемости исходной воды

Результаты обработки данных пробного коагулирования и наблюдений за производственными сооружениями объясняются следующим образом. Наличие линейной зависимости между исходной окисляемостью воды и дозой коагулянта, требуемой для снижения окисляемости до заданного уровня, свидетельствует о том, что при взаимодействии коагулянта с органическими загрязнениями воды (фульвокислотами) имеются стехиометрические соотношения, т. е. они «реагируют» в определенных соотношениях, которые оказались постоянными в некотором диапазоне изменения ПО исходной воды. Это, в свою очередь, позволяет предположить, что в данном случае ведущая роль отводится химическому взаимодействию между продуктами гидролиза коагулянта и карбоксильными группами гумусовых веществ.

ОХА по сравнению с СА показывает меньшую эффективность при повышении концентрации фульвокислот в воде, что отмечается и американскими исследователями. На рис. 7.18 приведена диаграмма, позволяющая сравнить условия эффективного применения ОХА и СА в зависимости от рН воды после коагуляции (диаграмма составлена на

основании экспериментальных данных американских исследователей). Как следует из рисунка, при рН ниже 7,2—7,4 исчезают преимущества ОХА перед СА с точки зрения уменьшения дозы коагулянта, необходимой для снижения цветности воды. И, наоборот, при рН выше 7,5 концентрация остаточного алюминия в очищенной воде меньше при применении ОХА. Однако следует отметить, что в данном случае речь идет о комплексных и растворенных соединениях алюминия.

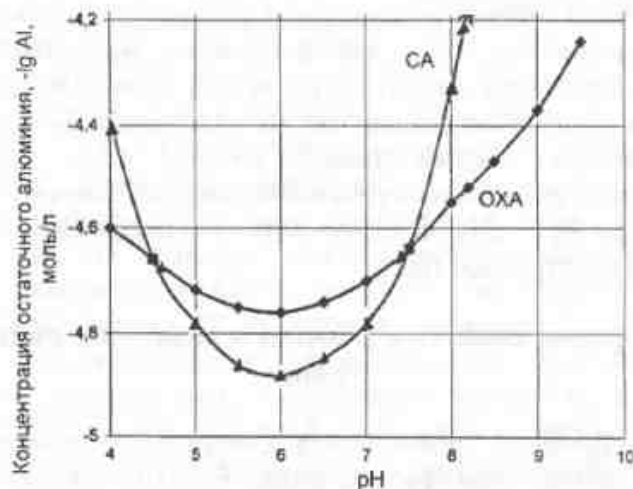


Рис. 7.18 Изменение концентрации остаточного алюминия при использовании ОХА и СА в зависимости от рН воды

Таким образом, на основании анализа данных об эффективности действия ОХА и СА в зависимости от качества обрабатываемой воды и стоимости реагентов можно выбрать оптимальные периоды их применения.

На ВВС Москвы в настоящее время для обработки воды используются два коагулянта (сульфат алюминия и оксихлорид алюминия).

Как установлено в исследованиях и опыте эксплуатации, в зависимости от качества исходной воды, в основном от содержания в ней органических загрязнений, определяемых

ПО, при сравнительно низких значениях ПО (до 12 мгО<sub>2</sub>/л) целесообразно применять ОХА, при этом доза его может быть уменьшена по сравнению с дозой СА максимум на 25—30% (в среднем на 15—20%) при одинаковом качестве очищенной воды. При повышенных значениях ПО исходной воды увеличивается необходимая доза реагентов, и в этом случае более эффективным при очистке воды является СА.

ОХА позволяет получать питьевую воду более качественную по остаточному алюминию и в отдельные периоды года по ПО. Поэтому можно было бы перейти на использование для очистки воды одного ОХА, но экономически это будет нецелесообразно. В то же время применение на ВВС двух коагулянтов позволяет не только осуществлять более гибко технологический процесс очистки воды, но также существенно повышает надежность работы станции, так как имеется резерв для обеспечения необходимого качества воды во все периоды года.

#### 7.4. Применение коагулянтов в северных районах страны

Характерной особенностью северных водоисточников является низкая температура воды, близкая к нулю, в течение до 220 дней в году. Для нормального протекания процессов коагуляции необходим подогрев воды, и не только для приготовления реагентов, но и для всего объема обрабатываемой воды [176, 191, 192].

При обработке воды северных регионов для обеспечения необходимой степени очистки требуются повышенные дозы реагентов: коагулянта, флокулянта, извести или соды в сравнении с дозами, рекомендуемыми СНИП. В ряде случаев наиболее эффективными являются железный купорос или хлорное железо, которые в меньшей степени реагируют на низкие температуры. Однако перевозка железосодержащих коагулянтов в специальной таре так же, как и большие расходы сульфата алюминия, затруднительна.

Таким образом, для районов Крайнего Севера и удаленных регионов Сибири наиболее приемлемыми являются такие реагенты, массовое количество которых будет наименьшим.

В настоящее время стоимость ОХА в пересчете на содержание оксида алюминия оказывается выше стоимости СА, что не позволяет его использовать на всех станциях вместо традиционно применяемого коагулянта. Высокая стоимость ОХА может быть снижена не только технологическими преимуществами, но и доставкой непосредственно от производителя к месту потребления, что наиболее выгодно при использовании реагентов в отдаленных районах Крайнего Севера.

В этой связи следует отметить, что стоимость транспортировки 1 т СА в отдаленные районы часто приближается к отпускной стоимости изготовителя. Поэтому в районы Крайнего Севера экономически целесообразно поставлять коагулянты, обладающие максимальной эффективностью. ПОХА производства ОАО "АУРАТ" "АКВА-АУРАТ™30", содержащий около 30 % оксида алюминия, представляет интерес для потребителей отдаленных районов. Благодаря высокому содержанию действующего вещества в "АКВА-АУРАТ™30" в пересчете на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> его применение позволяет снизить транспортные расходы в 2 раза, включая погрузочно-разгрузочные работы.

Кроме того, при использовании СА необходимо подогревать обрабатываемую воду минимум до 5 °С, что увеличивает себестоимость очищенной воды. Так, например, предприятие «Анадырькоммунхоз» расходует на это до 5 млн рублей ежегодно.

Поэтому большой интерес представляет работа, проведенная «Анадырькоммунхозом» по применению "АКВА-АУРАТ™30" в целях выбора оптимальной дозы и рабочего диапазона нового коагулянта [193]. Исследования проводились в сравнении с применяемым в настоящее время СА при низком щелочном резерве, малой мутности исходной воды и температуре — 2 и 14 °С. Результаты испытаний представлены в табл. 7.12.



Результаты испытаний ПОХА в Анадыре

Коагулянт		Температура воды, °С	Цветность, град	Мутность, мг/л	Перманганатная окисляемость, $\text{MnO}_2/\text{л}$	Железо, мг/л	Остаточный алюминий, мг/л
марка	доза по $\text{Al}_2\text{O}_3$ , мг/л						
Исходная вода			94	1,25	17,6	1,79	—
СА	7	14*	68	1,2	15,3	1,5	6,5
	9		47,9	1,1	13,4	0,52	0,89
	11		38	0,98	12,1	0,4	0,39
	17		15	0,58	8,6	0,22	0,11
ПОХА	5	14/2	29/33	0,6/0,7	8,9/9,2	0,35/0,5	1,9/2,6
	7		11/12	0,1/0,1	6,6/6,7	0,07/0,08	0,42/0,48
	9		4/5,8	0/0	4,8/5	0,04/0,04	0/0
	11		3/3,6	0/0	4,4/4,5	0,03/0,03	0/0
	17		4,9/5,4	0,08/0,1	5,5/5,8	0,01/0,01	0,06/0,1

\* Анализ воды, обработанной СА при температуре 2 °С, не проводился, так как образования хлопьев практически не наблюдалось.

Наблюдения показали, что при применении ПОХА в количестве 7—11 мг/л образуются в основном крупные хлопья, которые оседают в 1,2 раза быстрее, чем хлопья, образующиеся при использовании СА даже с высокой дозой (17 мг/л). Скорость фильтрования воды, обработанной ПОХА, была в 1,3 выше, чем обработанной СА.

В процессе приготовления рабочих растворов порошок "АКВА-АУРАТ™30" легко растворяется в воде без остатка с выделением тепла, в то время как СА растворяется медленно и не полностью. Дозы вводимой извести при подщелачивании и дозы хлора при первичном хлорировании изменяли от 0 до 100 % (по действующему технологическому регламенту). В результате выявлено, что при использовании коагулянта "АКВА-АУРАТ™30" происходило незначительное снижение щелочности воды; уменьшение доз хлора и извести на 50 % не повлияло на степень очистки воды, расход этих реагентов уменьшился в 2 раза. Анализ полученных результатов показывает, что технологическая эффективность применения ПОХА "АКВА-АУРАТ™30" в 1,5—2 раза выше, чем СА. Таким образом, 1 т этого коагулянта по эффективности практически равноценна 3—4 т сульфата алюминия. Следовательно, транспортные расходы на доставку коагулянта "АКВА-АУРАТ™30" в пересчете на 1 т  $\text{Al}_2\text{O}_3$  более чем в 3 раза ниже, чем на доставку СА.

Технологическая активность ПОХА практически не зависит от температуры обрабатываемой воды. При этом подтверждается действие ПОХА в более широком диапазоне pH. Расширение рабочей зоны pH приводит к наиболее полному гидролизу ПОХА и, как следствие, к уменьшению концентрации остаточного алюминия в питьевой воде.

Коррозионную активность воды при применении СА обеспечивают ионы гидроксония, образующиеся в результате его гидролиза. При гидролизе ПОХА образуются нейтральные частицы, поэтому он не повышает коррозионную активность воды, позволяет исключить стабилизационную обработку, улучшить состояние водоводов и распределительной сети, сохранить потребительские свойства воды при транспортировке.

Лабораторные исследования по обработке воды в Норильском регионе (полуостров Таймыр) [194] подтвердили преимущества «АКВА-АУРАТ™30», применение которого при дозе 2 мг/л обеспечивает получение нормируемой величины мутности по сравнению с дозой сульфата алюминия 7 мг/л. На основании проведенной работы рекомендовано проведение производственных испытаний на водоочистной станции.

### 7.5. Реагентная обработка подземных вод

Как уже отмечалось в главе 1, около половины имеющих подземных вод по своему составу соответствуют требованиям нормативов и не нуждаются в очистке. Другая часть вод преимущественно имеет повышенные концентрации железа — от 1 до 25 мг/л и иногда марганца.

Для удаления железа используются различные безреагентные методы, при которых на первом этапе производится окисление двухвалентного железа методом аэрации (упрощенная аэрация, аэрация с использованием вакуумно-эжекционных аппаратов и др.) с последующим фильтрованием на зернистой загрузке. При повышенных концентрациях железа применяют метод высокоэффективной аэрации с использованием специальных аэраторов, реагентный метод с применением извести, отстаивания и фильтрования или озонирования воды.

Подземные воды, как, например, в Тюменской области — основном нефтегазодобывающем регионе страны, характеризуются сложным составом и во многих городах в отличие от широко применяемых подземных вод на большей части территории России отличаются повышенными значениями мутности, цветности, наличием газов (метана, сероводорода и свободной углекислоты), железа и органических загрязнений, в том числе нефтепродуктов.

В 80-х годах в нескольких городах для очистки подземной воды были построены водоочистные станции, в технологии которых был заложен принцип обезжелезивания во-

ды по методу упрощенной аэрации с последующим фильтрованием на напорных зернистых фильтрах.

Однако в процессе эксплуатации верхний слой загрузки фильтров высотой 50—60 см необратимо коагулировался нерастворимыми соединениями железа, которые не удалялись в процессе промывки. В некоторых случаях вся толща загрузки превращалась в монолит, после чего использовать такой фильтр было невозможно. Это объяснялось наличием железосоединенных органических комплексов, для удаления которых традиционные методы обезжелезивания непригодны.

Кроме того, не обеспечивалось качество очищенной воды по другим показателям (цветности, мутности, наличие нефтепродуктов и др.).

Поскольку ранее отсутствовали какие-либо аналоги, типовые или экспериментальные решения для очистки сильнозагрязненных и железосодержащих подземных вод, возникла необходимость разработки новой, специальной технологии.

С этой целью в г. Мегионе НИИ КВОВ были проведены экспериментальные исследования для выбора комплексной схемы очистки воды от всех имеющихся в ней загрязнений (наличие углекислоты, повышенные концентрации аммонийного азота, железа и нефтепродуктов).

Следует также отметить специфику работы водозабора, состоящего из 10 скважин, вода в которых характеризуется цветностью в пределах от 47 до 400 град. Поэтому водоочистная станция работала на воде с постоянно изменяющимся качеством как по цветности, так и по содержанию железа, что определялось количеством и видом работающих скважин.

Анализ работы существующей станции обезжелезивания показал, что в процессе очистки цветность воды практически не снижалась, концентрация аммонийного азота и нефтепродуктов превышала ПДК, а эффективность удаления железа составляла не более 20—30 %.

Исследования по очистке воды от железа и других загрязнений в безреагентном и реагентном режимах проводились в лабораторных условиях и на модельных установках песчаного и угольного фильтров.

Полученные результаты показали следующее:

- очистка воды в режиме «упрощенной аэрации» не приводила к уменьшению цветности, концентрация железа уменьшалась с 3—3,5 мг/л до 1,2—2 мг/л и окисляемость с 8,4 до 6,8 мгО<sub>2</sub>/л;

- предварительная интенсивная аэрация кислородом позволила уменьшить содержание железа до 0,8 мг/л и окисляемость до 5,4 мг/л;

- озонирование воды с введением озона в исходную воду и после песчаного фильтра обеспечило снижение железа до 0,25 мг/л.

В процессе исследований цветность воды удалялась только в случае применения озона и последующего фильтрования воды через песчаную и угольную загрузки. Причем эффективность очистки воды зависела от исходной цветности подземной воды и дозы озона. Так, получение воды стандартного качества по цветности обеспечивали дозы озона 4—5 мг/л при исходной цветности до 50 град и 25 мг/л озона — при цветности 180 град. При больших значениях цветности необходимая доза озона достигала 35 мг/л.

Полученные результаты показали, что озонирование целесообразно применять при сравнительно невысокой цветности исходной воды — до 50—70 град. Для очистки высокоцветных вод возникает необходимость применения реагентного метода очистки, несмотря на его известные недостатки, связанные со сложностью эксплуатации оборудования и образованием значительного количества осадка, требующего специальной обработки и утилизации.

При введении реагентов в обрабатываемую воду коагуляция протекала эффективно с образованием крупных, хорошо оседающих хлопьев. Доза сульфата алюминия 5 мг/л по Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> обеспечивала качество фильтрованной воды, соответствующее нормативам по всем показателям.

На основании этих данных была предложена комбинированная схема очистки воды: при малой цветности (до 40—45 град) — озонирование воды, а при высокой цветности воды применяется реагентный метод (совместно с озонированием или без него).

При выполнении исследований в воде определялась концентрация нефтепродуктов, марганца и формальдегида. Полученные результаты представлены в табл. 7.13.

Таблица 7.13

Эффективность очистки воды методом озонирования и сорбции

Наименование проб воды	Нефтепродукты, мг/л	Марганец, мг/л	Формальдегид, мг/л
Исходная	0,2—0,3	0,03—0,05	0
Исходная озонированная	0,1—0,15	0	0,18
После песчаной загрузки	0,1—0,12	0	0,02—0,025
Озонированная после песчаной загрузки	0,05—0,08	0	0,038
После угольной загрузки	0	0	0,015—0,02

В г. Салехарде особое внимание при очистке подземной воды уделялось удалению марганца, концентрация которого достигала 1,5—4 мг/л. На основании результатов исследований было установлено, что наиболее эффективное удаление марганца возможно при проведении очистки воды в два этапа: на первом этапе удаляется железо с помощью упрощенной аэрации и фильтрованием воды на песчаном фильтре. На втором этапе проводится окисление марганца озоном до образования нерастворимых соединений, что достигается при оптимальной дозе озона, которая составляла 1—1,5 мг/л, и последующее их удаление фильтрованием на второй ступени песчаных фильтров. При этих условиях остаточная концентрация марганца в очищенной воде не превышает ПДК.

Кроме того, в исходной воде присутствовали повышенные концентрации аммонийного азота. Исследованиями установлено, что при фильтровании на песчаной загрузке



экспериментального фильтра концентрация аммонийного азота уменьшается на 16 %, что было недостаточно для выполнения требований стандарта. Предварительное озонирование воды перед фильтрованием дозами озона 1—1,5 мг/л позволяло повысить эффективность удаления аммонийного азота до 50 %.

В то же время следует отметить, что на действующих песчаных фильтрах очистка воды от аммонийного азота проходит достаточно эффективно и достигает 45 %. Это, очевидно, связано с постепенной «зарядкой» фильтра и активизацией биологических процессов очистки воды в толще загрузки.

Подробнее остановимся на результатах исследований в г. Нефтеюганске, проведенных в 2003 г. специалистами НИИ КВОВ. Подземные воды характеризовались мутностью — 0,8—2 мг/л; цветностью — 36—64 град; содержанием железа — 1,5—5 мг/л; перманганатной окисляемостью — 4—5,8 мгО<sub>2</sub>/л; ХПК — 7—10 мгО<sub>2</sub>/л; концентрацией нефтепродуктов — 0,1 мг/л. Кроме того, в воде присутствуют метан и углекислота. Как видно из этих данных, природная вода по качеству больше напоминает поверхностную, чем подземную, и для определения технологии очистки такой воды были проведены экспериментальные исследования в различных технологических режимах.

Прежде всего необходимо было проверить возможность применения безреагентного метода обезжелезивания воды наиболее простым способом — фильтрованием с упрощенной системой аэрации (как это было заложено в проекте и осуществлено при строительстве станции).

Одновременно следовало установить степень обесцвечивания воды в процессе обезжелезивания.

Методика пробного обезжелезивания воды связана с определением возможности образования каталитической пленки на загрузке фильтра в процессе фильтрования воды. Эффективность использования метода зависит от фактического значения параметра  $\alpha$ , определяемого в натуральных условиях.

Методика пробного обезжелезивания заключается в изливании исходной воды на открытую поверхность с последующим определением содержания и форм железа через определенные промежутки времени. В опытах показано, что значения  $\alpha$  находятся в пределах от 0,04 до 0,065. Результаты данного анализа указывают на то, что процесс обезжелезивания воды протекает крайне вяло и находится на грани возможности применения метода. Кроме того, цветность воды при этом практически не изменялась.

Лабораторные исследования и опыты на модельных установках показали, что при безреагентном методе очистки с аэрацией и фильтрованием концентрация железа снижается незначительно, а цветность находится на уровне исходной воды.

Таким образом, указанный метод безреагентного обезжелезивания в данном случае неприемлем. Поэтому последующие опыты были проведены с использованием реагентного метода.

Исследования по реагентной обработке воды показали (табл. 7.14), что при дозах коагулянта СА около 8 мг/л по Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> обеспечивается снижение цветности и мутности до нормативных значений. Концентрация железа при дозах коагулянта от 8 до 14 мг/л уменьшалась лишь до 0,6 мг/л.

Таблица 7.14

Эффективность очистки воды с применением сульфата алюминия

Доза СА, мг/л	Качество воды		
	Цветность, град	Мутность, мг/л	Железо, мг/л
Исходная вода	64	0,8	1,65
2	57	1,2	1,6
4	26	0,43	1,1
6	24	0	0,7
8	18	0	0,8
10	18	0	0,6
12	17	0,2	0,75
14	15	0,15	0,85

Результаты сравнения эффективности различных реагентов, представленные на рис. 7.19, свидетельствует о том, что применение ОХА в тех же дозах, что и СА, позволяет получить воду несколько более высокого качества. Так при дозе коагулянтов 12 мг/л цветность составляет соответственно 21 и 31 град, мутность — 0 и 0,5 мг/л, содержание железа — 0,65 и 0,7 мг/л.

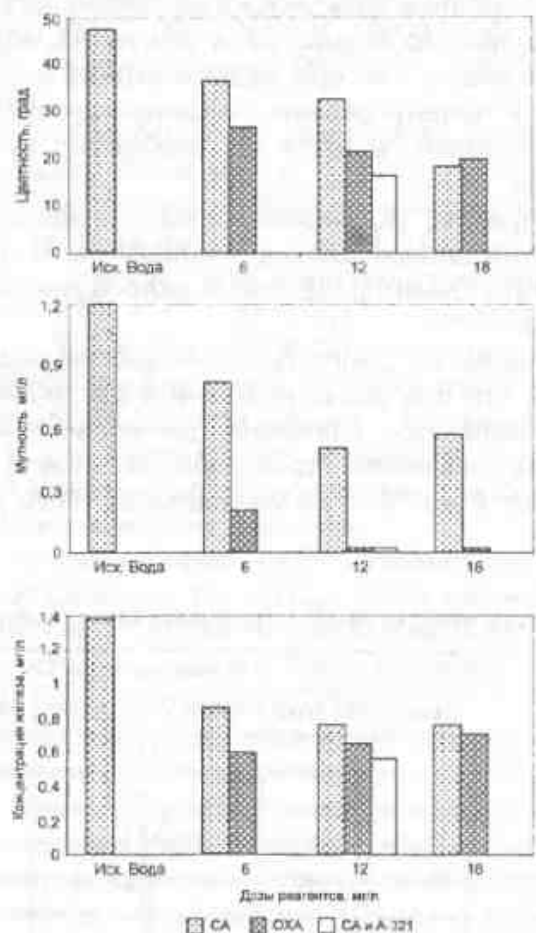


Рис. 7.19. Влияние вида и дозы реагентов на эффективность очистки воды (без предварительного окисления)

Таким образом, было установлено, что одна реагентная обработка (сульфатом алюминия или ОХА с добавлением флокулянтов), уменьшая цветность и мутность воды, не снижает до требуемого норматива концентрацию железа. Это несвойственно поверхностным водам и связано, видимо, с тем, что железо находится в подземной воде в виде комплексных органических соединений.

В связи с этим с целью предварительного окисления комплексных органических соединений с железом исходная вода обрабатывалась озоном. Влияние предварительного озонирования воды представлено графиками рис. 7.20. Как видно из рисунка, озонирование воды (верхние кривые) позволяет снизить цветность воды (при оптимальной дозе озона 6 мг/л) до 20 град; мутность — до 0,3—0,4 мг/л и содержание железа — до 0,4—0,5 мг/л.

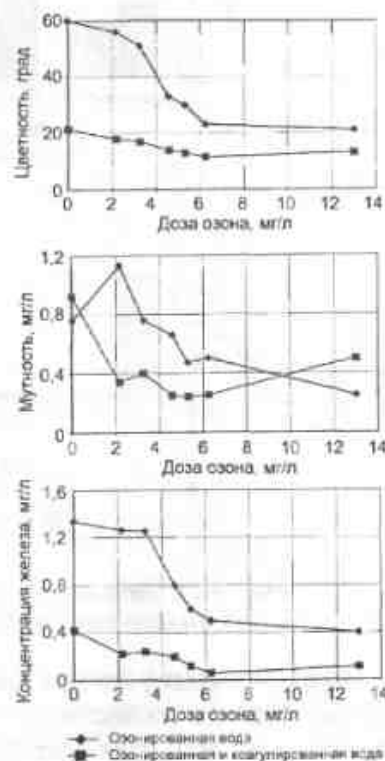


Рис. 7.20. Влияние предварительного озонирования на эффективность очистки воды при коагулировании ( $D_{\text{к}} = 8 \text{ мг/л}$ )

Совершенно очевидно, что самостоятельное озонирование так же, как и коагулирование воды, не позволяют уменьшить концентрацию железа и цветность воды до стандартных значений. Только последующая коагуляционная обработка воды (нижние кривые) позволяет снизить концентрацию железа до 0,08 мг/л, цветность до 10 град, мутность до 0,2 мг/л.

При сравнении эффективности различных реагентов при очистке озонированной и неозонированной воды (рис. 7.21) установлено, что при коагуляции озонированной воды вид коагулянта в меньшей степени влияет на качество очищенной воды, чем при обработке неозонированной воды.

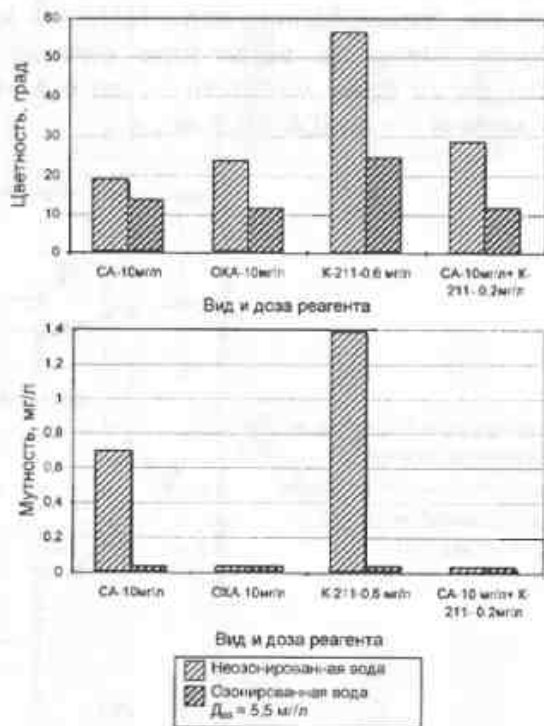


Рис. 7.21. Эффективность очистки озонированной и неозонированной воды различными коагулянтами

Введение флокулянта в озонированную воду без применения коагулянта позволило снизить концентрацию железа и мутность, но при этом цветность была на уровне 20—21 град.

Аналогичные исследования были проведены с предварительным аэрированием воды, которые также показали, что аэрирование способствует повышению эффективности последующей очистки воды коагулированием.

В опытах была установлена связь между концентрацией железа, показателем цветности и содержанием органических загрязнений, определяемых показателем УФ-254 (рис. 7.22). Чем меньше цветность очищенной воды и концентрация органических загрязнений, тем меньше остаточное содержание железа.

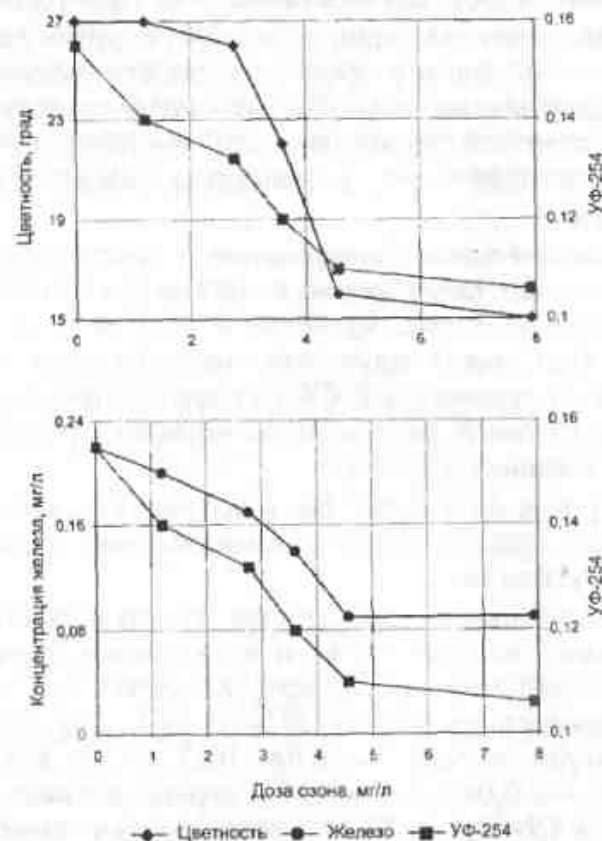


Рис. 7.22. Изменение концентрации железа в очищенной воде в зависимости от остаточной цветности и органических загрязнений при озонировании воды



Исследования на экспериментальной фильтрационной установке были направлены на определение технологических данных и уточнение параметров метода очистки воды, полученных при проведении исследований в лабораторных условиях.

На основании полученных результатов установлено:

◊ Коагулирование воды без предварительной аэрации и озонирования не обеспечивает снижения концентрации железа до норматива (после песчаной загрузки железо определяли в интервале значений 0,86—1,16 мг/л). Концентрация алюминия в ряде случаев превышала ПДК (0,54 мг/л).

◊ Предварительная аэрация, помимо отдувки растворенных газов — метана и углекислоты, существенно повышает глубину удаления железа, а также эффективность последующей реагентной обработки воды. Концентрация железа снижалась до 0,28 мг/л, уменьшались значения и других показателей.

◊ Предварительное озонирование и коагулирование воды обеспечивают также высокие показатели очищенной воды: цветность — 4 град, мутность — 0,75 мг/л; железо — 0,2 мг/л. При этом следует отметить, что коагулирование воды ОХА по сравнению с СА позволяет улучшить показатели качества после песчаного фильтра по мутности, остаточному алюминию и железу.

◊ Наилучшие результаты были получены в схеме с предварительным азированием, озонированием и последующим коагулированием.

◊ Заключительная сорбционная очистка обеспечивала высокое качество воды по всем показателям, включая органические загрязнения и нефтепродукты. Так, значения цветности изменялись в пределах — 0—1,4 град; мутности — 0—0,25 мг/л; железа — 0,04—0,12 мг/л; остаточного алюминия — 0,08—0,18 мг/л; перманганатной окисляемости — 1,2—1,4 мгО<sub>2</sub>/л; концентрация аммонийного азота — на уровне 2 мг/л.

◊ Необходимая эффективность обеззараживания воды при использовании озона достигалась в очищенной воде

после экспериментальной установки без дополнительной обработки воды хлором. Однако, учитывая, что в процессе эксплуатации сооружений возможно накопление в загрузке фильтров микробиологических загрязнений, окончательно обеззараживание необходимо проводить хлорреагентами.

По результатам исследований была предложена комплексная технологическая схема очистки воды, включающая: дегазацию, озонирование, коагуляцию, фильтрование на песчаной и угольной загрузке фильтров, обеззараживание воды.

Принципиальная схема очистки воды для г. Нефтеюганска представлена на рис. 7.23. Такая схема с корректировкой для конкретных условий может быть использована и на других объектах Тюменской области, водоисточники которой характеризуются повышенным содержанием загрязнений природного и антропогенного происхождения.

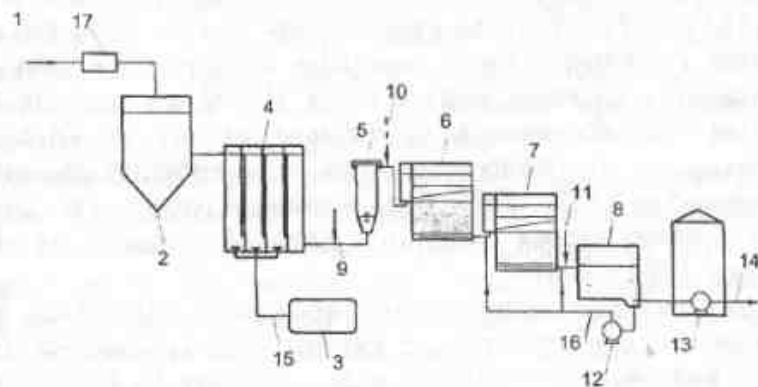


Рис. 7.23. Принципиальная схема очистки подземной воды для г. Нефтеюганска:

- 1 — подача исходной воды; 2 — дегазатор-аэратор; 3 — озонаторный блок; 4 — контактная камера; 5 — смеситель; 6 — скорый фильтр с двухслойной загрузкой; 7 — угольный фильтр; 8 — р. ч. в.; 9 — подача коагулянта (или флокулянта); 10 — подача флокулянта; 11 — подача хлорреагента; 12 — промывной насос; 13 — насосная станция II-го подъема; 14 — подача очищенной воды потребителю; 15 — подача озоновоздушной смеси; 16 — подача воды на промывку фильтров; 17 — высокоэффективный аэратор

На основании разработанных НИИ КВОВ [147] рекомендаций ГУП «МосводоканалНИИпроект» разработал проект реконструкции станции. В настоящее время станция построена и ведутся пусконаладочные работы.

Другим примером использования реагентов при очистке подземных вод являются сероводородсодержащие воды.

Более 20 лет в Приазовском районе Краснодарского края действует Ейский групповой водопровод. Подземная вода характеризуется следующими основными показателями: сероводород — 4—8 мг/л; рН — 7,5—8,8; железо — 0,05—0,3 мг/л; окисляемость — 1,8—4,1 мгО<sub>2</sub>/л; вкус — 0—1 балл и запах — 3—4 балла (сероводородный); цветность — 15—30 град. Наличие сероводорода ухудшает органолептические свойства воды и придает ей агрессивные свойства.

Технологическая схема комплексной обработки сероводородсодержащих вод для Ейского группового водопровода в 1971—1972 гг. была разработана С. Н. Линевичем совместно с сотрудниками кафедры «Технология очистки природных и сточных вод» ЮРГТУ (НПИ) и внедрена Кубанским государственным проектным институтом «Кубаньгипроводхоз» (г. Краснодар) при его проектировании и строительстве [195—197]. В дальнейшем работы по совершенствованию схемы очистки подземной воды были продолжены [198—201].

Схема очистки сероводородсодержащих подземных вод включает в себя: контактную камеру, контактный осветлитель и резервуар очищенной воды. Реагентная схема очистки предусматривает введение хлора (первичное и заключительное), коагулянта, извести и гексаметофосфата. Выбор реагентного метода удаления обоснован формой сероводорода, присутствующего в подземных водах.

При окислении сероводорода образуется коллоидная сера, для удаления которой из воды требуется дестабилизация системы, что в условиях водоподготовки чаще всего достигается путем коагуляционной обработки. Со времени пуска станции до 1994 г. для коагулирования воды использовались сульфат алюминия дозой 30 мг/л и полиакрила-

мид дозой до 6 мг/л. Однако стандартное качество воды по показателю цветности достигалось не всегда. Поэтому для получения воды, отвечающей санитарным требованиям по цветности, приходилось увеличивать дозу коагулянта до 70—90 мг/л, при этом отмечалось повышение концентрации остаточного алюминия до 1,08 мг/л в водопроводной воде.

В связи с этим сульфат алюминия был заменен катионным флокулянт ВПК-402 дозой до 3 мг/л. Одновременно проводились лабораторные исследования с сульфатом алюминия, хлорным железом, сернокислым железом и оксихлоридом алюминия по выбору наиболее эффективного коагулянта.

Из рассмотренных реагентов наиболее эффективным оказался ПОХА «АКВА-АУРАТ™30», при этом его оптимальная доза была меньше, чем СА.

При обработке сероводородсодержащей воды в режиме контактной коагуляции (используя любой из исследуемых коагулянтов) процесс дестабилизации и укрупнения частиц коллоидной серы протекает значительно эффективнее, чем при коагуляции в свободном объеме.

Применение ПОХА «АКВА-АУРАТ™30» на станции позволит сократить расход реагентов и воды на промывку, снизить объем осадка в промывных водах от контактных осветлителей. Это значительно сократит общую стоимость обработки воды, повысит экологичность Ейского группового водопровода при одновременном обеспечении высокого качества водопроводной воды.

Как отмечалось в разделе 1.2, подземные воды Кузбасса повсеместно загрязнены органическими и неорганическими соединениями. Проведенные экспериментальные исследования кемеровскими специалистами [16, 17] позволили определить наиболее эффективные методы обработки подземных вод Кемеровской области.

Для подземных вод с соотношением  $Fe^{2+}/Mn^{2+} < 3$  и содержанием железа до 4 мг/л, марганца до 1,5 мг/л, сероводорода до 1 мг/л, фенола до 0,02 мг/л рекомендована технологическая схема, предусматривающая обработку

исходной воды в дегазаторе-азраторе, оборудованном блоком электроимпульсной обработки, дозирование перманганата калия, гидроксида натрия, фильтрация через дробленые горелые породы и доочистку на сорбционных фильтрах, загруженных активным углем. При содержании марганца < 0,36 мг/л и фенола < 0,003 мг/л из схемы могут быть исключены реагентная обработка и сорбционная очистка.

Для подземных вод Кузбасса с содержанием железа 10 мг/л, марганца — до 1,5 мг/л, сероводорода — до 1 мг/л, фенола — до 0,02 мг/л, солей жесткости — до 15 ммоль/л рекомендована технологическая схема, предусматривающая обработку исходной воды в дегазаторе-азраторе, дозирование перманганата калия и едкого натра, умягчение и осветление воды в реакторе-осветлителе, фильтрация через дробленые горелые породы и доочистку на сорбционных фильтрах, загруженных активным углем.

В разработанных технологических схемах предусмотрена система повторного использования промывной воды с утилизацией образующегося в процессе водоподготовки осадка в качестве присадки при обезвоживании осадков канализационных сточных вод.

Для достижения высокого качества очищенной промывной воды осуществляются ее периодическая обработка реагентами "Кемфлок" или оксихлоридом алюминия и отстаивание в непроточном двухсекционном отстойнике. Очищенная промывная вода повторно используется для промывки фильтров, что делает разработанную схему бессточной.

В целях комплексной проверки разработанных технологий были проведены производственные исследования на водоподготовительных сооружениях поселков Яшкина, Зеленогорского, Промышленной, Кедровки, Ягуновской.

Результаты производственных испытаний, представленные в табл. 7.15, показали, что при очистке подземной воды с повышенными концентрациями железа, марганца, со-

лей жесткости по разработанной технологии достигается качество воды, отвечающее требованиям СанПиН.

Таблица 7.15

Результаты производственных испытаний

Объекты	Качественные показатели воды				
	Мутность, мг/л	Fe <sub>общ.</sub> , мг/л	Mn <sup>2+</sup> , мг/л	Ж <sub>общ.</sub> , ммоль/л	Фенол, мг/л
П.ш. Ягуновская:					
исходная	1,8—2,5	1,0—1,5	0,8—1,2	6,6—7,0	0,003—0,005
очищенная	0,1—0,5	0,05—0,2	0,01—0,1	7,0—8,0	
Р.п. Промышленная:					
исходная	5,0—8,0	2,8—3,0	0,9—1,5	9,0—15,0	0,003—0,005
очищенная	0,3—0,8	0,05—0,2	0,05—0,1	6,5—7,0	
Р.п. Яшкино:					
исходная	1,8—2,1	2,5—3,3	0,8—1,5	7,0—7,5	0,004—0,0056
очищенная	0,3—0,5	0,05—0,25	0,05—0,1	7,5—8,0	
Р.п. Зеленогорский:					
исходная	0,8—1,5	0,6—1,0	0,1—0,15	6,0—6,5	0,005—0,02
очищенная	0,1—0,5	0,01—0,2		7,0—7,3	0,0005—0,001

## 7.6. Применение флокулянтов

### 7.6.1. Анионные флокулянты

Флокулянтами в технологии очистки воды называют неорганические вещества или органические высокомолекулярные соединения, интенсифицирующие процесс хлопьеобразования при коагуляции взвеси солями алюминия или железа, а также позволяющие улучшить работу водоочистных сооружений.

Из неорганических флокулянтов наиболее известна активная кремнекислота (АК), получаемая путем активации жидкого стекла серной кислотой, сульфатом алюминия или хлором. Растворы АК не выпускаются промышленностью, а



готовятся на месте применения непосредственно перед использованием.

Первые отечественные широкомасштабные исследования по активации и использованию АК проводились Л. А. Кульским, В. А. Слипченко, В. Ф. Накорчевской, Г. Г. Первовым, Э. И. Гервицем и др. [202—204].

АК нашла широкое применение за рубежом, использовалась при очистке днепровской воды на Украине [202], имелся кратковременный опыт применения на Северной водопроводной станции г. Ярославля [203]. В настоящее время в России АК применяется на единичных объектах. Это, по-видимому, связано с определенными трудностями технологического режима приготовления АК.

Наибольшее распространение в России получили органические высокомолекулярные флокулянты анионного и катионного типа. Анионные флокулянты используют обычно в дополнение к сульфату алюминия, а катионные — или совместно с ним, или самостоятельно.

Из синтетических анионных флокулянтов наиболее широкое применение нашел органический полимер полиакриламид (ПАА). В Советском Союзе впервые работы по применению ПАА были начаты в Академии коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова и НИИ КВОВ под руководством Д. М. Минца, Ю. И. Вейцера, Л. Н. Паскуцкой, З. В. Черновой, Г. А. Орлова [205—215].

ПАА был разработан Институтом высокомолекулярных соединений АН СССР совместно с ВНИИ Галургии [209].

Флокулянт производится двух сортов (аммиачный и известковый) и выпускается в виде водного прозрачного геля с содержанием активной части до 7—10 %. ПАА поставляется в бочках и полиэтиленовых мешках массой 100—150 кг. Для приготовления рабочих растворов ПАА служат специальные мешалки типа УРП, выпускаемые московским заводом «Коммунальник».

Первые результаты исследований и опытного применения ПАА при очистке природных вод были поистине революционным мероприятием, позволяющим существенно улучшить процессы реагентной обработки воды, отстаивания и освет-

ления во взвешенном слое, особенно для холодных цветных вод, а также для осветления мутных и высокомутных вод.

Механизм действия ПАА основан на адсорбции его молекул на частицах примесей воды, гидроксидов алюминия или железа (III), образующихся при гидролизе коагулянтов. Молекулы ПАА способны образовывать ассоциаты структур — цепочки длиной 130 нм. Благодаря вытянутой форме молекулы адсорбция происходит в разных местах с несколькими частицами гидроксида, в результате чего последние связываются полимерными мостиками в тяжелые, крупные и прочные агрегаты, которые в дальнейшем эффективно оседают в отстойниках и задерживаются во взвешенном слое осадка.

Начиная с 60-х годов ПАА нашел повсеместное применение практически на всех водопроводных станциях страны.

Полиакриламидами являются также зарубежные флокулянты типа седипур, сепаран, суперфлок, магнафлок и др.

### *7.6.2. Катионные флокулянты*

В последние десятилетия появилась группа катионных флокулянтов, которые могут применяться самостоятельно без использования сульфата алюминия, поэтому их стали называть органическими коагулянтами.

Впервые в Советском Союзе в 60-х годах была начата работа по применению катионных флокулянтов в технологии очистки воды.

По заданию НИИ КВОВ в МХТИ им. Д. И. Менделеева был синтезирован ряд катионных флокулянтов, из которых на основании лабораторных опытов был отобран наиболее эффективный флокулянт ВА-2 (поли-4-винил-N-бензилтриметиламмоний хлорид). Новокемеровским химкомбинатом и Кемеровским заводом «Карболит» были выпущены опытные партии этого реагента.

Флокулянт ВА-2 был всесторонне изучен в технологических и санитарно-гигиенических исследованиях [216—221]. Флокулянт ВА-2 представлял собой вязкую прозрачную

жидкость, хорошо смешивался с водой в любых пропорциях, образуя устойчивый однородный раствор. Содержание полимера в продукте составляло около 9 %.

Исследования, проведенные на водах различного состава, показали эффективность ВА-2 в процессах очистки мутных и высокомутных вод путем отстаивания и осветления в слое взвешенного осадка, а также в процессах фильтрации при обработке как мутных, так и цветных вод.

Был выявлен ряд преимуществ ВА-2 по сравнению с минеральными коагулянтами, к числу которых относятся: весьма малые дозы, более высокая эффективность, неизменяемость в процессе обработки воды величины рН и щелочности, а также ее коррозионной активности.

Исследования эффективности флокулянта ВА-2 при осаждения взвеси показали, что ВА-2, взаимодействуя с минеральными частицами взвеси, образует тяжелые быстроосаждающиеся хлопья. При очистке высокомутной воды р. Куры добавление флокулянта в незначительных дозах вызывало быстрое образование хлопьев и их интенсивное осаждение. Добавление ВА-2 в количестве 0,4—0,8 мг/л обеспечивало осветление воды, содержащей 2000—3000 мг/л взвеси, за 5 мин. В тех же условиях сульфат алюминия при дозах 10—20 мг/л действовал медленнее, причем конечный эффект осветления был значительно ниже. При содержании взвеси 200—400 мг/л введение ВА-2 приводило к почти 100%-ному осаждению взвеси за 30 мин в отличие от 30%-ного осаждения при применении коагулянта.

Примерно такие же результаты были получены при осветлении мутных вод рек Уфы и Урала.

Изучение влияния флокулянта ВА-2 на осветление воды в слое взвешенного осадка с высотой слоя 2,3—2,6 м показало, что концентрация взвешенного осадка при применении ВА-2 оказалась в 3—5 раз более высокой, чем при применении сульфата алюминия (20—70 г/л по сравнению с 7—10 г/л); скорость восходящего потока также была более высокой (до 2 мм/с), выше был и эффект осветления воды.

В процессах фильтрации при контактной коагуляции флокулянт ВА-2 обеспечивал большую продолжительность фильтрационных циклов и показал возможность значительного увеличения скорости фильтрации с 7 до 14 м/ч при одинаковой с СА продолжительности фильтроцикла.

Исследования механизма действия ВА-2 показали химическую природу адсорбции флокулянта на глинистых частицах. Флокулянт, изменяя состояние двойного электрического слоя у поверхности частиц глины, в то же время образует мостики между твердыми частицами и молекулой полимеров. Имея положительный заряд, его макроионы адсорбируются на отрицательно заряженных коллоидно-дисперсных примесях воды, образуя крупные агрегаты. Поэтому при применении флокулянтов катионного типа хлопьеобразование происходит без обычных минеральных коагулянтов.

Присутствующие в природных водах высокомолекулярные гуминовые кислоты, обуславливающие цветность воды, формируют с ВА-2 нерастворимые в воде высокомолекулярные соединения, в связи с чем образования крупных хлопьев не происходит даже при оптимальных дозах ВА-2 и в оптимальных условиях перемешивания. Поэтому эффективное отделение образовавшихся хлопьев может быть достигнуто только путем фильтрации, и самостоятельное применение ВА-2 в качестве коагулянта возможно при очистке маломутных цветных вод только в одноступенных схемах очистки с контактными осветлителями или крупнозернистыми фильтрами. Расход флокулянта при этом составит 1 мг/л на 7—10 град цветности, что экономически не всегда выгодно.

Как показали токсикологические и санитарно-гигиенические испытания флокулянта, выполненные кафедрой коммунальной гигиены 1-го Московского медицинского института им. И. В. Сеченова, ВА-2 в пределах доз, обеспечивающих его остаточное содержание в питьевой воде не более 0,5 мг/л, является безвредным для здоровья человека. А поскольку дозы ВА-2 составляли от 0,2 до 2,0 мг/л, то

контроль за остаточным содержанием продукта не выявил величин, превышающих установленный норматив.

Проведенные производственные испытания ВА-2 на контактном осветлителе водопроводной станции г. Уфы, на осветлителях со взвешенным осадком на опытном блоке в г. Кемерово и на станции производительностью 6 тыс. м<sup>3</sup>/сут в г. Леове (Молдавия) [220, 221] подтвердили высокую эффективность флокулянта.

Испытания в г. Уфе показали:

- дозы ВА-2 составляли 0,02—0,04 мг/л (в летний период) и 0,5 мг/л (в паводок) по сравнению с дозой сульфата алюминия соответственно 1,0 и 5,0 мг/л и ПАА — 0,2—0,3 мг/л;
- продолжительность фильтроцикла в паводок повысилась с 4 до 12 ч;
- мутность очищенной воды составляла при применении ВА-2 — 0,4—0,8 мг/л и СА — 1,3—1,5 мг/л;
- эксплуатация контактного осветлителя более проста и, что особенно важно, более надежна и позволяла стабильно получать качественную воду.

Производственные испытания на осветлителях со взвешенным осадком подтвердили преимущества ВА-2:

- доза составляла 0,5—0,8 мг/л (доза СА — 8—12 мг/л);
- при обработке воды флокулянтами ВА-2 обеспечивалось стабильное качество питьевой воды на протяжении всего цикла испытаний, эффективность работы осветлителей со взвешенным осадком при повышенных скоростях восходящего потока воды была несколько выше, чем при использовании сульфата алюминия. Это указывает на то, что имеется определенный резерв интенсификации работы осветлителей.

В процессе производственных испытаний постоянно контролировалось остаточное содержание ВА-2. В очищенной воде ВА-2 или отсутствовал, или его концентрации отмечались на уровне следов.

Работы, связанные с проверкой технологических особенностей ВА-2, показали его высокие технологические

преимущества, технико-экономическую эффективность благодаря уменьшению расхода реагента, улучшению условий труда обслуживающего персонала и отказу от применения извести или соды и полиакриламида.

Предварительные технико-экономические расчеты подтвердили, что применение ВА-2 в дозах до 1,5 мг/л является более выгодным, чем обработка воды сульфатом алюминия.

Однако при подготовке производства к промышленному выпуску ВА-2 был выявлен ряд сложностей, затрудняющих его производство, и сделавших невозможным его промышленное освоение.

В дальнейшем был организован в ПО «Каустик» (г. Стерлитамак) выпуск флокулянта ВПК-402, подобного ВА-2 по химическому составу, который в настоящее время применяется на водопроводных станциях. Наиболее широко были развернуты работы по использованию ВПК-402 в Ростовской области и в южном европейском регионе России [222—224].

Флокулянт ВПК-402 выпускается в виде геля с содержанием активной части в товарном продукте в пределах 25—30 %. Предельно допустимая концентрация ВПК-402 в питьевой воде — 0,1 мг/л.

При проведении авторами экспериментальных исследований по определению эффективности различных флокулянтов при очистке природных вод различного состава было отмечено, что в ряде случаев использование катионных флокулянтов совместно с коагулянтами является более эффективным, чем применение анионных флокулянтов.

В качестве примеров рассмотрим данные, полученные в двух городах.

При очистке воды Воткинского водохранилища (г. Ижевск) были испытаны различные коагулянты (СА, ОХА, РАХ и AVR) в сочетании с анионными (А-100, А-321, ПАА) и катионными (К-211, С-577, ВПК-402) флокулянтами.

При сравнении влияния различных флокулянтов на процесс осветления и качество очищенной воды установлено, что при использовании коагулянта AVR и ОХА (рис. 7.24)



эффективность осветления при отстаивании и качество очищенной воды по цветности, а также по показателю перманганатной окисляемости выше при применении катионных флокулянтов. При использовании коагулянта PAX и катионного флокулянта существенно уменьшается концентрация остаточного алюминия (рис. 7.25).

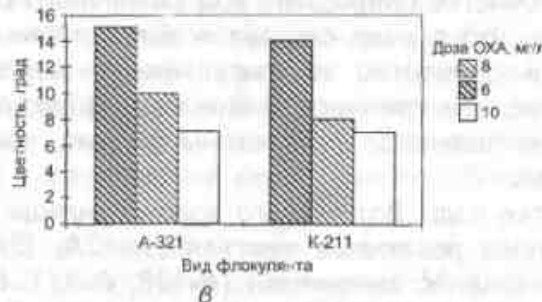
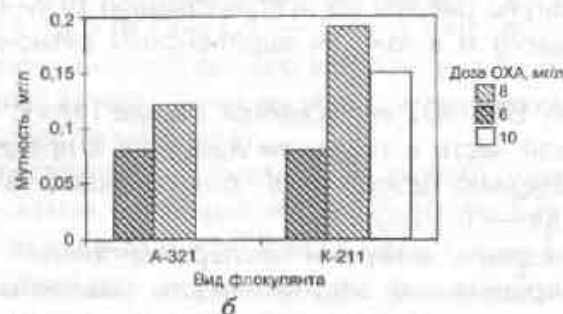


Рис. 7.24. Изменение качества очищенной воды Воткинского водохранилища в зависимости от дозы ОХА и вида флокулянта (лето 1997 г.); доза флокулянта 0,2 мг/л: а — осветление воды; б — мутность; в — цветность

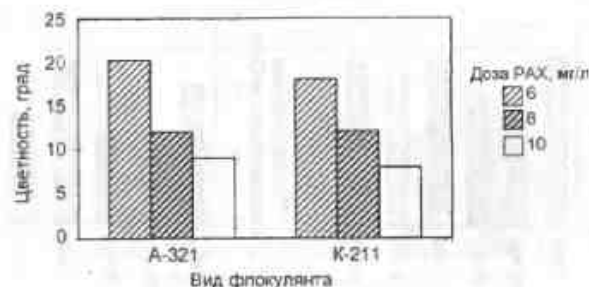
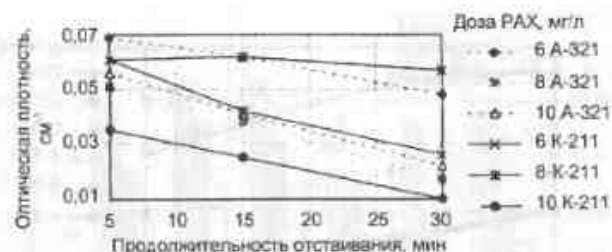
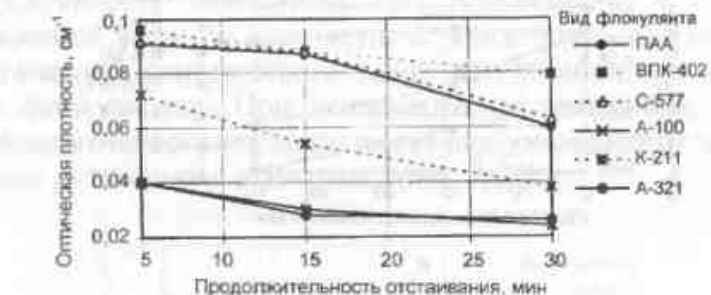


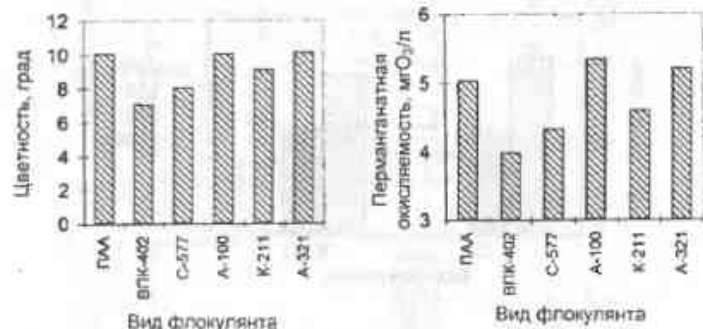
Рис. 7.25. Изменение качества очищенной воды Воткинского водохранилища в зависимости от дозы PAX и вида флокулянта (лето 1997 г.);

а — осветление воды; б — цветность; в — остаточный алюминий

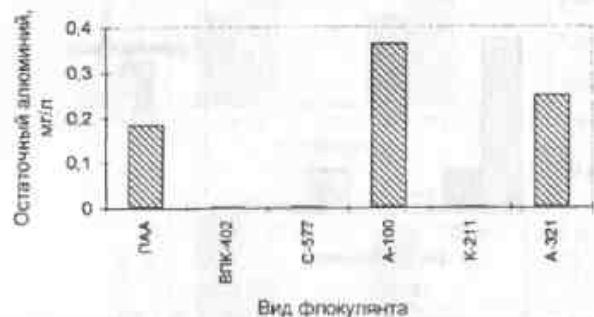
На рис. 7.26 представлено изменение показателей качества воды в зависимости от вида флокулянта. Из этих рисунков видно, насколько существенно и важно правильно определить вид флокулянта, наиболее эффективного при очистке воды данного водоемисточника.



а



б



в

Рис. 7.26. Изменение качества очищенной воды Воткинского водохранилища в зависимости от вида флокулянта (паводок 1998 г.); доза СА — 6 мг/л; доза флокулянта — 0,2 мг/л; а — осветление воды; б — цветность и ПО; в — остаточный алюминий

Аналогичные результаты (рис. 7.27) получены при очистке прудовой воды в г. Ижевске, когда наиболее эффективными также оказались катионные флокулянты.

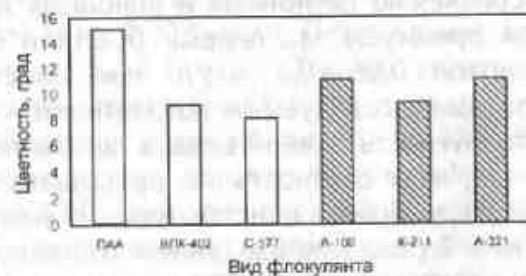
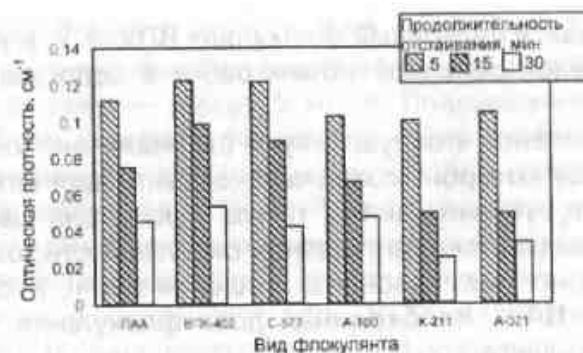


Рис. 7.27. Влияние вида флокулянта на качество очищенной прудовой воды в паводковый период (доза сульфата алюминия — 9 мг/л, ПАА — 0,4 мг/л)

В г. Ярославле на Южной водопроводной станции при очистке воды р. Которосли используется ПАА, поэтому в исследованиях было уделено большое внимание флокулянтам. Из всех исследованных флокулянтов наиболее эффек-

тивным оказался катионный флокулянт ВПК-402, с которым и был проведен основной объем работ в сопоставлении с ПАА.

Было отмечено, что существует оптимальная доза флокулянта, выше которой возрастает концентрация остаточного алюминия, увеличиваются также показатели цветности очищенной воды и перманганатной окисляемости; особенно это характерно для анионных флокулянтов и в большей степени для ПАА. Необходимая доза флокулянта зависит от дозы коагулянта.

Данные по сравнению катионных и анионных флокулянтов показывают преимущества первых (К-211 и ВПК-402), применяемых дозой 0,05—0,2 мг/л, при очистке воды р. Которосли по всем исследуемым показателям.

Учитывая, что мутность речной воды в летний период составляла 3—4 мг/л, а цветность не превышала 20 град, были исследованы варианты очистки воды с уменьшением дозы коагулянта в 2 раза и проведением контактной коагуляции. Результаты опытов показывают, что даже при дозе коагулянта 3 мг/л (по сравнению с 5—7 мг/л на станции) достигалась высокая степень очистки воды. При использовании катионного флокулянта ВПК-402 эффективность очистки воды была выше, чем с ПАА.

В летний период возможно использование одного катионного флокулянта ВПК-402 в небольших дозах при контактной коагуляции, при этом уменьшаются мутность и цветность, в очищенной воде отсутствует остаточный алюминий. Однако лабораторные опыты с контактной коагуляцией необходимо было проверить на производственных фильтрах.

Производственные испытания катионного флокулянта ВПК-402 были проведены для установления его эффективности в наиболее неблагоприятное время года — паводковый период.

Результаты испытаний показали, что при использовании ВПК-402 вместо ПАА качество очищенной воды по основным показателям улучшается. Мутность воды не превышала 1 мг/л, а концентрация остаточного алюминия в среднем

составляла 0,1—0,2 мг/л (с ПАА — 0,35—0,5 мг/л). Существенно ниже была и перманганатная окисляемость, во многих случаях — менее 5 мг/л. Положительное влияние ВПК-402 на качество очищенной воды особенно заметно при уменьшении дозы коагулянта. При снижении дозы сульфата алюминия с 12 до 8 мг/л мутность и концентрация остаточного алюминия соответствовали стандарту.

В процессе испытаний контролировалось содержание флокулянта в очищенной воде (ПДК в питьевой воде — 0,1 мг/л). В зависимости от дозы флокулянта и эффективности очистки воды концентрация остаточного ВПК-402 изменялась от 0 до 0,003 мг/л. Оптимальная доза флокулянта составила 0,1—0,2 мг/л. Так как остаточная цветность воды была на уровне 9—11 град, в данных условиях возможно уменьшение дозы коагулянта на 15—20 %.

Производственные испытания показали, что флокулянт ВПК-402 на ЮВС следует использовать для очистки воды с повышенными значениями мутности и цветности и при низкой ее температуре, когда плохо протекают процессы коагулирования. В этом случае ВПК-402 применяется совместно с коагулянтом и в основном на фильтрах для удаления мельчайших взвешенных частиц, образующихся при коагулировании воды и плохо оседающих в отстойниках.

Из катионных флокулянтов помимо ВПК-402 для очистки воды могут быть использованы зарубежные флокулянты Fennopol K-211 (АО «Кемира», Финляндия), Praestol 650 («Stockhausen GmbH»). Эти флокулянты имеют 100%-ное содержание активного вещества и обладают высокими технологическими свойствами, однако их стоимость в несколько раз превышает стоимость ВПК-402.

На НФС-2 водоканала г. Кемерово на пилотной установке были проведены испытания ВПК-402 [225] в течение двух фильтрационных циклов при сопоставлении оксисульфата алюминия (доза 2 мг/л) с ВПК-402 (доза 0,2 мг/л) и сульфата алюминия с ПАА в тех же дозах. Дозы реагентов были приняты аналогичными дозам на сооружениях станции.



Результаты, представленные на рис. 7.28, показывают, что мутность воды после фильтров пилотной установки отмечалась на уровне 6 мг/л, а концентрация остаточного алюминия — 0,15 мг/л, что свидетельствовало о неэффективном режиме принятой реагентной обработки (в другие периоды остаточный алюминий в фильтрованной воде изменялся в диапазоне 0,2—0,4 мг/л).

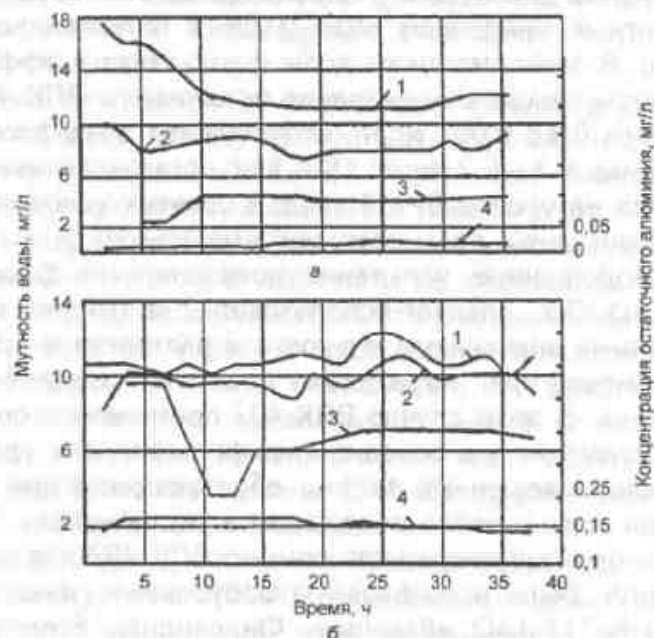


Рис. 7.28. Результаты исследований по очистке воды р. Томи на пилотной установке:

а — с использованием оксисульфата алюминия (2 мг/л  $Al_2O_3$ ) и ВПК-402 (0,2 мг/л); б — с использованием сульфата алюминия (2 мг/л  $Al_2O_3$ ) и ПАА (0,2 мг/л); мутность воды: 1 — исходной; 2 — осветленной; 3 — фильтрованной; 4 — концентрация остаточного алюминия в фильтрованной воде

Применение ОХА и ВПК-402 обеспечивают удовлетворительную работу отстойника, поэтому фильтрованная вода соответствует стандарту по мутности. Содержание остаточного алюминия в фильтрате не превышало 0,1 мг/л.

На протяжении нескольких лет в технологической лаборатории ЗАО «Водоканал» г. Новокузнецка проводились исследования эффективности применения различных коагулянтов и флокулянтов при очистке воды р. Томи [226]. Лабораторные исследования катионного флокулянта ВПК-402 проводились в сочетании с сульфатом алюминия и ОХА и проверялась возможность его использования в качестве единственного реагента.

Исследования показали, что ВПК-402 целесообразнее применять в сочетании с дефицитной дозой сульфата алюминия, а в случае применения его в качестве самостоятельного реагента необходимо длительное и интенсивное перемешивание.

Производственные испытания проводили следующим образом: на одну очередь сооружений дозировали сульфат алюминия с дефицитной дозой и флокулянт ВПК-402, на другую очередь — традиционные реагенты: сульфат алюминия и ПАА.

При применении ВПК-402 в качестве флокулянта вместо ПАА экономический эффект (до 15 %) достигается благодаря снижению дозы коагулянта на 20 % при одинаковом качестве очистки.

При использовании ВПК-402 в качестве единственного реагента для очистки воды его ввод осуществлялся на станции 1-го подъема, отстоящей от смесителя на расстоянии 1,5 км, с помощью насосов-дозаторов.

При этом отмечается:

- при мутности исходной воды до 20 мг/л флокулянт обеспечивает высокое качество очистки, при большей мутности эффект очистки снижается;

- стоимость очистки при применении ВПК-402 уменьшается в 2—3 раза в зависимости от качества исходной воды.

Следует отметить, что при использовании ВПК-402 наблюдалось ухудшение условий промывки фильтров.

### 7.6.3. Новые флокулянты

Наряду с исследованиями возможностей расширения практического применения уже известных флокулянтов

специалистами ведутся поиски новых реагентов. Наиболее интересные из работ представлены ниже.

В. А. Лысовым и специалистами Ростовского государственного строительного университета (РГСУ) [227] разработаны технологии получения нового реагента — алюмосиликатного флокулянта и его использования совместно с алюмосодержащими реагентами.

Флокулянт представляет собой порошкообразную смесь двух компонентов, в приготовлении которой используются недорогие широко распространенные реагенты. Процесс получения смеси — неэнергоемкий и не требует сложного, дорогостоящего технологического оборудования.

Исследования по определению оптимальных условий совместного использования флокулянта и коагулянта проводились на центральных очистных сооружениях г. Ростова-на-Дону. В ходе проведения экспериментов установлено, что порядок ввода реагентов и соотношение доз  $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$  зависит от вида коагулянта и мутности исходной воды:

- при использовании в качестве коагулянта сульфата алюминия совместно с алюмосиликатным флокулянтом нормативное осветление воды достигается при следующем порядке ввода реагентов: флокулянт + сульфат алюминия (мутность природной воды — менее 20 мг/л) при соотношении доз  $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 = 0,9$ ; сульфат алюминия + флокулянт (мутность природной воды — более 20 мг/л) при соотношении доз  $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 = 0,335$ ;

- при использовании в качестве коагулянта оксихлорида алюминия совместно с алюмосиликатным флокулянтом нормативное осветление воды достигается при порядке ввода реагентов: флокулянт + оксихлорид алюминия (независимо от мутности) при соотношении доз  $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 = 0,976$ .

Использование предложенных вариантов обработки воды обеспечивает не только интенсификацию процессов коагуляции и хлопьеобразования, но также позволяет сократить содержание остаточного алюминия до 0,2 мг/л, уменьшить степень понижения pH (что особенно ощутимо при совме-

стной обработке природной воды оксихлоридом алюминия и алюмосиликатным флокулянтом) до 0,1 и сократить дозу коагулянта на 30—40 % для сульфата алюминия и до 70 % для оксихлорида алюминия.

Дон в летний период года характеризуется сравнительно высокой температурой воды (18—28 °С) и малой мутностью (4—15 мг/л). Эти условия вызывают интенсивное развитие фито- и зоопланктона, достигающее 20—40 млн кл/мл. Неседиментированный в отстойнике фито- и зоопланктон, проникая в фильтр, вызывает кольматацию его загрузки. Согласно СНиП 2.04.02—84 (п. 6.10) при концентрации фито- и зоопланктона более 1000 кл/см<sup>3</sup> рекомендуется применение микрофильтров. Однако в регионе необходимый период их эксплуатации составляет не более двух месяцев и требует значительных капитальных вложений. При использовании алюмосиликатного флокулянта совместно с оксихлоридом алюминия удалось также эффективно извлекать в летнее время фито- и зоопланктон, снизив его концентрацию на 75 %, что обеспечивает нормальную эксплуатацию очистных сооружений.

Авторы О. Ю. Кузнецов и А. И. Данилина [228], К. М. Ефимов, П. А. Гембицкий и др. [229] изучали и предлагают бактерицидные полиэлектролиты (или дезинфицирующие флокулянты) для очистки и обеззараживания питьевых и сточных вод.

В нашей стране более десяти лет назад разработан способ получения такого флокулянта — полигексаметиленгуанидин (ПГМГ). Он помимо флокулирующих свойств обладает высокой биоцидной активностью. Обеззараживание воды полимером основано на бактерицидной активности его гуанидиновых групп. Механизм бактерицидного действия ПГМГ вызывает гибель грамм-положительных и грамм-отрицательных микроорганизмов.

Флокулирующее действие ПГМГ основано на полярности гуанидиновой группировки полимера, имеющей положительный заряд и придающей ПГМГ свойства флокулянта катионного типа.

В качестве флокулянта полимер можно использовать как самостоятельно, так и в сочетании с коагулянтом. Оптимальная доза ПГМГ в качестве флокулянта на стадии фильтрования зависит от процесса очистки воды и составляет 0,5—1,0 мг/л. Помимо удаления взвешенных и органических веществ ПГМГ позволяет уменьшить в фильтрованной воде концентрацию остаточного алюминия (на 30—50 %), а также способствует удалению таких загрязнений, как железо (до 80 %) и тяжелые металлы (на 25—95 % в зависимости от вида иона).

Авторы работы [228] предлагают в технологии очистки и обеззараживания воды из поверхностного источника водоснабжения выполнять следующие последовательные операции:

- предварительную бактерицидную обработку исходной воды ПГМГ дозой 0,3—0,5 мг/л для обеспечения санитарной безопасности сооружений и предотвращения их биологического обрастания;
- коагуляцию воды минеральным коагулянтом и отстаивание (при необходимости);
- флокуляцию (при необходимости) воды ПГМГ дозой 0,3—0,5 мг/л и фильтрование;
- заключительную бактерицидную обработку воды ПГМГ дозой 0,5—0,7 мг/л.

Для процессов очистки и обеззараживания воды наибольший интерес представляют две соли полимера: ПГМГ-хлорид (торговые названия Полисепт и Метацид) и ПГМГ-фосфат (торговые названия Фогуцид и Анавидин). Обе модификации реагента получили комплексную медико-биологическую оценку и выпускаются в промышленном масштабе, разрешены Минздравом России для очистки и обеззараживания воды. Модификации различаются по областям применения: ПГМГ-фосфат — для очистки и обеззараживания питьевой воды; ПГМГ-хлорид — для воды закрытых и открытых систем технического водоснабжения.

В настоящее время производство ПГМГ-хлорида осуществляется в виде гранул (Метацид) или 25%-ного водного

раствора (Полисепт), ПГМГ-фосфата в виде 25%-ного водного раствора. Гранулы расфасованы в двойные полиэтиленовые мешки массой 1 или 5 кг. Водный раствор обеих модификаций реагента поставляется потребителю в канистрах емкостью 5 л, возможна поставка в канистрах любого объема.

25%-ный водный раствор реагента сохраняет свою стабильность и активность не менее двух лет, а реагент в виде гранул, упакованных в полиэтиленовые мешки, — не менее одного года.

В работе [229] отмечается, что на Деснянской водопроводной станции г. Киева и в «Водоканале» г. Н. Новгорода были проведены испытания флокулянта. Полученные результаты свидетельствуют о том, что в дозах 0,1 мг/л ПГМГ по своей эффективности аналогичен озонированию или хлорированию воды, и его применение позволяет снизить необходимую дозу минерального коагулянта с 10—15 до 5 мг/л.

Однако предлагаемая исследователями технология трехстадийного введения ПГМГ может быть реализована только при существенных дополнительных затратах, необходимости проведения дополнительных исследований, а также при переоборудовании технологических линий, автоматизации подачи реагента и специальном обучении персонала.

По нашему мнению, наиболее перспективным является применение ПГМГ для обеззараживания воды плавательных и лечебных бассейнов, что подтверждено документом Минздрава России.

Одной из областей применения высокомолекулярных флокулянтов является обработка промывных вод фильтровальных сооружений для повторного использования осветленной воды.

На кафедре химической технологии пластмасс Санкт-Петербургского технологического института Ю. А. Теофановым и Л. Ф. Смирновой [230] разработаны новые флокулянты: анионный «ФЛОТИН» и катионный «ТИМАКСОЛ-П».

Исследования возможности применения новых флокулянтов «ФЛОТИН» и «ТИМАКСОЛ-П» для очистки промыв-



ных вод контактных осветлителей проводились на ЮВС г. Санкт-Петербурга. Одновременно для сравнения осуществлялось осветление промывной воды полиакриламидом. Результаты экспериментальных исследований показали значительное преимущество катионного флокулянта «ТИМАКСОЛ-П» перед ПАА и флокулянт «ФЛОТИН» по степени осветления.

При оптимальной дозе флокулянта 4—5 мг/л остаточное содержание взвешенных веществ после двухчасового отстаивания не превышало 4 мг/л во всем исследуемом диапазоне их исходных концентраций в промывной воде. Содержание остаточного алюминия составляло 0,8—1,2, в то время как с применением сульфата алюминия и ПАА оно отмечалось на уровне 2,6—7,0 мг/л.

Специалистами МосводоканалНИИпроекта сделана попытка применения полимерных материалов с ионообменными и сорбционными свойствами, позволяющих в дополнение к коагулянту уменьшить содержание токсичных примесей в обрабатываемой воде. В этих целях использовались высокомолекулярные ионообменные смолы (ВМИОС) в порошкообразном виде [231].

В настоящее время ионный обмен широко используется в водоподготовке в основном для медицинской, пищевой промышленности и в энергетике. Иониты типа КУ-2-8, АВ-17-8 и др. представляют собой сферические зерна желто-коричневого цвета диаметром от 0,3 до 1,25 мм, загружаемые в ионообменные фильтры в качестве фильтрующей сорбционной загрузки, которая требует после определенного времени работы регенерации.

В исследованиях использовались образцы ионитов в порошкообразном виде. Введение ионитов в дозе 10 мг/л в дополнение к традиционной реагентной обработке (коагулянт, хлор, флокулянт и аммиак) позволило устранить запахи, снизить величину окисляемости, уменьшить содержание хлорорганических соединений. Однако по отношению к цветности аниониты были не всегда эффективны.

Полученные первые результаты показали возможность повышения глубины очистки воды при коагуляции.

Уральской лесотехнической академией [232] разработан и предложен новый неорганический флокулянт «Экозоль-401», позволяющий устойчиво обеспечивать качество питьевой воды, соответствующее стандарту благодаря высоким сорбционным свойствам реагента и его способности ускорять образование хлопьев и их осаждение, независимо от температуры и щелочного резерва обрабатываемой воды. В работе выполнен комплекс сравнительных испытаний гигиенической эффективности совместного использования флокулянтов — «Экозоля-401», полиакриламида и различных коагулянтов — оксихлорида алюминия и сульфата алюминия.

Исследования осуществлены на природных водах в городах Екатеринбург, Нижний Тагил и Полевской: Волчихинском и Черноисточинском водохранилищах, Верх-Исетском пруду и р. Чусовой в районе размещения водопроводных сооружений. Оценка качества воды проводилась после обработки реагентами — по цветности, мутности, остаточным концентрациям алюминия и железа.

Результаты лабораторных испытаний по качеству воды (табл. 7.16) и по эффективности осаждения взвеси (табл. 7.17) свидетельствуют о том, что при использовании флокулянта «Экозоль-401» в максимальной дозе (15 мг/л), традиционного сульфата алюминия в диапазоне концентраций от 10 до 20 мг/л и перемешивании воды с реагентами в течение трех минут зафиксирована интенсификация процесса образования хлопьев и увеличение их среднего размера в 2,5 раза, даже в зимний период года при температуре обрабатываемой воды не выше 4 °С.

Приведенные данные показывают преимущества использования неорганического флокулянта «Экозоль 401» в сравнении с традиционным полиакриламидом. Наибольшие различия в действии двух флокулянтов проявились при совместном применении флокулянта «Экозоль-401» и коагулянта оксихлорида алюминия.

Таблица 7.16

**Эффективность использования сульфата алюминия и различных флокулянтов (усредненные показатели)**

Показатели	Единица измерения	Исходная вода	После обработки	
			Сульфат алюминия + полиакриламид	Сульфат алюминия + «Экозоль 401»
Цветность	град	105	25	10
Мутность	мг/л	8,3	1,8	<0,5
Железо общее	мг/л	1,9	0,3	0,2
Алюминий остаточный	мг/л	0,007	0,7	0,2

Таблица 7.17

**Данные по эффективности осаждения взвеси с использованием различных реагентов**

Наименование реагентов	Доля осевшей взвеси, %, через			
	15 мин	20 мин	25 мин	30 мин
Сульфат алюминия + полиакриламид	2	11	18	21
Сульфат алюминия + «Экозоль 401»	28	43	45	47
Оксихлорид алюминия + полиакриламид	5	14	19	23
Оксихлорид алюминия + «Экозоль 401»	30	46	52	55

По этим данным можно сделать заключение, носящее общий характер. Разработчики новых реагентов до их внедрения в практику хозяйственно-питьевого водоснабжения должны провести всесторонние исследования этих химических веществ (состав, физико-химические, токсикологические характеристики), получить разрешение санитарно-эпидемиологических служб на применение, сделать технико-экономическое обоснование и провести опытно-промышленные испытания предлагаемых реагентов. Только после

этого возможно рекомендовать их к применению в производственных условиях.

### 7.7. Обеспечение качества питьевой воды в свете повышения нормативных требований

Новые, более жесткие требования к качеству питьевой воды по бактериологическим показателям, ионам тяжелых металлов, хлорорганическим загрязнениям, остаточному алюминию создают основу для перестройки технологических процессов на более глубокую очистку воды от мутности, цветности и органических загрязнений. В настоящее время выполнение требований норматива по мутности на уровне 1,5 мг/л не может гарантировать обеспечение ПДК по содержанию остаточного алюминия и бактериальным загрязнениям, эффективность удаления которых зависит от остаточной мутности очищенной воды. При цветности питьевой воды 20 град нельзя достичь необходимой степени очистки воды от органических загрязнений, и в ряде случаев при этом не обеспечивается ПДК по перманганатной окисляемости. Кроме того, при недостаточно глубоком снижении показателя цветности воды и концентрации органических загрязнений возможно присутствие в очищенной воде комплексных и растворенных соединений алюминия.

На основании изложенного выше можно сделать вывод, что для того, чтобы обеспечить качество очищаемой воды по ряду показателей, для которых устанавливаются более низкие ПДК, следует существенно повысить эффективность очистки воды от мутности, цветности и перманганатной окисляемости до значений, которые могут быть ниже установленного норматива [216].

Настоящий раздел является обобщающим материалом результатов экспериментальных исследований, изложенных в предыдущих главах. Сделанные выводы согласуются с мнением других авторов, а также опытом производственной эксплуатации водоочистных сооружений.

Одним из основных вопросов при коагулировании воды с использованием алюминиевых коагулянтов является наличие в питьевой воде повышенных концентраций остаточного алюминия.

На рис. 7.29 показана зависимость концентрации остаточного алюминия от мутности очищенной воды. Как видно из представленных данных, с увеличением мутности воды, в том числе содержания в ней нерастворенных частиц гидрооксида алюминия, увеличивается концентрация остаточного алюминия. Значения мутности очищенной воды не превышают ПДК, однако большую часть года они изменяются в пределах от 1,1 до 1,5 мг/л, при этом концентрация алюминия составляет 0,3—0,5 мг/л, что выше предполагаемого ПДК (0,2 мг/л). Повысить эффективность удаления остаточной мутности воды можно путем усовершенствования технологических процессов осветления воды, таких как интенсификация режима перемешивания реагентов с водой, применение флокулянтов, модернизация отстойников, осветлителей со взвешенным осадком и фильтровальных сооружений.

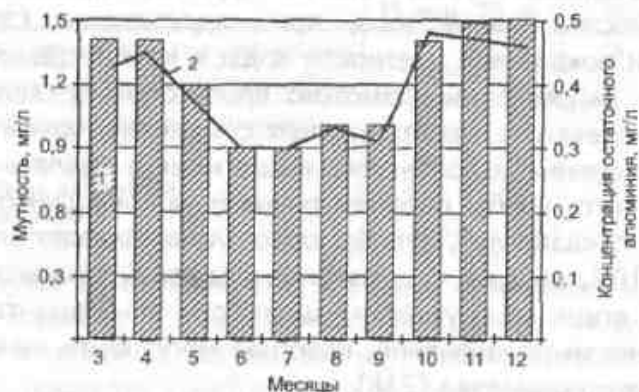


Рис. 7.29. Изменение мутности (1) и концентрации остаточного алюминия (2) в очищенной воде

В то же время следует учитывать, что часть остаточного алюминия может присутствовать в очищенной воде в виде комплексных органических соединений или в растворенном

состоянии, и концентрация его зависит от вида и дозы коагулянта, условий проведения процесса коагуляции, щелочности и pH исходной и очищенной воды.

Данная ситуация чаще всего наблюдается при очистке цветной воды. Остаточная цветность и повышенное содержание органических загрязнений способствуют образованию комплексных соединений алюминия, в результате во многих случаях, чем выше содержание органических соединений в очищенной воде, тем больше концентрация остаточного алюминия (рис. 7.30). Таким образом, очевидно, что для выполнения нормативных требований по остаточному алюминию необходимо осуществлять более глубокую очистку воды.

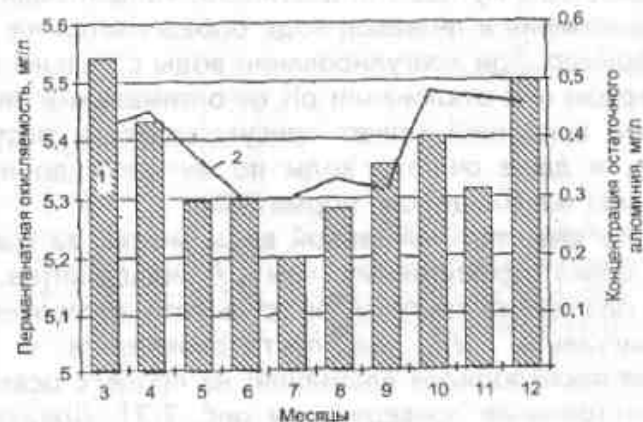


Рис. 7.30. Изменение перманганатной окисляемости (1) и концентрации остаточного алюминия (2) в очищенной воде

Повышение эффективности очистки воды возможно за счет оптимизации условий реагентной обработки. Прежде всего на процесс очистки воды влияет доза коагулянта. Это подтверждается результатами многочисленных исследований, проведенных на воде различных водоисточников.

В каждом конкретном случае оптимальной дозой будет та, при которой все контролируемые показатели достигают нормируемых значений. В зависимости от качества исход-



ной воды и условий ее обработки диктующие показатели, по которым выбирается необходимая доза коагулянта, для разных водоисточников могут быть разными, и они могут меняться при изменении качества воды в течение года.

В то же время не всегда можно получить требуемое качество очищаемой воды, только увеличивая дозу коагулянта. Следует также соблюдать необходимые условия проведения процесса коагулирования (рН, щелочность, смешение реагентов с водой и др.), особенно при использовании сульфата алюминия. Кроме того, на водопроводной станции следует обеспечить оптимальный технологический режим работы всех очистных сооружений.

При очистке воды некоторых водоисточников, даже при низких значениях мутности и цветности, концентрация остаточного алюминия в питьевой воде определяется на уровне ПДК. Например, при коагулировании воды с низким щелочным резервом или отклонении рН от оптимальных значений остаточный алюминий может присутствовать в растворенном виде, и даже очистка воды по мутности до нуля не обеспечивает необходимого норматива.

Повысить качество очищенной воды можно за счет применения более эффективных, чем СА, коагулянтов. Влияние вида различных коагулянтов (сульфата алюминия, финского коагулянта AVR, коагулянта-флокулянта — КФ и различных оксихлоридов алюминия) на процесс осветления воды в отстойниках приведено на рис. 7.31. Представленные данные показывают, что применение оксихлоридов алюминия обеспечивает более глубокое осветление воды по сравнению с коагулянтами на основе сульфата алюминия.

Аналогичная ситуация наблюдается и при очистке воды других водоисточников. Во многих случаях качество очищенной воды также лучше при использовании ОХА. На рис. 7.32 показано влияние дозы и вида коагулянта на концентрацию остаточного алюминия и глубину очистки воды от органических загрязнений. Удаление органических загрязнений эффективнее проходит с ОХА во всем интервале доз коагулянта. Так, ПДК по перманганатной окисле-

мости с оксихлоридом алюминия достигается при дозе 7 мг/л, а с сульфатом алюминия — при дозе 8,3 мг/л. Содержание остаточного алюминия в очищенной воде с ОХА также значительно меньше, чем с СА при небольших дозах реагента, с увеличением которых преимущества исчезают.

Рис. 7.31. Влияние вида коагулянта на эффективность осветления воды при отстаивании:  
1 — ОХА-в; 2 — ОХА-б; 3 — ОХА-а; 4 — СА; 5 — КФ; 6 — AVR

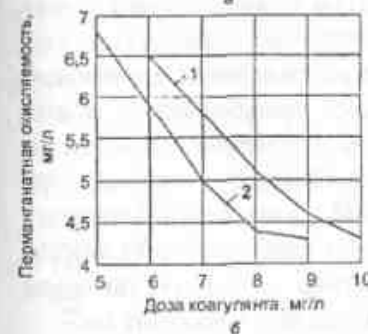
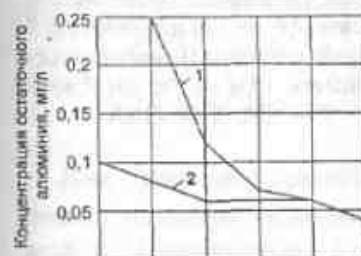
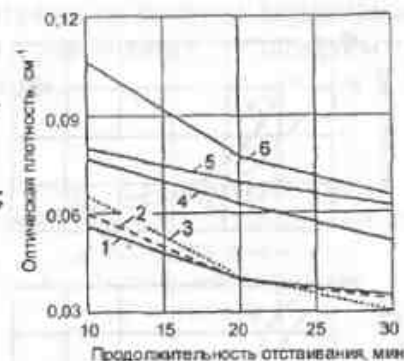


Рис. 7.32. Влияние вида коагулянта на качество очищенной воды (исходная вода: мутность 6,8 мг/л; цветность 42 град; перманганатная окисляемость 11,4 мг/л; рН 7,91):  
1 — СА; 2 — ОХА

В некоторых случаях при очистке воды сильнозагрязненных водоисточников (рис. 7.33), когда применяются повышенные дозы коагулянта, наблюдается уменьшение эф-

фективности ОХА, а по некоторым показателям качество воды лучше с СА (по перманганатной окисляемости и остаточному алюминию). Это, очевидно, связано с тем, что при больших дозах СА коагулирование воды осуществляется при оптимальных значениях рН, и очистка воды от органических загрязнений проходит глубже.

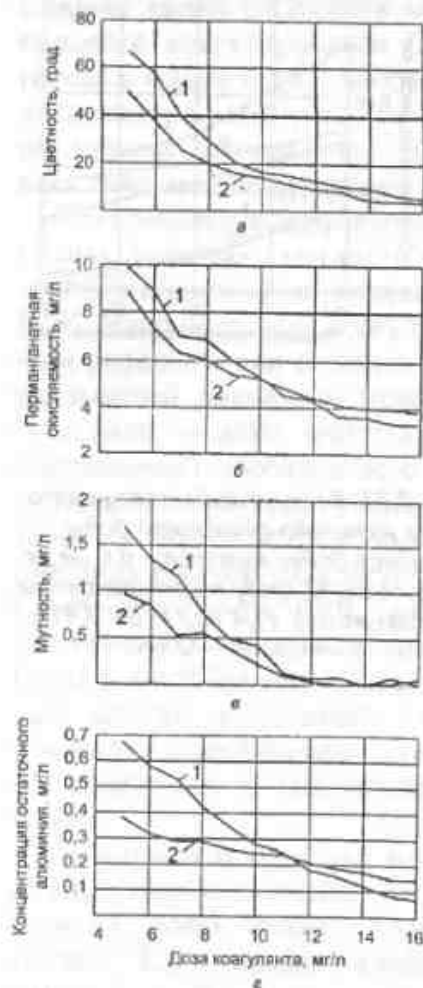


Рис. 7.33. Изменение основных показателей качества воды в зависимости от дозы коагулянта (исходная вода: мутность 4,6 мг/л; цветность 89 град; перманганатная окисляемость 13,4 мг/л; рН 7,68): 1 — СА; 2 — ОХА

Применение флокулянтов для улучшения процесса хлопьеобразования и осветления воды рассматривалось

неоднократно. Однако хотелось бы еще раз подчеркнуть, что использование того или иного вида флокулянта требует тщательной его проверки в конкретных условиях. Исследования показали, что во многих случаях применение традиционного флокулянта ПАА может способствовать увеличению концентрации остаточного алюминия в очищенной воде (рис. 7.34). Чаще эффективность очистки воды повышается при использовании катионных флокулянтов (Praestol, Superfloc, Fennopol и др.).

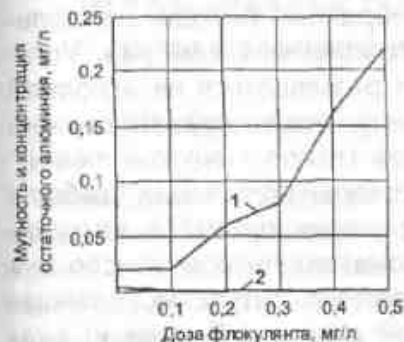


Рис. 7.34. Влияние дозы полиакриламида на концентрацию остаточного алюминия: 1 — остаточный алюминий; 2 — мутность

Как уже многократно отмечалось, большое значение имеют условия перемешивания реагентов с обрабатываемой водой. Применение быстрого механического перемешивания в смесителях и медленного в камерах хлопьеобразования позволяет, во-первых, регулировать процесс коагулирования в зависимости от температуры и качества исходной воды, и, во-вторых, существенно повышает эффективность очистки примерно на 20—50 % и 50—80 %, соответственно, за счет использования мешалок в смесителе и камере хлопьеобразования. Механическое смешение реагентов с водой обеспечивает также повышение качества очищенной воды по мутности, цветности, остаточному алюминию.

При наличии в источниках водоснабжения антропогенных органических загрязнений, помимо традиционных методов очистки, необходимо применять дополнительные методы глубокой очистки воды, в частности, озонирование и сорб-

цию. При использовании озона во всех случаях необходимо рассматривать влияние озонирования на протекание последующего процесса коагуляции, так как наряду с повышением эффективности реагентной обработки имеют место и случаи, когда озон оказывает отрицательное влияние на очистку воды коагулированием. Это может потребовать изменения точки введения озона с первичного озонирования на вторичное с введением озона после отстойников или фильтров.

В последние годы в практике очистки воды все более широко начинают применять мембранные методы с использованием нано- или ультрафильтрационных мембран. Установки мембранной очистки могут размещаться на исходной воде (с коагулированием или без), после первой ступени осветления воды и в других точках технологической линии.

Таким образом, вопросы совершенствования работы очистных сооружений, интенсификации процесса коагуляции и очистки воды следует рассматривать комплексно и в каждом случае учитывать конкретную ситуацию, сложившуюся на данной водопроводной станции. В первую очередь необходимо правильно проводить режим обеззараживания воды хлором, осуществлять тщательный подбор коагулянта и флокулянта с определением требуемых доз, определять эффективность механического смешения реагентов с водой, устанавливать влияние озонирования (при его использовании) на протекание коагуляционных процессов. В некоторых случаях для обоснования и выбора решений по технологической схеме очистки воды требуется проведение технологических изысканий и экспериментальных исследований, что позволит исключить возможность принятия ошибочных решений.

## Глава 8. Производственный опыт использования современных реагентов на водопроводных станциях России

### 8.1. Применение оксихлорида алюминия

Станции очистки воды г. Перми [233, 234] расположены на р. Каме (Большекамские и Кировские очистные сооружения) и в заливе Камского водохранилища ниже слияния рек Чусовой и Сылвы. Вода р. Камы характеризуется содержанием в основном хлоридов и карбонатов и отличается сравнительно низкой жесткостью — около 3,5 мг-экв/л (в течение года она колеблется в пределах от 0,4 в весенний паводок и до 6—7 — в зимний период) и средним содержанием — около 300 мг/л. Цветность камской воды в течение всего года отмечается на уровне 30—40 град и более. Воды Чусовско-Сылвенского залива имеют сульфатно-карбонатную фракцию и характеризуются высоким значением минерализации (до 950 мг/л и более), причем примерно половина этой величины приходится на сульфаты. Очень высока и жесткость этой воды, особенно в зимнее время.

На станциях обработка воды осуществляется сульфатом алюминия. Технологические приемы очистки воды СА отработаны, а снижение эксплуатационных затрат и повышение качества очищенной воды возможны только при переходе на новые более эффективные реагенты. Важность использования новых реагентов обусловлена также тем, что при понижении температуры ниже 5—7 °С гидролиз СА замедляется, вследствие чего часто наблюдается ухудшение



очистки и отмечается повышенное содержание алюминия на выходе с очистных сооружений.

Этот недостаток отсутствует у коагулянта гидроксохлорида алюминия (ГХА), выпускаемого на ОАО «Сорбент» (г. Пермь). ГХА характеризуется высокой эффективностью именно в холодное время года. Аналогичными свойствами обладает и гидроксохлоридсульфат алюминия (ГХСА), торговое название — «Касофт», производство которого освоено на пермском ОАО «Галоген».

Оценка эффективности работы данных реагентов при очистке воды источников водоснабжения г. Перми проведена в течение 1996—1999 гг. В 1996 г. были выполнены лабораторные испытания, результаты которых на воде р. Камы при температуре 1,5 °С представлены в табл. 8.1.

Как видно из приведенных данных, при работе с гидроксохлоридом и гидроксохлоридсульфатом алюминия в среднем хлопьеобразование визуально начинает фиксироваться через 10—15 мин. Для сульфата алюминия это время — 25—40 мин. Из таблицы также видно, что остаточное содержание алюминия в лабораторных опытах находится значительно ниже допустимых стандартом пределов. Снижение цветности — сравнительно хорошее при использовании всех коагулянтов. Остаточное содержание железа — менее 0,05 мг/л — также свидетельствует о хорошей очистке воды.

В течение 1997 г. (лето) и 1998—1999 гг. (весна-зима) были проведены опытно-промышленные испытания ГХА и ГХСА на станциях водоподготовки г. Перми, расположенных на р. Каме производительностью 30 и 120 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Результаты этих испытаний полностью подтвердили лабораторные данные и дали основание для промышленного применения в зимний период данных реагентов. В процессе испытаний было дополнительно установлено, что при работе в летний период, когда вода в источнике — теплая, образующиеся хлопья при применении ГХА имеют более низкие скорости осаждения (ввиду их рыхлости), чем при использовании сульфата алюминия и «Касофта». Следствием этого является значительный вынос взвешенных веществ на фильтры.

Таблица 8.1

Результаты лабораторных исследований на камской воде

Коагулянт	Доза Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , мг/л	Речная вода		После очистки		Время хлопьеобразования, мин	Остаточный алюминий, мг/л	Примечание
		Мутность, мг/л	Цветность, град	Мутность, мг/л	Цветность, град			
Смесь ГХА и СА	10	1,31	38	0,2	10	15—35	0,1	ПО «Синтез», г. Пермь
Смесь ГХА и СА	12	1,31	38	0,2	10	15—35	0,2	ПО «Синтез», г. Пермь
ГХА	12	1,31	38	0,49	10	13—25	0,19	г. Екатеринбург
ГХА	10	1,18	38	0,08	7	10—15	Отс.	г. Екатеринбург
ГХА	10	2,32	18	0,01	5	10—15	0,025	ОАО «Сорбент», г. Пермь
ГХА	10	0,46	30	0,001	5	6—12	0,08	ОАО «Сорбент», г. Пермь
ГХСА	10	1,23	41	0,03	5	5—10	0,02	ОАО «Галоген», г. Пермь
ГХСА	8	1,43	41	0,02	6	6—15	0,02	ОАО «Галоген», г. Пермь

К числу недостатков использования ГХА следует отнести сложность оперативного контроля дозировки коагулянта. Принятая практика контроля дозы по понижению щелочности неприменима из-за малой зависимости данного показателя от дозы. Понижение щелочности при рабочих дозах ГХА составляет 0,1—0,2 мг-экв/л против 0,5—0,8 мг-экв/л у СА и 0,5—0,7 — у ГХСА. При переходе с СА на ГХА необходима также промывка емкостного оборудования. Одновременно при работе с ГХА выявилось некоторое повышение содержания железа в очищенной воде, вызванное, очевидно, растворением продуктов коррозии трубопроводов и оборудования. Однако в результате промышленного использования оказалось значительным влияние на эффективность очистки исходной формулы гидроксихлоридсульфата алюминия. Основным фактором, определяющим характер и скорость гидролиза, является наличие в молекуле определенного количества гидроксила.

Характерной особенностью применения сульфата и гидроксихлорида алюминия является то, что в результате обработки исходной воды наряду с улучшением качества воды происходит удаление из нее фтора, содержание которого в поверхностных источниках и так очень мало (более 90 % всех поверхностных водоисточников содержат фтора до 0,2 мг-экв/л). Известно, что с дефицитом фтора в питьевой воде связано заболевание кариесом и др. Для устранения этого недостатка в АО «Галоген» совместно с НПО «Наука» (Санкт-Петербург) был разработан коагулянт на основе ГХСА, в состав которого введен фтор.

Качество речной воды в периоды проведения испытаний характеризовалось такими показателями: мутность — 1—1,23 мг/л; цветность — 38—48 град; рН — 7,4—7,56; щелочность — 1,7—1,78 мг-экв/л; железо — 0,24—0,26 мг/л.

Результаты испытаний новых реагентов приведены в табл. 8.2.

Таблица 8.2

Результаты испытаний ОХА на Пермском водопроводе

Маркировка коагулянта*	Доза коагулянта (1%-ный раствор по $Al_2O_3$ )	Доза флокулянта (ПАА), мг/л	Мутность, мг/л	Цветность, град	Щелочность, мг/л	Понижение щелочности	рН, ед.	Железо, мг/л	Алюминий, мг/л	Фтор, мг/л
На основе ГХСА										
№ 5/17 (с F)	13	2	Отсутст.	7	1,04	0,74	6,57	Отсутст.	Отсутст.	0,1
№ 5/21 (с F)	13	2	0,06	7	1,12	0,66	6,61	0,02	0,08	0,16
№ 5/2 (без F)	13	2	Отсутст.	7	1,18	0,52	6,8	Отсутст.	0,02	0,05
№ 5/16 (с F)	10	2	0,01	5	1,04	0,66	6,65	"-	0,09	0,09
№ 5/17 (с F)	10	2	0,01	5	1,10	0,60	6,7	"-	0,09	0,05
№ 5/21 (с F)	10	2	Отсутст.	5	1,12	0,58	"-	"-	0,07	0,19
Гидроксихлорид сульфат алюминия	10	2	0,01	5	1,08	0,52	6,68	"-	0,24	0,18
Сульфат алюминия	10	2	Отсутст.	5	1,04	0,54	6,68	"-	0,08	0,17

\* Все коагулянты дают хорошее хлопьеобразование.

Таким образом, проведенные работы по подбору новых эффективных реагентов для очистки воды показали высокую эффективность ГХА и ГХСА, особенно в зимнее время с низкой температурой. При этом приготовление и технология применения испытанных реагентов не требуют замены существующего оборудования.

Кроме того, при испытании коагулянтов с фтором и без него отмечено, что введение фтора практически не сказывается на степени и скорости очистки воды, однако при этом содержание фтора в питьевой воде повышается в 2—4 раза.

За последние годы вода **Нижнекамского водохранилища**, являющегося **основным источником водоснабжения городов Набережных Челнов, Нижнекамска, Елабуги и Менделеевска (Республика Татарстан)** характеризуется повышенными концентрациями алюминия (до 1—1,5 мг/л) и мутности [235]. Поэтому при осветлении и обесцвечивании воды методом коагулирования необходимо было использовать такие реагенты, которые обеспечат содержание остаточного алюминия в питьевой воде в пределах норм СанПиН.

ГП «Союзводоканалпроект» для г. Нижнекамска — крупнейшего в мире центра нефтехимической промышленности — разработало рабочий проект водоочистной станции производительностью 140 тыс. м<sup>3</sup>/сут с водозабором на р. Каме.

Строительство новой станции очистки воды Нижнекамска реально будет осуществляться в течение нескольких лет, однако решать вопросы улучшения качества питьевой воды для двух крупных городов — Набережных Челнов и Нижнекамска необходимо уже сейчас. В связи с этим в феврале 2002 г. были проведены опытно-промышленные испытания нового реагента — полиоксихлорида алюминия «АКВА-АУРАТ™30», определены оптимальные дозы реагента применительно к существующему качеству исходной воды и условиям работы отстойников.

При обработке речной воды коагулянт «АКВА-АУРАТ™30» в количестве 1—2,5 мг/л по Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> фильтрованная вода по исследуемым показателям практически соответствовала требованиям СанПиН 2.1.4.1074—01. Снижение значений перманганатной окисляемости составляло до 35 %, цветности — до 60 %, железа — до 90 %. Содержание остаточного алюминия и мутность не превышали ПДК. Щелочность и значения pH исходной воды практически остаются неизменными, а содержание хлорид-иона возрастает незначительно — 2—6%. После получения положительных результатов опытно-промышленных испытаний и небольшой модернизации реагентного оборудования водоочистная станция (цех № 3405) ОАО «Нижнекамскнефтехим» полностью перешла на использование «АКВА-АУРАТ™30» при очистке камской воды.

На основании имеющегося опыта были подготовлены производственные испытания на водоочистной станции г. Набережных Челнов. До этого станция применяла в качестве коагулянта сульфат алюминия, а в качестве флокулянта — свежие растворы активированной кремниевой кислоты, приготовленные из водорастворимого силикатного стекла и сульфата алюминия. При испытаниях новых реагентов «АКВА-АУРАТ™30» и «Праестол» марки 2530 было решено перейти на их применение не одновременно на всех шести секциях блоков отстойников, а постепенно, начиная с секции одного смесителя. По мере достижения необходимого качества очищаемой воды постепенно переходили на обработку воды новыми реагентами в остальных секциях.

Поэтапная замена в секциях сульфата алюминия полиоксихлоридом алюминия «АКВА-АУРАТ™30» дала возможность:

- с минимальными затратами реагентов и времени выходить на оптимальные режимы работы отстойников и фильтров;
- проводить сравнение эффективности применяемых реагентов на всех основных стадиях технологического про-



цесса водоподготовки в основных блоках очистных сооружений: в каналах после прохождения воды через отстойники, непосредственно перед фильтрами, после прохождения осветленной воды через фильтры;

- вносить соответствующие коррективы в программу производственных испытаний в зависимости от полученных результатов.

В период производственных испытаний качество камской воды характеризовалось следующими показателями: температура 0,2 °С, мутность 1,2—1,65 мг/л, цветность 18—21 град, перманганатная окисляемость 4,8—5 мг/л. По результатам производственных испытаний установлено, что при использовании полиоксихлорида алюминия «АКВА-АУРАТ™30» содержание остаточного алюминия в воде после отстойников в 2 раза, а после фильтров в 4 раза ниже, чем при использовании сульфата алюминия. Результаты исследований представлены в табл. 8.3.

При применении «АКВА-АУРАТ™30» не было отмечено превышения ПДК по остаточному алюминию (частота анализов — через каждые 4 ч в течение суток), а при применении сульфата алюминия превышение ПДК (0,5 мг/л) зафиксировано в 30 % анализов. Кроме того, использование «АКВА-АУРАТ™30» позволило достичь показателей по остаточному алюминию, рекомендованных ВОЗ (0,2 мг/л). При очистке камской воды дозой коагулянта 1—3 мг/л по  $Al_2O_3$  при самых низких температурах года появилась возможность значительно улучшить процессы коагуляции и осветления воды в условиях свободного осаждения в отстойниках и на фильтрах.

Проведенные промышленные испытания по применению «АКВА-АУРАТ™30» совместно с алюмосиликатным флокулянтам показали, что «АКВА-АУРАТ™30» не только хорошо сочетается с анионоактивными органическими флокулянтами «Праестол», но и улучшает процессы седиментации в отстойниках и задерживает взвешенные вещества на фильтрах в присутствии активированной сульфатом алюминия кремниевой кислоты.

Таблица 8.3

Результаты испытаний «АКВА-АУРАТ™30» в г. Набережные Челны

2003	Место подачи и наименование реагентов	Доза реагента, мг/л	Доза флокулянта «Праестол», мг/л	Мутность, мг/л		Цветность, град		Остаточный алюминий, мг/л	
				Отстойник	Фильтр	Отстойник	Фильтр	Отстойник	Фильтр
7.01	Все секции — СА	5,37	0,08	6,95	0,38	18	15	16,65	0,43
8.01	Смеситель № 1, секция 1 — АА	2	0,08	4,5	0,24	17	15	1,67	0,23
9.01	Остальные секции — СА	5,37	0,08	8,7	0,34	16	13	1,28	0,71
	Смеситель № 1—2, секция 1 — АА	2	0,08	3,43	0,19	17	16	0,9	0,19
	Остальные секции — СА	5,37	0,08	8,4	0,4	14	12	1,02	0,62
10.01	Секции 1—2 — АА	1,5	0,08	3,9	0,15	17	14	0,78	0,185
	Секции 3—6 — СА	5,37	0,08	7,7	0,67	17	12	1,52	0,61
11.01	Секции 1—3 — АА	2	0,08	3,56	0,27	18	15	0,78	0,215
	Секции 4—6 — СА	5,37	0,08	9,6	0,56	14	14	1,65	0,63
12.01	Секции 1—4 — АА	2	0,08	3,88	0,18	19	14	1,21	0,2
	Секции 5—6 — СА	5,37	0,08	7,4	0,45	19	16	1,32	0,46
13.01	Секции 1—5 — АА	1,5	0,08	3,47	0,16	20	16	0,98	0,19
	Секции 6 — СА	—	—	—	—	—	—	—	—
14.01	Все секции — АА	1,5	0,1	3,87	0,25	21	0,25	0,84	0,15
15.01	Смеситель № 1 — АА	3	0,08	3,1	0,14	15	13	0,87	0,16
	Остальные секции — АА	1,5	0,08	4,1	0,18	19	17	0,84	0,12
16.01	Секция 1 — АА	1,5	0,1	3,4	0,11	17	15	0,92	0,075
	Секции 2—6 — АА	1,5	0,06	3,4	0,14	21	17	0,92	0,17
17.01	Секции 1—4 — АА	1	0,06	3,12	0,11	17	15	0,87	0,005
	Секции 5 — АА	1	0,06	2,8	0,13	19	17	0,66	0,009

Примечание: АА — «АКВА-АУРАТ™30»

Замена сульфата алюминия полиоксихлоридом алюминия «АКВА-АУРАТ™30» при подготовке питьевой воды позволила существенно снизить затраты на реагенты, особенно в холодный период года, и получать в Набережных Челнах и Нижнекамске питьевую воду, соответствующую действующим нормативам.

При этом необходимо отметить, что в Нижнекамске используют «АКВА-АУРАТ™30» круглогодично, а в Набережных Челнах чередуют использование реагентов: в теплое время года — сульфат алюминия, в холодное — полиоксихлорид алюминия «АКВА-АУРАТ™30».

Были проведены также опытно-промышленные испытания на двух водоочистных станциях ОАО «Татнефть»: Тумукском водозаборе р. Ик и Кувакском водозаборе р. Шишмы для получения технической воды в целях поддержания внутривапорного давления при нефтедобыче.

Для улучшения условий приготовления рабочих растворов «АКВА-АУРАТ™30» должны быть выполнены следующие требования.

А. Железобетонные резервуары и система подачи раствора СА при переходе на реагент «АКВА-АУРАТ™30» должны быть тщательно промыты фильтрованной водой (2—3 раза) для удаления остатков глинозема с днища резервуаров. Некачественная подготовка резервуаров и трубопроводов подачи рабочих растворов недопустима, так как оставшийся СА служит центром кристаллизации оксихлорида алюминия. Это влечет за собой потерю активных свойств ПОХА, его перерасход и закупку трубопроводов, задвижек и дозаторов оксидом алюминия и выход системы подачи реагента из строя.

Б. Правильно приготовленный рабочий раствор «АКВА-АУРАТ™30» должен быть однородным и при отстаивании прозрачным.

В. Растворы коагулянтов и флокулянтов следует готовить и разбавлять только фильтрованной водой, применение неосветленной речной воды приводит к потере коагулирующих свойств реагентов до 40 % и более в периоды паводков.

Г. Растворение ПОХА — экзотермический процесс, что является положительным свойством реагента для приготовления рабочих растворов в холодное время. Приготовление растворов сульфата алюминия из-за эндотермичности процесса требует 5—7 ч (в холодное время остаются нерастворившимися крупные куски глинозема).

Д. Растворы должны быть перемешаны воздухом при барботаже в течение 1 ч.

Применение коагулянта «АКВА-АУРАТ™30» позволило улучшить эксплуатацию растворного узла по приготовлению коагулянта: снизить в 4 раза и более энергозатраты на приготовление концентрированных и рабочих растворов коагулянта и подачу их в систему очистки воды.

Экономические показатели от замены СА коагулянтом «АКВА-АУРАТ™30» улучшаются благодаря снижению эксплуатационных затрат. Это прежде всего выражается:

- в уменьшении транспортных расходов в результате снижения доз коагулянта и объема осадков в отстойниках и фильтрах (более чем трехкратного снижения содержания гидроксида алюминия в продукте);
- в сокращении объемов погрузочно-разгрузочных работ и количества отходов из-за более низкого содержания нерастворимых примесей;
- в продлении срока службы электродвигателей, насосов, компрессоров за счет сокращения времени их работы.

Кроме того, при применении коагулянта «АКВА-АУРАТ™30» интенсифицируются и улучшаются процессы осадкообразования взвешенных веществ в отстойниках и, как следствие, снижается нагрузка по взвесям на фильтры и повышается продолжительность фильтроцикла, сокращаются число промывок и расход воды на промывку фильтров.

Общая щелочность и рН очищаемой воды при применении ПОХА взамен СА изменяются значительно меньше. В результате продлевается срок службы внешних водоводов и внутренних санитарно-технических приборов и сети.

Данные многолетних наблюдений за состоянием воды в акватории Волжского водозабора г. Казани (ОАО "Казаньоргсинтез") [236] показывают, что периоды наибольшего загрязнения по мутности, цветности (табл. 8.4), перманганатной окисляемости (9—13 мгО<sub>2</sub>/л), ХПК (до 30 мг/л) фиксируются в апреле—июле. В эти периоды несмотря на использование высоких доз реагентов (хлора, коагулянта, флокулянта) качество питьевой воды часто не отвечает требованиям СанПиН 2.1.4.1074—01.

Более сложная ситуация отмечалась при применении сульфата алюминия в холодное время года. Например, в декабре 1998 г. — марте 1999 г. при дозах 11,9—17 мг/л по Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в 37 % анализов зафиксировано превышение норматива по цветности (21—24 град), в 22 % анализов — превышение по остаточному алюминию (до 0,64 мг/л), перманганатная окисляемость — 5—6,4 мгО<sub>2</sub>/л.

С 2001 г. на Волжском водозаборе стал применяться полиоксихлорид алюминия "АКВА-АУРАТ™30". Вначале были проведены производственные испытания по оценке эффективности его применения в сравнении с сульфатом алюминия. Для осуществления таких испытаний на станции имелись идеальные условия: технологическая схема состоит из двух симметрично построенных секций (условно левой и правой) с одинаковым составом и конструктивными параметрами очистных сооружений — габариты, гидродинамика потока и т. п.

Речная вода с расходом 50 тыс. м<sup>3</sup>/сут подается в обе секции; в последний, четвертый, коридор контактной камеры вводятся растворы коагулянта и флокулянта; для улучшения смешения вода барботируется воздухом. Затем она поступает в камеру хлопьеобразования, а далее — в десять горизонтальных отстойников, время пребывания воды в которых 2 ч. Осветленная вода направляется по сборным каналам на скорые фильтры (14 шт.) площадью 35 м<sup>2</sup> и высотой загрузки 1,9 м, диаметр фракции карьерного песка 0,8—1,2 мм.

Сравнение эффективности различных коагулянтов на Волжском водозаборе (г. Казань)

Показатели	2001 г.				2002 г.				
	10—12.04	13—16.04	17—25.04	26.04—06.05	01—30.04	01—31.05	01—30.06	01—31.07	
Температура, °С	0	0	0—6	7—12	13—14	1—8	8—12	12—20	20—24
Мутность, мг/л	13,6—17	32—54	20—31	10—19,5	5,5—11	3,3—13	4—12,5	2,8—4,1	3,2—4,2
Цветность, град	30—31	27—30	27—40	41—54	54—62	23—28	38—50	39—50	24—39
Исходная вода									
Левая секция очистных сооружений									
Доза коагулянта, мг/л по Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,3*	8,5**	7,25**	5,5**	13,1*	7,9*	13,3*	4,4**	2,2**
Доза флокулянта, мг/л	0,08—0,12	0,12—0,15	0,11—0,15	0,04—0,08	0,065	0,024—0,04	0,033—0,04	0,01—0,015	0,01
Мутность, мг/л: в сборных каналах на выходе из фильтров	8,5	6,65	5,7	4,9	9,2	7,8	9,8	3,82	3,38
Остаточный алюминий, мг/л: в сборных каналах на выходе из фильтров	1,9	1,5	1,55	1,24	1,92	1,93	2,05	0,84	0,89
	1,17	1,04	0,61	0,33	0,95	0,73	0,94	0,33	0,1
	0,23	0,25	0,2	0,12	0,76	0,28	0,36	0,18	0,07



Показатели	2001 г.				2002 г.				
	10— 12.04	13— 16.04	17— 25.04	26.04— 06.05	07— 11.05	01— 30.04	01— 31.05	01— 30.06	01— 31.07
Правая секция очистных сооружений									
Доза коагулянта, мг/л по $Al_2O_3$	9,3*	20,5— 23*	7,25**	6,5**	13,1*	7,9*	13,3*	4,4**	2,2**
Доза флокулянта, мг/л	0,08— 0,12	0,12— 0,15	0,11— 0,15	0,04— 0,08	0,065	0,024— 0,04	0,033— 0,04	0,01— 0,015	0,01
Мутность, мг/л: в сборных каналах на выходе из фильтров	8,3 1,84	10,7 2,15	5,45 1,38	4,65 1,16	9,4 2,18	8,2 1,77	9,4 1,87	3,52 0,91	2,95 0,81
Остаточный алюминий, мг/л: в сборных каналах на выходе из фильтров	1,05 0,15	1,38 0,33	0,67 0,23	0,39 0,11	0,83 0,66	0,68 0,25	0,83 0,32	0,36 0,2	0,09 0,05
Питьевая вода									
Мутность, мг/л	1,37	1,46	1,28	0,94	1,37	1,16	1,27	0,67	0,72
Цветность, град	16—17	7—10	5—8	3,5—5	19— 21,5	14—19	18—20	14—18	12—16
Остаточный алюминий, мг/л	0,19	0,18	0,18	0,08	0,3— 0,63	0,15— 0,38	0,24— 0,39	0,07— 0,2	0,05

\* Сульфат алюминия.

\*\* Полиоксихлорид алюминия "АКВА-АУРАТ™30".

При испытаниях в левую секцию вводились растворы "АКВА-АУРАТ™30", в правую — сульфат алюминия. В табл. 8.4 представлены результаты испытаний различных типов коагулянтов.

Преимущества "АКВА-АУРАТ™30" перед сульфатом алюминия с учетом механизмов коагуляции и результатов лабораторных исследований объясняются следующим [236]:

- основная природа ПОХА (изначальная степень гидролиза ~43 %) предопределяет более быстрые и полные гидrolитические превращения соли с формированием в ядре золь полимерных фрагментов поликатионов алюминия. Невидимая стадия собственно коагуляции: потеря устойчивости, агрегация золь в коагулянт (условно первого порядка) может затягиваться для сульфата алюминия в холодной воде до 15 мин, а для "АКВА-АУРАТ™30" — не более 6 мин;

- в дальнейшем в связи с наличием положительного потенциала на межфазной поверхности происходит захват частиц мутности, цветности (загрязнения имеют более отрицательный потенциал), что приводит к образованию хлопьев с высокой сорбционной способностью.

Изучение кинетики седиментации модельных систем, природных и промывных вод показывает, что обработка ПОХА в сочетании с флокулянт "Праестол" марки 2500 и 2515 повышает величину гидравлической крупности хлопьев на 30—70 % и флокулирующий эффект — более чем на 300 %. Адсорбция первичных и вторичных коагулянтов на сегментах макромолекулярного клубка полимера приводит к формированию крупных хлопьев и повышает скорость их осаждения.

После определения технологических (меньший расход коагулянта по  $Al_2O_3$  и товарному продукту) и санитарно-эпидемиологических (меньшие значения содержания остаточного алюминия, мутности и цветности) преимуществ ПОХА перед сульфатом алюминия было проведено сравнение их экономических показателей.

Методика расчета экономического эффекта от применения различных коагулянтов [237], разработанная Р. А. Сафиним, С. В. Базиным, С. В. Гетманцевым и Ф. И. Чуриковым, учитывает расчет эксплуатационных затрат в процессах коагуляционной очистки природных и сточных вод и позволяет сравнить технико-экономические показатели, с помощью которых оцениваются наиболее благоприятные периоды в работе станции с применением коагулянтов — ПОХА ("АКВА-АУРАТ™30") и сульфата алюминия, а также определяются предпочтительные поставщики однотипных реагентов.

При рациональном использовании полиоксихлорида алюминия можно не только повысить качество очищаемой воды, но и уменьшить себестоимость ее очистки.

В течение последних 5—7 лет на ряде водопроводных станций производительностью от 15 до 150 тыс. м<sup>3</sup>/сут применяется ПОХА производства ОАО «АУРАТ» (АКВА-АУРАТ™30) и фирмы «Кемира» (РАХ-ХЛ-60 и РАХ-16), выпускаемых в виде порошков в городах Северо-Западного федерального округа [238—241].

Данные о качестве используемых поверхностных источников на этих объектах представлены в табл. 8.5.

Таблица 8.5

Качество воды поверхностных водосточников Северо-Западного региона

Наименование показателя	Поверхностный водосточник		
	Р. Тверца	Р. Преголь	Водохранилище
рН	7,3—7,8	7,2—7,8	7,3—7,6
Мутность, мг/л	0,8—10	3—12	1,0—22
Цветность, град	10—120	30—150	30—100
Сульфаты, мг/л	7—18	30—100	10—30
Хлориды, мг/л	6—15	15—50	8—12
Железо, мг/л	0,4—0,9	0,3—2,0	0,3—1,0
Окисляемость, мгО <sub>2</sub> /л	12—20	10—20	5—28
ОМЧ, число образующихся колоний бактерий в 1 мл	300—9000	300—2000	60—350

Коагуляционная очистка воды производится на сооружениях двухступенной схемы с отстаиванием и фильтрованием. В качестве коагулянта используется традиционный сульфат алюминия. По ряду показателей очищенная вода не соответствует нормативным требованиям.

Исследования по интенсификации процесса очистки в опытных и промышленных условиях проводились с использованием ПОХА различной основности: низко-, средне- и высокоосновные продукты. Наиболее существенно эффективность применения ПОХА проявляется в зимний и паводковый периоды, когда температура обрабатываемой воды ниже 2—5 °С. В этих условиях дозы по Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> низкоосновных полиалюминийхлоридов составили 10 мг/л, среднеосновных — 7 мг/л, высокоосновных — 5 мг/л, а оптимальная доза сульфата алюминия достигала 25 мг/л. При использовании сульфата алюминия в холодный период времени наблюдалось увеличение мутности воды, образующиеся хлопья плохо отстаивались в отстойниках и 60—70 % хлопьев выносились на песчаные фильтры.

Применение ПОХА с последующим хлорированием улучшало процесс коагуляции.

В зимний период большое значение имеет уменьшение концентрации остаточного алюминия в очищенной воде, которая при использовании сульфата алюминия обычно отмечалась на уровне 0,5 мг/л, а в некоторые периоды была выше нормативных требований. При использовании полиоксихлоридов алюминия остаточное содержание алюминия не превышало 0,2 мг/л.

В условиях паводка, который характеризуется цветностью до 150 град, окисляемостью до 28 мг/л, присутствием антропогенных веществ, температурой воды 5—10 °С, установлено, что оптимальные дозы низко-, средне- и высокоосновного полиалюминийхлорида соответственно составили 14, 10 и 7 мг/л.

При увеличении температуры воды выше 10 °С дозы реагентов снижались на 30 %.

Отмечалось также, что объем образующегося осадка при применении ПОХА сокращается в 2—3 раза по сравнению с использованием сульфата алюминия.

В условиях повышенного содержания органических веществ в воде данных водоисточников и использования сульфата алюминия наблюдались негативные явления, которые заключались в активном пенообразовании при перемешивании и коагулировании воды. Это приводило к снижению эффекта очистки воды, в том числе к увеличению содержания остаточного алюминия в очищенной воде. При использовании полиалюминийхлорида не происходило образования пены. В первом случае удаление органических веществ не превышало 30 %, а во втором случае они удалялись на 60—70 %. Следует отметить, что технико-экономические показатели зависели от вида применяемого ПОХА.

Источником водоснабжения **Санкт-Петербурга** является р. Нева. Характерными особенностями невской воды являются средняя цветность — 32—34 град; малая мутность — 0,9—1,8 мг/л; низкий щелочной резерв — 0,52—0,54 мг-экв/л; величина pH — 7,1—7,7; окисляемость — 9—11 мгO<sub>2</sub>/л; низкое содержание минеральных солей (в частности, хлоридов и сульфатов).

Обработка воды на водопроводных станциях осуществляется в основном по одноступенной схеме на контактных осветлителях, меньшая часть — по двухступенной схеме с применением отстойников и фильтров.

Состав и свойства невской воды диктуют определенные условия ее реагентной обработки [181, 242].

Расчетные дозы сульфата алюминия при обработке невской воды составляют около 6—14 мг/л (по Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). При таких дозах коагулянта практически полностью используется невысокий щелочной резерв исходной воды и соответственно снижается pH до 5,5—6,6. В этих условиях достигается положительный эффект — более полное обесцвечивание воды. Однако из-за малого содержания солей и взвешенных веществ в невской воде образуется значитель-

ное количество мелких хлопьев, что уменьшает эффективность их задержания при отстаивании.

При низком показателе pH в процессе гидролиза сульфата алюминия уменьшается содержание гидроксида алюминия Al(OH)<sub>3</sub>, который обладает высокой адсорбционной и адгезионной способностью. Одновременно возрастает содержание соединений Al<sub>2</sub>(OH)<sub>4</sub>SO<sub>4</sub> и Al(OH)SO<sub>4</sub>, которые менее активны и плохо осаждаются. Это приводит к их выносу и увеличению содержания остаточного алюминия в очищенной воде.

В связи с этим для корректировки pH требуется подщелачивание воды после ее обработки сульфатом алюминия (введением соды после отстойников перед скорыми фильтрами или перед резервуарами чистой воды в схеме с контактными осветлителями).

Ранее на водоочистных сооружениях Санкт-Петербурга при обработке невской воды применялся режим периодической коагуляции. Однако в связи с повышением требований к качеству водопроводной воды при введении СанПиН, в частности по показателю окисляемости, и величине остаточного алюминия такой метод обработки воды оказался непригодным, о чем свидетельствует также опыт и других водоканалов. Для улучшения процессов коагуляции были выполнены испытания по обработке невской воды различными видами коагулянтов и флокулянтов [181].

Было установлено, что наиболее эффективными являются оксихлориды алюминия (ОХА) низкой основности, при применении которых pH очищенной воды оказывался выше, чем при использовании сульфата алюминия (табл. 8.6).

Использование ОХА вместо сульфата алюминия позволило снизить содержание остаточного алюминия, частично сберечь щелочной резерв воды и уменьшить дозы реагентов. Преимущества ОХА, что особенно важно, сохраняются в зимний период при низкой температуре обрабатываемой воды. Вместе с тем при применении окси- и полиалюминийхлоридов наблюдались более высокая остаточная окисляемость, а также больший темп прироста потерь напора на контактных осветлителях.



Таблица 8.6

Качество очищенной воды при применении  
алюминийсодержащих коагулянтов

Показатели качества воды	Коагулянт						ОХА «Пигмент»
	СА	УРАХ-30	УРАХ-31	РАХ-10	РАХ-18	РАХ-ХЛ-1	
Цветность, град	5	5	7	9,1	6,2	6,3	6,6
Мутность, мг/л	<0,05	0,06	0,19	0,25	0,06	0,06	0,06
Щелочность, мг-экв/л	0,22	0,24	0,26	0,32	0,34	0,4	0,33
pH	6,48	6,67	6,59	6,82	6,95	7,11	6,84
Окисляемость, мгО <sub>2</sub> /л	2,6	3,5	3,5	4,1	3,9	3,5	4,1
Остаточный алюминий, мг/л	<0,5	<0,5	0,1	0,09	0,06	<0,05	<0,05

Проведены также испытания по обработке невской воды алюмосодержащими коагулянтами совместно с некоторыми видами катионных флокулянтов. Применение полимерных флокулянтов позволило не только повысить качество очистки воды, но и снизить в 2 раза дозу коагулянта, а также увеличить продолжительность времени фильтрации.

В настоящее время на водопроводных станциях Санкт-Петербурга в промышленных условиях используются дефицитные дозы сульфата алюминия (3—4 мг/л по Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) с катионными флокулянтами "Суперфлок С-527", "Магнафлок LT-31" и др. в дозах 2—3 мг/л. Это позволяет в сложившихся условиях эксплуатации обеспечивать требуемое качество питьевой воды и снизить потери воды на промывку сооружений.

### 8.2. Применение новых реагентов в системе Московского водопровода

Интересная и многогранная работа проводится по поиску и внедрению новых реагентов на Московском водопроводе [243—245].

В публикациях специалистов МГП «Мосводоканал» С. В. Храменкова, В. З. Волкова, А. В. Коверги, О. Е. Благовой и др., в научных и производственных отчетах Московских водопроводных станций детально рассматриваются история коагулирования, сегодняшнее состояние коагуляционной очистки воды и дальнейшие планы по разработке и внедрению новых реагентов.

Остановимся на вопросе использования коагулянтов и флокулянтов в практике Московского водопровода, рассмотренном по литературным данным.

Рублевская водопроводная станция введена в эксплуатацию в 1903 г. Схема очистки была следующей: 12-часовое безреагентное отстаивание и очистка воды на медленных фильтрах фильтрованием через песчаную загрузку. Однако уже в первый весенний паводок 1904 г. эта схема оказалась неэффективной, и специалистами Рублевской станции было принято решение о коагулировании воды сульфатом алюминия. Сначала это осуществлялось периодически во время весенних и осенних паводков, а с 1906 г. — постоянно. С этого момента началась многолетняя история использования коагулянтов в практике очистки воды на московских водопроводных станциях.

В настоящее время система централизованного водоснабжения Москвы базируется на поверхностных водах московского и волжского источников. Воду р. Москвы используют Западная и Рублевская водопроводные станции, две другие станции — Северная и Восточная — очищают волжскую воду.

Воды московского и волжского источников имеют некоторые характерные особенности, которые влияют на технологические режимы очистки на водопроводных станциях и качество питьевой воды.

Для воды р. Москвы характерно высокое микробиологическое загрязнение, наличие паразитарных агентов; сезонное развитие фито- и зоопланктона; наличие неприятных запахов природной воды, связанных с поступлением загрязненного стока и наличием планктона.

Волжская вода характеризуется большим содержанием природных органических веществ (высокие перманганатная окисляемость и цветность); весьма низкими значениями мутности (до 2 мг/л); практически постоянным присутствием колифагов при относительно небольшом бактериальном загрязнении; сезонным развитием фито- и зоопланктона.

Сульфат алюминия показал достаточно высокую технологическую эффективность при очистке и москворецкой, и волжской воды. До настоящего времени он остается «базовым» коагулянтом в системе Московского водопровода.

В связи с ростом водопотребления города и несмотря на постоянный ввод в эксплуатацию новых мощностей очистных сооружений ситуация в водоснабжении Москвы продолжает оставаться сложной.

В этих условиях для выполнения нормативных требований к качеству воды были выработаны технологические режимы с минимальной ролью коагулирования и увеличением использования окислителей — в основном хлора, на Восточной водопроводной станции — озона. Окислители стали применяться не только для обеззараживания, но и в целях обесцвечивания, особенно широко на волжских водопроводных станциях.

Таким образом, на протяжении многих лет складывалась ситуация, при которой коагуляционная обработка воды осуществлялась в минимальных объемах: применялись различные режимы коагулирования, снижающие расход реагента, — раздельный, периодический и т. д. Эта ситуация отражена на рис. 8.1, где показано изменение расхода коагулянта по годам в абсолютных значениях.

Однако с введением в 1988 г. нормирования тригалометанов, разработкой и введением новых требований к качеству питьевой воды, норматива по перманганатной окисляемости, содержанию паразитарных агентов, а также с появившейся перспективой дальнейшего повышения требований к качеству воды по содержанию остаточного алюминия, хлороформа и другим показателям ситуация коренным образом изменилась. Стабильное выполнение новых норма-

тивов качества стало возможным только при повышении эффективности процесса коагуляции.

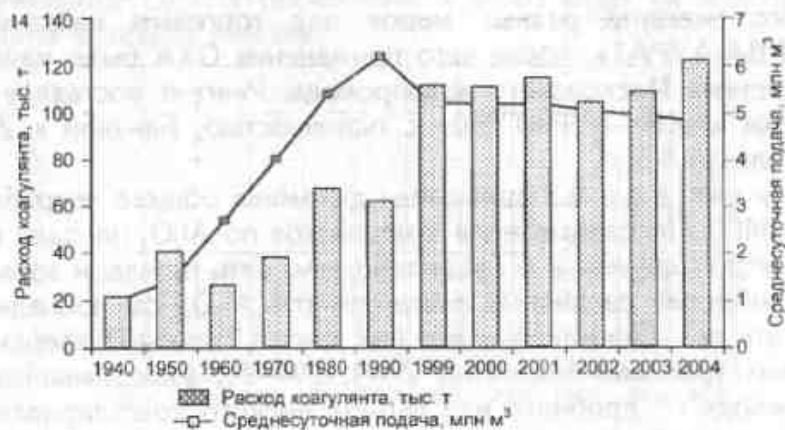


Рис. 8.1. Динамика расхода коагулянта по годам в системе Московского водопровода

В связи с этим возник вопрос об изысканиях новых коагулянтов, позволяющих получать качественную питьевую воду, одним из которых является оксихлорид алюминия.

В 1965 г. на Пикалевском глиноземном заводе была осуществлена полупромышленная проверка технологии получения раствора ОХА, опытная партия продукта успешно прошла испытания на Северной водопроводной станции, которые подтвердили преимущества нового коагулянта по сравнению с сернокислым глиноземом.

В результате проведения совместных с рядом организаций экспериментальных работ в 1984—1986 гг. была подтверждена высокая эффективность ОХА.

Окончательные испытания, позволившие не только определить с конкретной технологией получения, но и с величиной основности требуемого продукта, были осуществлены в 1993—1995 гг. совместно с фирмой «Кемира» (Финляндия) на базе Северной и Восточной водопроводных станций. Результатом этих испытаний с учетом многолетних исследований было заключение о целесообразности орга-

низации производства на базе химического завода им. Войкова (ОАО «АУРАТ») высокоэффективного коагулянта типа PAX-XL-1, а затем создания в 1996 г. производства этого реагента разных марок под торговым названием «АКВА-АУРАТ», после чего применение ОХА было начато в системе Московского водопровода. Реагент поставляется марки «АКВА-АУРАТ™10» с основностью, близкой к 2/3 (около 70 %).

На рис. 8.2 и 8.3 приведены динамика общего потребления МГП «Мосводоканал» коагулянтов по  $Al_2O_3$  на один кубометр подаваемой в водопроводную сеть питьевой воды и потребление различных реагентов (по  $Al_2O_3$ ) за последние десять лет. Отчетливо виден (см. рис. 8.2) период введения новых требований СанПиН 2.1.4.559—96, выразившийся в переходе от дробного или периодического коагулирования на полное. В это время расход коагулянтов возрос примерно в 1,5 раза. По изменению соотношения различных реагентов при очистке воды можно заметить (см. рис. 8.3), что после максимума, достигнутого в 1997 г., доля полиоксихлорида алюминия «АКВА-АУРАТ™10» стабилизировалась на уровне 20 %. Это связано в первую очередь с опережающим ростом цен на данный коагулянт из-за непропорционального увеличения стоимости исходных компонентов — гидроокиси алюминия и соляной кислоты и во вторую очередь с тем, что фактически полиоксихлорид алюминия используется только на двух водопроводных станциях — Северной и Восточной, а это связано с природой и качеством исходной воды. Тем не менее МГП «Мосводоканал» является крупнейшим в России потребителем коагулянта «АКВА-АУРАТ™10». Для ежегодной перевозки 30—35 тыс. т реагента потребовалось решение вопроса транспортировки, для чего по заказу МГП «Мосводоканал» был изготовлен специальный автотранспорт.

Кроме того, модернизации подверглось и реагентное оборудование на самих водопроводных станциях: были проложены самостоятельные коагулянтпроводы для ОХА, отремонтированы баки для приема и хранения нового коагулянта с заменой запорной арматуры и оснащением при-

борами контроля, оборудованы площадки для слива раствора. В настоящее время уже накоплен десятилетний опыт применения ОХА в технологии очистки воды на водопроводных станциях Москвы.

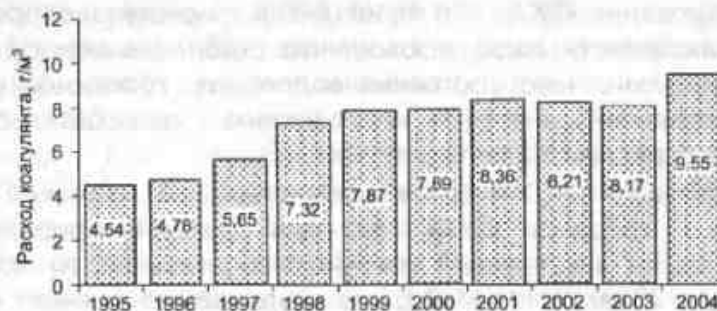


Рис. 8.2. Расход коагулянтов на 1 м³ воды МВК по  $Al_2O_3$

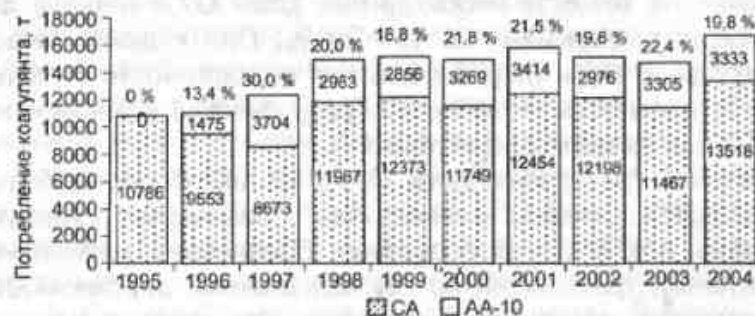


Рис. 8.3. Потребление МВК коагулянтов по  $Al_2O_3$

Руководством и специалистами МГП «Мосводоканал» сделаны следующие основные выводы по применению ОХА в практике московских водопроводных станций:

- представляя собой частично гидролизованную соль, ОХА обладает большей способностью к полимеризации, что ускоряет хлопьеобразование и осаждение коагулированной взвеси;



- ОХА в сравнении с сульфатом алюминия работает в более широком диапазоне рН, что приводит к более полному гидролизу ОХА и, как следствие, и к уменьшению концентрации остаточного алюминия в питьевой воде;

- существенно меньше снижается щелочность воды при коагулировании ОХА, что приводит к снижению коррозионной активности воды, исключению стабилизационной обработки, улучшению состояния водоводов, городской распределительной сети и сохранению потребительских свойств воды при транспортировке;

- применение ОХА более эффективно на волжской воде, где в холодное время года для удаления природных органических загрязнений требуются большие дозы коагулянта (до 20 мг/л по  $Al_2O_3$ ), что существенно снижает стабильность воды;

- эффективность ОХА зависит от качества воды, поступающей на очистку: при невысоком содержании природных органических веществ необходимые дозы ОХА меньше доз сернокислого алюминия на 15—20 %. При худшем качестве природной воды (перманганатная окисляемость — выше 11 мг/л, цветность — выше 50 град) очистка с применением ОХА идет менее эффективно.

Учитывая эти особенности ОХА, на волжских станциях используются режимы совместного применения сульфата алюминия и ОХА, что позволяет обеспечить выполнение нормативных требований по перманганатной окисляемости, концентрации остаточного алюминия при приемлемых значениях стабильности воды.

Несмотря на то что оксихлорид алюминия «АКВА-АУРАТ™10» по своим свойствам и характеристикам вполне удовлетворяет требованиям МГП «Мосводоканал», в последнее время в лабораторных условиях активно испытывались новые образцы коагулянтов ОАО «АУРАТ», основность которых колебалась от 1/3 до 2/3. По коагулирующей способности все представленные образцы показали в лабораторных условиях достаточно высокую эффективность для обработки цветной воды, содержащей большое количество

природных загрязнений. Оценивались реагенты по характеру и скорости хлопьеобразования, мутности, цветности, остаточному алюминию и перманганатной окисляемости отстоянной и фильтрованной воды в сравнении с результатами пробного коагулирования сульфатом алюминия и коагулянтom «АКВА-АУРАТ™10». Несмотря на то что представленные образцы превосходили по эффективности традиционный сульфат алюминия, однако их эффективность оказалась на уровне или ниже в сравнении с применяемым для обработки воды коагулянтom «АКВА-АУРАТ™10». Наиболее перспективные образцы были рекомендованы для дальнейшей доработки.

Таким образом, процесс исследования и оптимизации использования оксихлорида алюминия не закончился опытами предыдущих лет, и МГП «Мосводоканал» совместно с научно-исследовательскими институтами и заводами-производителями постоянно находится в поиске новых, более эффективных реагентов для обработки природной воды.

Как перспективное рассматривается направление использования комбинированных коагулянтов, например, на основе смешанных основных солей железа и алюминия, более широкое использование флокулянтов различной природы.

Применение флокулянтов на Московском водопроводе раньше было ограничено из-за отсутствия эффективных реагентов. По существу постоянно применялась только активированная кремнекислота на одной из технологических линий Северной водопроводной станции. Однако нестабильность процесса полимеризации и получаемого продукта привела к отказу от ее применения.

Только с появлением на нашем рынке в начале 90-х годов широкой гаммы полимерных флокулянтов развернулись работы по подбору реагентов для обработки воды на московских водопроводных станциях. В настоящее время испытаны десятки марок флокулянтов разных производителей. В результате установлена высокая технологическая эффективность катионных флокулянтов на основе полиакриламида. Они являются наиболее универсальными реагентами

тами для очистки и волжской, и московской воды во все сезоны года.

На московских водопроводных станциях применяется катионный флокулянт «Праестол 650-ТР», который поступает в виде порошка. Приготовление и дозирование раствора осуществляется специальными автоматическими установками типа «Полидос» пропорционально расходу обрабатываемой воды. Расчет и поддержание подачи необходимого объема раствора флокулянта осуществляется автоматически с учетом расхода обрабатываемой воды, заданной дозы и концентрации раствора.

«Праестол 650-ТР» используется на станциях периодически. Применение флокулянта позволяет интенсифицировать процесс коагулирования воды особенно в холодное время года. В отличие от анионного флокулянта полиакриламида (ПАА), который достаточно широко применяется для очистки воды на многих водопроводных станциях в России, «Праестол 650-ТР» позволяет снизить в очищенной воде концентрацию остаточного алюминия, а в отдельных случаях повысить глубину очистки воды от органических загрязнений (по ПО).

Эффективность применения «Праестол 650-ТР» на Восточной водопроводной станции показана в табл. 8.7. Как видно из представленных данных, мутность отстоенной и фильтрованной воды существенно улучшается при использовании флокулянта, особенно в сочетании с сульфатом алюминия. Соответственно улучшается и показатель остаточного алюминия. Кроме того, использование флокулянта «Праестол 650-ТР» позволяет уменьшить значения ПО, так, при одной и той же дозе коагулянта в случае добавления 0,1 мг/л флокулянта показатель ПО уменьшается с 5,3 до 4,4 мгО<sub>2</sub>/л.

В ряде случаев аналогичная степень очистки обеспечивается дополнением коагулирования анионными флокулянтами, но, как показывают эксперименты, эффективность их применения в большей степени зависит от свойств обрабатываемой воды и тщательного подбора параметров процесса (энергетических характеристик процесса смешения, точки ввода коагулянта и флокулянта и т. д.). Дозы флокулянтов

не превышают 0,1—0,15 мг/л. Таким образом, концентрации мономера акриламида в воде составляют десятые, сотые доли ПДК. Применение флокулянтов зачастую позволяет снизить дозу коагулянта на 10—20 %. В отдельных случаях, особенно на волжской воде, без использования флокулянта трудно обеспечить получение питьевой воды нормативного качества, в частности, по перманганатной окисляемости.

Таблица 8.7

#### Эффективность применения флокулянта «Праестол» на ВВС Москвы

Вид коагулянта	D <sub>к</sub> , мг/л	D <sub>ф</sub> , мг/л	Отстоенная вода			Фильтрованная вода			
			Мутность, мг/л	Цветность, град	Al, мг/л	Мутность, мг/л	Цветность, град	Al, мг/л	ПО, мгО <sub>2</sub> /л
Исходная вода			2,0	39					8,7
СА	0	7,5	1,1	18	1,17	0,1	9	0,19	5,3
СА	0,05	7,5	1,1	16	1,0	0,1	9	0,11	5,0
СА	0,1	7,5	0,9	15	0,88	0,1	8	0,08	4,4
ОХА	0	7,5	0,9	13	0,63	0,1	8	<0,04	4,7
ОХА	0,05	7,5	0,7	13	0,58	0,1	8	<0,04	4,7
ОХА	0,1	7,5	0,5	12	0,38	0,1	8	<0,04	4,5

С увеличением роли коагулирования в технологии водоподготовки, ростом объемов потребляемых реагентов, внедрением новых видов реагентов и режимов их ввода возросла значимость точности дозирования. Для введения реагентов в воду в строгом соответствии с заданным режимом применяется автоматизированное оборудование. Все технологические линии водопроводных станций оборудованы современными автоматическими установками для приготовления и дозирования растворов флокулянта и коагулянта пропорционально расходу обрабатываемой воды.

### 8.3. Особенности применения ОХА на водопроводных станциях

Имеющийся производственный отечественный и зарубежный опыт применения оксихлоридов алюминия указы-

вает на некоторые особенности применения ОХА по сравнению с сульфатом алюминия, о чем уже частично говорилось выше [253, 238, 240, 241 и др.]. Рассмотрим некоторые из них.

**А. Перевозка и хранение исходного продукта и рабочих растворов.** Температура замерзания исходного продукта определяется его концентрацией и изменяется в интервале минус 15—20 °С (также зависит от основности ОХА). В связи с этим перевозка железнодорожным или автомобильным транспортом в зимнее время года существенно ограничена. Тем не менее в нашей практике известны случаи транспортировки ОХА при температуре окружающего воздуха до минус 30 °С на расстояние до 200 км в металлических футерованных или стеклопластиковых емкостях автомобильным транспортом. Так как в процессе производства ОХА на последней стадии — фильтрации температура товарного продукта составляет 50—60 °С, то возможна транспортировка автомобильным транспортом в зимнее время и на большие расстояния. При этом определяющей становится не техническая сторона вопроса (замерзание продукта), а экономическая — стоимость перевозки.

Хранение рабочих растворов должно осуществляться в помещениях с температурой не менее 5 °С. Это обусловлено не техническими причинами, так как рабочий раствор, содержащий 3—5 % ОХА (по  $Al_2O_3$ ), замерзает при минус 5 °С, а только требованиями к складским помещениям по СНиП 2.04.02—84.

Срок хранения раствора оксихлорида алюминия с массовой долей 10—20 % по  $Al_2O_3$  составляет не менее одного года. В лабораторных условиях нами неоднократно проводились исследования по определению срока годности, показавшие высокую стабильность растворов оксихлоридов алюминия, способность не менять структуру и коагулирующие свойства при многократном замораживании — размораживании продукта.

Однако особенности перевозки и хранения товарных растворов ОХА в зимних условиях нашей страны, устояв-

шиеся традиции работы на водоочистных станциях с твердым коагулянтom и значительная экономия при транспортировке на дальние расстояния (свыше 800—1000 км) кристаллического продукта по сравнению с водным ОХА обусловили выпуск полиоксихлорида алюминия «АКВА-АУРАТ™30» (ОАО «АУРАТ», Москва) и гидроксохлорида алюминия марки Б (ОАО «Сорбент», г. Пермь) в твердом виде. На 01.01.2005 г. в России промышленный выпуск кристаллического ОХА осуществляло только ОАО «АУРАТ» (мощность производства 20 тыс. т/год). Поэтому особенности приготовления рабочих растворов мы будем рассматривать на примере полиоксихлорида алюминия «АКВА-АУРАТ™30».

**Б. Приготовление рабочих растворов.** Вопросы приема и хранения ПОХА «АКВА-АУРАТ™30» у потребителей не вызывают каких-либо затруднений. Реагент поставляется герметично упакованным в полипропиленовых мешках с полиэтиленовыми вкладышами массой 25 кг в паллетах, или навалом, или в мягких контейнерах массой 1000 кг. Поэтому его разгрузку осуществляют обычными способами: погрузчиком, грузоподъемными механизмами или ручным способом. При организации хранения следует принимать во внимание его гигроскопичные свойства. Не рекомендуется его хранить в негерметичной упаковке или оставлять на длительное время в непосредственном контакте с влажным воздухом. Герметично упакованный он может храниться в неотопляемых помещениях или под навесами неограниченное время.

Реагент ПОХА «АКВА-АУРАТ™30» пожаровзрывобезопасен, поэтому при хранении, транспортировке и использовании необходимо соблюдать обычные правила противопожарного режима. Температура его разложения составляет 120 °С. По степени воздействия на человека этот продукт относится к умеренно опасным веществам, класс опасности 3 [246]. Он реагирует с фосфатами с образованием алюмофосфатного комплекса, с щелочами, кислотами, хлоратами, сульфатами, сульфитами и гипохлоритами, вызывает кор-



розию нелегированных сталей, оцинкованных металлов и алюминия. Практический опыт применения коагулянта ПОХА «АКВА-АУРАТ™30» и результаты исследований показали, что коррозионная активность его водных растворов ниже по сравнению с водными растворами СА при одинаковой концентрации в них  $Al_2O_3$ . Для растворов этих коагулянтов с содержанием  $Al_2O_3$  от 1 до 8 %, находящихся в стационарном режиме, скорость коррозии стали марки Ст.3 составила при 20 °С для ПОХА (0,5—0,8) мм/год, для СА — (1,2—1,6) мм/год. Повышенная коррозионная активность СА связана в первую очередь с наличием в нем свободной серной кислоты до 0,1 % (ГОСТ 12966—85) и соответственно более низким значением pH его растворов (табл. 8.8).

Таблица 8.8

Изменение pH растворов сульфата алюминия и ПОХА «АКВА-АУРАТ™30» в зависимости от концентрации

Содержание $Al_2O_3$ в растворе, %	pH	
	Сульфат алюминия	«АКВА-АУРАТ™30»
2,0	2,4—3,2	3,6
4,0	1,9—2,8	3,3
6,0	1,6—2,6	3,1
8,0	1,4—2,4	2,8

Полиоксихлорид алюминия «АКВА-АУРАТ™30» хорошо растворяется в воде, однако несмотря на это при приготовлении его водных растворов с массовой долей  $Al_2O_3$  10 % требуемая прозрачность достигается через весьма длительный промежуток времени. Было установлено, что увеличение массовой доли  $Al_2O_3$  до 15 % дает возможность получить прозрачный раствор уже через 15—30 мин.

Процесс растворения коагулянта идет с выделением тепла, поэтому не требуется специального подогрева воды для приготовления рабочих растворов в холодное время года.

Процесс приготовления растворов сульфата алюминия является эндотермическим и поэтому протекает 5—6 ч. В результате энергозатраты при работе с «АКВА-АУРАТ™30» почти в 10 раз ниже, чем при использовании сульфата алюминия. Для интенсификации растворения ПОХА в воде используют методы аэрации воды воздухом или с использованием механических мешалок.

Рабочий раствор с массовой долей  $Al_2O_3$  1—3 % готовится простым разбавлением концентрированного раствора коагулянта водой. Применение речной воды для приготовления рабочих растворов коагулянта приводит к потере их эффективности, особенно в период паводков, до 30—40 %. Поэтому для приготовления растворов ОХА следует применять только фильтрованную воду. Это же положение всегда относилось к приготовлению растворов любых реагентов и флокулянтов.

Приготовление раствора ПОХА «АКВА-АУРАТ™30», содержащего (1—10) %  $Al_2O_3$ , может осуществляться в резервуарах для приготовления растворов СА путем растворения порошка ПОХА  $m_1$

$$m_1 = m \cdot c : c_1 = V \cdot \rho \cdot c : c_1 = V \cdot x : 10 C_1 \quad (1)$$

в определенном объеме фильтрованной воды  $V_1$

$$V_1 = m - m_1 = m (1 - c : c_1) = V \cdot \rho (1 - c : c_1), \quad (2)$$

где  $m(V)$  — масса (объем) получаемого раствора;

$m_1$  — масса товарного коагулянта;

$c$  — массовая доля  $Al_2O_3$  в растворе, %;

$c_1$  — массовая доля  $Al_2O_3$  в товарном коагулянте, %;

$\rho$  — плотность раствора;

$x$  — содержание  $Al_2O_3$  в растворе, г/л.

В некоторых случаях приготовление рабочего раствора коагулянта осуществляли в две стадии, первоначально получали в стеклоэмалированном или футерованном аппарате

вместимостью 2—6 м<sup>3</sup> раствор ПОХА с массовой долей Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (9—15) %, который затем доводили в баке рабочего раствора до требуемой концентрации (1—3) % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Объем воды V<sub>2</sub> для разбавления концентрированного раствора определяли по формуле

$$V_2 = \frac{m \cdot c}{c_p \cdot \rho_p} - V = V \left( \frac{c \cdot \rho}{c_p \cdot \rho_p} - 1 \right) = V \left( \frac{x}{x_p} - 1 \right) = V \rho_p (1 - c_p : c), \quad (3)$$

- где m(V) — масса (объем) концентрированного раствора;  
 c — массовая доля Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в концентрированном растворе, %;  
 c<sub>p</sub> — массовая доля Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в рабочем растворе, %;  
 x — содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в концентрированном растворе, г/л;  
 x<sub>p</sub> — содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в рабочем растворе, г/л;  
 ρ — плотность концентрированного раствора;  
 ρ<sub>p</sub> — плотность рабочего раствора;  
 V<sub>p</sub> — объем рабочего раствора.

Для оперативного определения массовой доли Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в растворе и выполнения расчетов использовали зависимость концентрации раствора от его плотности c = φ(ρ):

ρ, г/см <sup>3</sup>	1,017	1,034	1,053	1,070	1,089	1,106	1,125	1,143	1,163	1,193
c, %	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0

Применение концентрированных рабочих растворов коагулянта с массовой долей Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 5—10 % не всегда позволяло достичь требуемую точность и равномерность дозирования из-за несовершенных в большинстве случаев систем подачи реагентов, действующих на ВОС. Поэтому независимо от вида коагулянта для обеспечения стабильного режима коагуляции необходимо рабочие растворы, особенно концентрированные, подавать в очищаемую воду насосами-дозаторами. На очистных сооружениях, не имеющих возможности установить дозирующие насосы, точность и рав-

номерность подачи выбранной дозы коагулянта достигались использованием рабочих растворов с содержанием Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> от 1 до 3 %.

**В. Коррозионное воздействие на оборудование.** При использовании ПОХА «АКВА-АУРАТ™30» коррозионная активность обрабатываемой воды практически не повышается, что позволяет исключить ее стабилизационную обработку. Его применение улучшает условия эксплуатации трубопроводов, по которым транспортируется вода, благодаря снижению коррозии и исключению отложения взвеси. Кроме того, наблюдается удаление имеющихся отложений из трубопроводов, по которым длительное время подавалась в городскую сеть вода, очищенная СА. Проведенные исследования показали, что скорость коррозии стали 12Х18Н10Т в растворе ПОХА с массовой долей Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 10 %, приготовленном из порошка коагулянта «АКВА-АУРАТ™30», составляет при 20 °С всего 0,08 мм/год, а при 30 °С — 0,2 мм/год. Невысокая коррозионная активность растворов и отсутствие проблем при его приеме, хранении и использовании позволяют ВОС осуществлять плавный переход на технологии с его использованием без капитальных затрат, без остановки и специальной подготовки эксплуатируемого оборудования.

**Г. Подготовка сооружений и трубопроводов для работы с ОХА.** Особое внимание следует обратить на качество подготовки сооружений и системы подачи растворов. Необходимо тщательно промыть фильтрованной водой резервуары и всю систему подачи раствора сульфата алюминия, так как оставшийся сульфат алюминия служит центром кристаллизации оксида алюминия и способствует выпадению гидроксида алюминия из растворов полиоксихлорида алюминия. Это может привести не только к потере активных свойств ОХА, его перерасходу, но и к закупорке трубопроводов, задвижек и дозаторов осадком гидроксида алюминия, выходу системы подачи реагента из строя.

**Д. Эксплуатационные трудности.** К числу недостатков использования ОХА следует отнести сложность оператив-

**ного контроля** дозировки коагулянта. Принятая практика контроля дозы по понижению щелочности неприменима вследствие малой зависимости данного показателя от дозы. Понижение щелочности при рабочих дозах ОХА составляет 0,1—0,2 мг-экв/л против 0,5—0,8 мг-экв/л у СА и 0,5—0,7 — у ГОХСА. Одновременно при работе на ГХА выявилось некоторое повышение содержания железа в очищенной воде, вызванное, очевидно, растворением продуктов коррозии трубопроводов и оборудования.

**Е. Преимущества ОХА.** На основании проведенных многочисленных и многолетних исследований различными авторами, а также опыта производственного применения ОХА на водопроводных станциях установлены следующие его преимущества по сравнению с традиционным реагентом — сульфатом алюминия:

- более эффективен при очистке маломутных цветных вод и особенно в периоды с низкими температурами воды;
- уменьшает дозу реагента по  $Al_2O_3$  на 15—30 %;
- повышает качество очищенной воды по мутности и цветности;
- обеспечивает содержание остаточного алюминия в воде значительно ниже ПДК;
- практически не изменяет рН и щелочность воды; расширяет диапазон оптимальных значений рН природной воды;
- имеет более высокую концентрацию по основному продукту, что позволяет уменьшить его расход в 2—3 раза, а также транспортные расходы;
- снижает коррозию водопроводных труб, что исключает стабилизационную обработку воды;
- позволяет в некоторых случаях уменьшить дозы хлора первичного хлорирования путем повышения глубины очистки воды;
- обеспечивает в некоторых случаях большее снижение органических загрязнений (на 10—20 %), характеризуемых показателем перманганатной окисляемости;

- сокращает объем образующегося осадка в 2—3 раза в случаях существенного уменьшения дозы коагулянта;
- исключает образование пены при смешении и коагулировании в условиях повышенного содержания органических веществ в воде;
- во многих случаях дает экономический эффект.

#### 8.4. Применение флокулянтов

На большинстве водопроводных станций городов России в основном применяется флокулянт полиакриламид, который существенно улучшает протекание процессов коагуляции воды. В последние годы появились новые флокулянты анионного и катионного типа, которые используются взамен ПАА на ряде водопроводных станций, например, в г. **Екатеринбурге**. Основными источниками его водоснабжения являются реки Исеть, Чусовая, Уфа и их водохранилища: Волчихинское, Верх-Исетское, Нязе-Петровское. Характерные особенности воды указанных источников — это высокая цветность, низкая минерализация, щелочность, мутность, повышенное содержание железа, в некоторые периоды — марганца.

Обеспечение города питьевой водой из поверхностных водоисточников осуществляется водопроводными станциями — Западной фильтровальной станцией (ЗФС) производительностью 648 тыс.  $m^3$ /сут, головными сооружениями водопровода (ГСВ) — 170 тыс.  $m^3$ /сут, фильтровальной станцией поселка «Уралмаш» — 40 тыс.  $m^3$ /сут. Технологические схемы — традиционные двухступенные (горизонтальные отстойники или вертикальные осветлители со взвешенным слоем и скорые фильтры) и одноступенные (контактные осветлители).

С 1993 г. на станциях применяли полиакриламид. С 1994 по 1997 г. были проведены во все сезоны года лабораторные испытания флокулянтов фирмы «Штокхаузен» "Праестол 611, 650, 2530, 2540" в сравнении с ПАА производства г. Ленинск-Кузнецкого и АО «Бератон» (г. Березняки),



КФ-91 производства КПП «УФ» г. Волжского. Наиболее эффективным оказался флокулянт катионного типа «Праестол 650» [247].

После проведения опытных испытаний флокулянта и окончательного выбора марки коагулянта с 1997 г. по настоящее время «Праестол 650-ТР» наряду с ПАА Н-600 применяется в качестве флокулянта на сооружениях МП «Водоканал» г. Екатеринбурга в сочетании с коагулянтами ОХА БОПАК-Е производства ЗАО «Реагенты водоканала» г. Екатеринбурга и СА, выпускаемым криолитовым заводом г. Полевского.

Оптимальная доза «Праестола» составляет 0,1—0,3 мг/л, ПАА Н-600 — 0,3—0,5 мг/л.

Совместное применение «Праестол 650-ТР» с коагулянтами ОХА и СА позволяет:

- снизить содержание остаточного алюминия до минимального предела обнаружения его в питьевой воде;
- обеспечить более высокую степень очистки по цветности, железу, ХПК, окисляемости (особенно с ОХА БОПАК-Е);
- снизить дозу коагулянта на 10—15 %;
- увеличить производительность очистных сооружений благодаря высокой степени осветления воды.

На очистных сооружениях Центрального водопровода г. Ростов-на-Дону производительностью 150 тыс. м<sup>3</sup>/сут начали применять ВПК-402 как единственный реагент для осветления воды р. Дона с 1994 г. [222—224].

Первоначально исходный ВПК-402 разбавлялся водой до крепости 0,1 % по активному продукту в мешалках, используемых для приготовления раствора ПАА. Затем раствор насосами подавался в донскую воду перед поступлением ее в смесители. Такой способ применения ВПК-402 не дал желаемого результата — осветление воды в отстойниках было неэффективным, а мутность фильтрата намного превышала допустимую по ГОСТ 2874—82. С целью увеличения времени контакта флокулянта с обрабатываемой водой его стали вводить во всасывающие линии насосов на

промежуточной насосной станции подкачки, расположенной примерно в 3 км от площадки очистных сооружений.

В настоящее время технология ввода ВПК-402 следующая. В помещении насосной станции подкачки установлена металлическая емкость, в которую заливается из автоцистерны товарный флокулянт без разбавления его водой (ВПК-402 крепостью 25—30 % по активной части имеет вид жидкого геля, поставляется потребителям в железнодорожных цистернах, дозирование его в осветляемую воду без разбавления не представляет трудностей). Далее с помощью эжекторов ВПК-402 поступает во всасывающие линии работающих насосов и смешивается со всей массой воды, подаваемой на очистные сооружения. Дозировка катионного флокулянта контролируется объемным способом на выходе из линии подачи в воронку.

После этого донская вода с введенным в нее флокулянтом по напорным водоводам поступает на очистные сооружения.

На Александровских очистных сооружениях производительностью 320 тыс. м<sup>3</sup>/сут (расчетной) и 550 тыс. м<sup>3</sup>/сут (фактической) ВПК-402 начали применять с 1995 г. Для этого на водозаборе было сооружено реагентное хозяйство, аналогичное по конструкции описанному выше, для введения неразбавленного ВПК-402 в приемные камеры насосов первого подъема.

Результаты очистки воды на Центральном и Александровских очистных сооружениях в сравнении с результатами осветления воды в период применения коагулянта представлены в табл. 8.9 и 8.10. В таблицах приведены сравнительные данные по осветлению воды на Центральном очистном сооружении в 1993 г. (коагулянтом) и в 1995 г. (флокулянтом). При этом качество исходной воды по большинству физико-химических показателей (температура, рН, щелочность, жесткость) было примерно одинаковым.

Таблица 8.9

Данные по эффективности применения СА и ВПК-402 на Центральных очистных сооружениях

Месяцы	1993 г.				1995 г.			
	Доза коагулянта, мг/л	Мутность воды, мг/л			Доза флокулянта ВПК-402, мг/л	Мутность воды, мг/л		
		исход.	после отстойн.	фильтрат		исход.	После отстойн.	фильтрат
1	10,2	6,3	3,5	1,5	0,21	11,7	3,8	1,3
2	16,7	10,2	6,3	1,5	0,6	43,6	7,0	1,9
3	29,3	21,1	8,2	1,8	0,38	24,8	4,7	1,05
4	38,5	24,4	9,7	2,3	0,2	10,5	4,1	1,1
5	23,4	16,4	6,9	0,9	0,2	11,4	3,5	1,0
6	22,9	14,8	5,0	0,7	0,19	10,4	3,3	0,8
7	17,0	11,5	4,0	0,7	0,19	10,8	3,1	0,7
8	16,4	11,0	4,7	0,5	0,17	8,8	3,2	0,6
9	19,0	10,0	3,6	0,5	0,15	8,0	3,6	0,8
10	16,8	8,3	3,5	0,7	0,17	7,7	2,6	0,7
11	12,6	7,3	3,5	1,4	0,16	5,7	2,3	0,7
12	15,5	9,0	4,9	0,7	0,16	5,8	3,0	0,9
В среднем за год	19,9	12,5	5,3	1,1	0,23	13,3	3,7	0,96

Таблица 8.10

Результаты применения ВПК-402 в сравнении с СА на Александровских очистных сооружениях

Период испытаний (1995 г.)	Мутность воды, мг/л					Доза реагента, мг/л
	исходной	после отстойников		фильтрат		
		I очередь	II очередь	I очередь	II очередь	
1.05—25.07 (применялся коагулянт)	7,8-26,6 13,7	3,2-8,7 4,5	2,7-6,7 5,0	1,0-1,4 1,2	1,0-1,7 1,2	Товарный продукт 5,4-26,2 14,8
31.07—25.10 (применялся флокулянт)	6,9-24,9 12,9	1,6-3,8 2,6	1,8-4,1 2,9	0,9-1,6 1,2	0,8-1,8 1,2	Активный продукт 0,13-0,43 0,26

Была проанализирована картина накопления осадка в горизонтальных отстойниках при обработке воды сульфатом алюминия и флокулянт ВПК-402. Из рис. 8.4 видно, что при использовании сульфата алюминия максимум накопления осадка наблюдается в створах между 20 и 25 м от начала отстойника, а затем идет плавное понижение его слоя к концу отстойника. При обработке воды катионным флокулянт ВПК-402 по принятой технологии максимум накопления осадка наблюдается в самом начале отстойника, сразу за камерой хлопьеобразования с последующим понижением. При этом в конце отстойника осадка значительно меньше, чем при применении коагулянта, что свидетельствует о более высоком эффекте осветления воды.



Рис. 8.4. Кривые расположения осадка в отстойнике Александровских очистных сооружений при обработке воды: 1 — коагулянт — сернокислым алюминием; 2 — катионным флокулянт ВПК-402; А — камера хлопьеобразования

Результаты производственного применения флокулянта ВПК-402 на водопроводных станциях г. Ростова-на-Дону свидетельствуют о следующем:

- применение катионного флокулянта ВПК-402 в качестве единственного реагента для осветления воды р. Дона обеспечивает более глубокий и устойчивый в течение всего года эффект осветления в отстойниках и на скорых фильтрах, чем при применении для этой цели сульфата алюминия;

- возможность дозирования катионного флокулянта ВПК-402 в обрабатываемую воду без его разбавления позволяет значительно упростить и удешевить конструкцию реагентного оборудования и его эксплуатацию;

- дозы ВПК-402, обеспечивающие требуемый эффект осветления воды на сооружениях, на порядок и более меньше доз сульфата алюминия и составляют в разные периоды по активному продукту 1,5—2,5 % от мутности речной воды и по абсолютным значениям в среднем за год не превышают 1 мг/л по товарному продукту;

- применение вместо сульфата алюминия катионного флокулянта ВПК-402 значительно меньше сказывается на изменении pH и щелочности осветленной воды, что позволяет исключить необходимость дополнительного применения щелочных реагентов, а также исключить опасность присутствия в осветленной воде остаточного алюминия;

- остальные физико-химические показатели очищенной воды при применении сравниваемых реагентов изменяются примерно одинаково;

- применение катионного флокулянта ВПК-402 на Центральных очистных сооружениях водопровода г. Ростова-на-Дону позволило уменьшить стоимостные затраты реагентной обработки воды.

В настоящее время катионный флокулянт ВПК-402 применяется как самостоятельный реагент при осветлении воды на ряде других водопроводов (Таганрог, Шахты, Объединенный водопровод городов Кавказских Минеральных Вод, Эшаконский водопровод г. Кисловодска на Северном Кавказе, водопровод г. Барнаула). В каждом конкретном случае местные органы Санэпиднадзора выдают разрешение на его применение.

Учитывая низкие значения ПДК содержания ВПК-402 в питьевой воде, очень важно, чтобы технология его производства обеспечивала минимальные концентрации мономера в продукте, так как нарушение технологических процессов приводит к увеличению концентрации мономера в флокулянте. Поэтому при его использовании для подготов-

ки питьевой воды необходимо получение гигиенического сертификата на каждую произведенную партию флокулянта.

Интересна история применения флокулянтов на Омском водоканале [248]. Источником водоснабжения г. Омска служит р. Иртыш. Речная вода характеризуется показателями: мутность колеблется от 2 до 55 мг/л; щелочность — 1,5—2,0 мг-экв/л; окисляемость — 2,5—5,5 мгO<sub>2</sub>/л. Содержание других загрязняющих веществ не превышает нормируемых концентраций. Производительность водоочистной станции составляет 620 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Комплекс очистных сооружений состоит из смесителей, горизонтальных отстойников со встроенными камерами хлопьеобразования, скорых однослойных фильтров.

С момента пуска очистных сооружений в эксплуатацию в 1949 г. для осветления и обесцвечивания воды использовался традиционный реагент — сульфат алюминия. Технология использования коагулянта помимо общих известных недостатков осложнялась транспортными и погрузочно-разгрузочными работами. При обработке воды в холодное время года увеличивался расход реагентов, а поскольку промывные воды сбрасываются в реку без очистки, то повышенные концентрации остаточного алюминия и хлора приводили к существенному загрязнению водоема. Кроме того, высокая коррозионная активность воды и отсутствие на станции стабилизационной обработки влияли на скорость износа оборудования и трубопроводов на станции и в городе.

В течение пяти лет продолжались поиски различных реагентов и проводились исследования по определению наиболее эффективных типов и оптимальных способов их введения в обрабатываемую воду. Лучшим для условий очистки воды р. Иртыша был признан флокулянт марки ВПК-402. После создания устройств по приготовлению раствора флокулянта и его дозированию в 1998 г. началось его производственное применение. Первоначально он использовался в сочетании с коагулянтом, а с лета 1998 г. — самостоятельно. Экономия только на транспортных расходах позволила окупить все затраты на внедрение нового



реагента. Дополнительная экономия получена от сокращения персонала, занятого погрузкой-разгрузкой, эксплуатацией и ремонтом реагентного оборудования. Замедлились процессы коррозии металла и зарастания трубопроводов. Благодаря более качественной очистке воды снизился расход хлора на вторичное хлорирование.

Однако, как уже отмечалось, после проведения дополнительного химического контроля было установлено, что содержание остаточного мономера в товарном продукте составляло иногда величину более гигиенического норматива (до 5 г/кг).

В результате проведенных исследовательских работ по подбору флокулянтов «Водоканал» г. Омска определил, что эффективным является флокулянт марки FLOQUAT FL-45С, выпускаемый компанией «СНФ С.А.» (Москва), которая является филиалом известной французской компании SNF s.a.s. Floerger (Франция).

С июня 2002 г. на водоочистой станции начали использовать FL-45С, являющийся химическим аналогом ВПК-402. Флокулянт представляет собой вязкую жидкость желтоватого цвета с массовой долей основного вещества 40 %. Поставляется в виде геля в полиэтиленовых опломбированных емкостях по 1 т каждая. В нормальных условиях гель не имеет запаха, привкуса, малотоксичен и хорошо растворим в воде. Флокулянт применяется в малых дозах — в сотни раз меньших, чем сульфат алюминия. Дозировка FL-45С ниже также и дозы ВПК-402, при этом сохраняется качество очистки. Расход товарного флокулянта не превышает 100 т в год (вместо 8000 т сульфата алюминия).

В результате семилетнего периода использования катионных флокулянтов установлен наиболее эффективный способ введения реагента. Он вводится на насосной станции первого подъема, где во всасывающую линию насосов с помощью гидрозлеватора подается водный раствор флокулянта. Такой способ дает возможность обеспечить более полное перемешивание флокулянта с исходной водой и экономит реагент в пределах 0,5—0,8 %.

Кроме того, в зависимости от показателей качества речной воды по сезонам года варьируется степень разведения товарного продукта перед введением его в обрабатываемую воду. Так, в первые годы применения на водозаборе «Падь» использовался неразбавленный флокулянт, а на водозаборе «Заря» — в разведении с водой 1:1+1:3. Наблюдения показали, что оптимальными являются соотношения 1:3+1:8 для обоих водозаборов. Подготовка и ввод флокулянта осуществляются с помощью системы автоматического дозирования флокулянта (САДФ), исключающей вероятность нарушения пропорций дозирования.

В настоящее время специалистами МУП «Водоканал» и компании «СНФ С.А.» проводятся совместные лабораторные исследования по возможности замены флокулянта FL-45С на его порошкообразный аналог.

Полиамины используются в качестве реагента для очистки питьевой воды свыше 30 лет. В течение этого времени не было сообщений о неблагоприятных последствиях воздействия реагента при потреблении питьевой воды, поскольку полиДАДМАХ и мономер ДАДМАХ являются малотоксичными соединениями, а в процессах отстаивания и фильтрации из воды устраняется 99,9 % полимера.

Качество реагентов отвечает мировому стандарту ISO 9001. Все полимеры, представленные на российском рынке, имеют гигиеническое заключение Департамента Госсанэпиднадзора Минздрава России и включены в «Перечень материалов и реагентов, разрешенных для применения в хозяйственно-питьевом водоснабжении».

На основании многолетнего опыта эксплуатации органических коагулянтов и выполненных экспериментальных исследований установлены их преимущества перед неорганическими реагентами [57, 249]. Применение полимерных органических коагулянтов обеспечивает:

♦ эффективность в широком диапазоне значений pH, в связи с чем не требуется корректировка pH воды, кроме того, сохраняется pH обрабатываемой воды;

◇ уменьшение количества образующегося осадка, что упрощает эксплуатацию отстойников и снижает нагрузку на сооружения его обезвоживания;

◇ образование осадка с более высоким содержанием твердого вещества, что облегчает процесс обезвоживания;

◇ исключение попадания ионов алюминия в питьевую воду;

◇ среди прочих преимуществ органических коагулянтов по сравнению с минеральными следует отметить также:

- эффективность органических коагулянтов не зависит от температуры воды;

- обеспечение такого же или лучшего результата при значительно меньших (до десяти раз) дозах;

- обеспечение удаления одноклеточных водорослей;

- удобство в приготовлении и использовании;

- увеличение продолжительности фильтроцикла при использовании перед прямоточными фильтрами.

В связи с долгосрочными перспективами работы в России компания «СНФ С.А.» заканчивает строительство завода в Ленинградской области по производству органических коагулянтов и флокулянтов для очистки воды, в связи с чем после его пуска в эксплуатацию будут применяться флокулянты российского производства.

### 8.5. Использование железосодержащих коагулянтов

При очистке воды, кроме в основном применяемых алюминийсодержащих коагулянтов, могут быть использованы коагулянты на основе железа: хлорное железо и сульфаты железа. Эти коагулянты не являются новыми и первые исследования по применению сульфата закиси железа  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (железный купорос) были проведены еще в довоенное время, в 1939—1940 гг. был использован на различных водопроводах хлорированный железный купорос и получены положительные результаты.

Однако производственного применения на водопроводных станциях России железосодержащие коагулянты не нашли. Это, по-видимому, объясняется следующими основными причинами:

- небольшая потребность в коагулянтах сделала их неконкурентоспособными сульфату алюминия;

- трудности поставки в больших количествах;

- хлорное железо очень гигроскопично, поэтому его необходимо транспортировать в железных герметичных бочках, а железный купорос поставляют в деревянных ящиках, бочках или барабанах массой до 120 кг;

- недостатком железного купороса является необходимость иметь для перевода двухвалентного железа в трехвалентное высокий щелочной резерв (более 9), что требует перед его вводом добавления в воду извести или хлора, или обоих реагентов вместе, что усложняет и удорожает стоимость очистки воды;

- растворы солей железа агрессивны, что также усложняет эксплуатацию;

- и, наконец, требуется точная дозировка железосодержащих реагентов, так как ее нарушение приводит к попаданию железа в фильтрат. Известны случаи, когда при положительной эффективности железосодержащих реагентов на конечной стадии очистки требовалось проведение обезжелезивания воды.

Вместе с тем эти коагулянты применяют за рубежом при хороших технико-экономических показателях. Наибольшее распространение получили железосодержащие коагулянты в Финляндии. Л. Пииртола [250] дала подробную информацию по их использованию на водопроводных станциях Финляндии.

Переход от коагулянтов на основе алюминия к коагулянтам на основе железа был связан с повышением требований к содержанию хлорорганических соединений в питьевой воде и необходимости более глубокого удаления органических загрязнений путем повышения эффективности реагентной обработки воды.

Проведенные на станции лабораторные и пилотные испытания на флотационно-фильтровальной установке коагулянта на основе трехвалентного железа РІХ-322 показали следующее:

- доза коагулянта составляла около 60 мг/л, т. е. потребовалась четырехкратная доза коагулянта;
- величина ПО очищенной воды равнялась 5,6—5,8 мгО<sub>2</sub>/л;
- остаточное содержание железа и марганца находилось на уровне, соответственно, 0,015 и 0,01 мг/л;
- для улучшения показателей качества воды требуется фильтрование через активный уголь, обеспечивающее дальнейшее удаление органических веществ.

Так как железосодержащие коагулянты подвергаются гидролизу при более низких значениях рН, чем алюминийсодержащие, их доза при очистке воды от органических загрязнений может быть существенно ниже. Оптимальное значение рН при гидролизе солей трехвалентного железа составляет менее 5, в то время как для алюминия оно достигает 6. Кроме того, процесс гидролиза трехвалентных солей железа протекает быстрее и в меньшей степени зависит от температуры воды.

Одним из недостатков коагулянтов на основе железа является наличие в них в качестве примесей марганца и двухвалентного железа. Поэтому на водопроводных станциях, применяющих железосодержащие коагулянты, вынуждены были использовать сооружения для удаления марганца и двухвалентного железа.

В результате разработки фирмой «Кемира Кемикалс Ой Кемуотер» нового реагента на основе трехвалентного железа, не содержащего марганца, с низкой концентрацией двухвалентного железа, коагуляцию с использованием железосодержащих коагулянтов стали применять более широко.

Несколько примеров использования железосодержащих коагулянтов в городах Финляндии.

**Хельсинки.** Источником водоснабжения города является оз. Пэйянне, вода которого отличается низкими показате-

лями щелочности и мутности, а также невысоким содержанием взвешенных веществ, что характерно для всех поверхностных вод Финляндии. В городе имеются две водоочистные станции: Ванхакаупунки (производительность 108 тыс. м<sup>3</sup>/сут) и Питкекоски (168 тыс. м<sup>3</sup>/сут).

На станции Ванхакаупунки в течение одного года вода очищалась в два этапа сульфатом трехвалентного железа РІХ-322. В результате удаление органических веществ повысилось на 25 % и уменьшилась мутность осветленной воды по сравнению с использованием глинозема, в такой же степени снизилось потребление озона. Кроме того, при применении нового реагента в 2 раза больше стала продолжительность периодов между реактивацией активного угля.

При коагуляции с применением реагента РІХ-322 остаточная концентрация алюминия снизилась практически до уровня исходной воды 0,01 мг/л. Расходы на очистку воды равноценны как при использовании реагента РІХ-322, так и глинозема. Таким образом, замена глинозема сульфатом трехвалентного железа РІХ-322 при озонировании и сорбционной очистке воды экономически выгодна.

**Тампере.** Служба водоснабжения и канализации города производит питьевую воду, используя как поверхностные (64 %) источники, так и подземные (36 %). Водоисточником водопроводной станции Руско (производительность около 36 тыс. м<sup>3</sup>/сут) является оз. Роине.

На станции был испытан коагулянт на основе трехвалентного железа Кемуотер РІХ-322.

Для достижения величины ПО менее 6 мгО<sub>2</sub>/л требовалась доза коагулянта 55 мг/л; величина рН при этом составляла 4,5. В этих же условиях доза СА равнялась 28 мг/л. Величина БПК после очистки уменьшалась с 5,1 до 2 мг/л с РІХ-322 и до 3,0 мг/л с СА. Таким образом, качество воды по содержанию органических веществ при коагуляции реагентом РІХ-322 даже без фильтрования лучше, чем при полном процессе очистки воды методом коагуляции сульфатом алюминия.

Для дальнейшего улучшения показателей очистки воды требуется фильтрование через активный уголь, обеспечи-



вающее более глубокое удаление органических веществ. Остаточное железо удалялось на песчаном фильтре практически до нуля, концентрация марганца после флотации составляла  $<0,01$  мг/л.

**Эспоо.** Производительность водопроводной станции составляет 50 тыс. м<sup>3</sup>/сут, источником исходной воды является оз. Нууксион Питкеярви.

На станции водоснабжения Демман были проведены испытания по применению коагулянта Кемуотер РАХ-14 на основе полиалюмохлоридов, одновременно в одной из флотационных установок был использован коагулянт Кемуотер РІХ-322 на основе трехвалентного железа. Дозы реагентов составляли: полиалюмохлорида — 60 мг/л и трехвалентного железа — 100 мг/л. Величина рН для коагуляции алюминием составляла 5,8—6,1, для коагуляции железом 4,5—5,0. Анионный полимер Феннопол А321 применялся вместе с обоими коагулянтами. Заданное значение для перманганатной окисляемости составило 8 мг/л, остаточное содержание железа было ниже заданного значения 0,1 мг/л. В настоящее время станция применяет коагулянт Кемуотер РІХ-322.

**Савонлинна.** Служба водоснабжения и канализации города эксплуатирует очистную станцию питьевой воды Веересаари производительностью около 4,5 тыс. м<sup>3</sup>/сут, источником исходной воды является оз. Саимаа.

Водоочистная станция Веересаари перешла от применения сульфата алюминия и полиалюмохлорида Кемуотер РАХ-18 к использованию коагулянта на основе трехвалентного железа Кемуотер РІХ-322, что позволило улучшить процесс удаления органических веществ. При значении ПО в исходной воде, изменяющейся в диапазоне 30—34 мгО<sub>2</sub>/л, этот показатель в очищенной воде составил 5,2 мгО<sub>2</sub>/л.

Еще один интересный момент, связанный с применением железосодержащих коагулянтов, заключается в том, что при их применении осадок водопроводных станций направлялся на станцию очистки сточных вод по системе канализации, что позволило получить дополнительные преимущества. В системе канализации трехвалентное железо

препятствует образованию сульфидов водорода посредством их осаждения в виде сульфида трехвалентного железа, а в результате отсутствия зловонного сульфида водорода не образуется и коррозионная серная кислота.

На станциях очистки сточных вод гидроокись трехвалентного железа действует как предварительный осадитель, ускоряя удаление соединений фосфорных и органических веществ. Железо в осадке сточных вод улучшает его осаждение, сбраживание, обезвоживание и компостирование. Осадки водоочистных станций с сульфатом трехвалентного железа показали также большую способность к обезвоживанию, чем осадки, образованные при коагуляции алюминием.

На основании представленных данных Л. Пииртола делает следующие выводы:

- переход от алюминиевых коагулянтов к железосодержащим вызван необходимостью исключить попадание алюминия в питьевую воду и обеспечить нормативное содержание алюминия и железа в питьевой воде, которое должно составлять не более 0,2 мг/л;
- применение коагулянтов на основе железа позволило существенно уменьшить концентрацию органических веществ и снизить значения общего органического углерода ниже 2 мг/л.

Данные, представленные по результатам использования железосодержащих коагулянтов в Финляндии, относятся к 2001 г., и, возможно, за прошедшее время отношение к их применению изменилось.

В связи с применением железосодержащих коагулянтов представляет интерес информация компании «Дегремон» [251], в которой говорится о применении хлористого железа на водопроводной станции в г. Сиднее (Австралия). Источником водоснабжения станции служит смешанная вода трех водохранилищ, качество воды в которых характеризуется мутностью в диапазоне 0,5—25 мг/л и цветностью от 5 до 50 град в присутствии железа и марганца. Производительность станции принята около 2,2 млн м<sup>3</sup>/сут с перспективой развития до 4,3 млн м<sup>3</sup>/сут.

Очистка воды осуществляется по следующей технологической схеме:

- двухступенное коагулирование сначала хлорным железом, затем катионным полимером с соответствующей корректировкой величины pH путем введения извести;
- введение синтетического органического флокулянта — анионного полимера;
- высокоскоростное фильтрование на специально модифицированных однослойных песчаных фильтрах AQUAZUR B;
- корректировка pH введением известкового молока;
- постобеззараживание хлором;
- введение фторсиликата натрия;
- введение хлорамина перед подачей питьевой воды в распределительную сеть.

На основании результатов моделирования и пилотных испытаний в целях решения задачи ступенчатого введения в поток воды и перемешивания необходимого набора реагентов была разработана специальная система, сочетающая в себе каналы переменного сечения и подвижные устройства с диффузорами для регулируемого (по ходу потока) и пространственного (во всему сечению потока) введения реагентов в обрабатываемую воду, которая обеспечивала оперативное управление режимами обработки с учетом изменения качества исходной воды.

По принятой схеме была построена и с 1996 г. эксплуатируется станция, обеспечивающая основные характеристики питьевой воды: мутность —  $< 0,045$  мг/л, цветность —  $< 4$  град, содержание железа — до  $< 0,015$  мг/л, марганца — до  $< 0,005$  мг/л, тригалометанов — не более 0,03 мг/л.

На одном из объектов авторами был испытан железосодержащий коагулянт. Сезонные исследования по очистке воды р. Суры показали, что коагуляция воды СА, ОХА и другими алюминиевыми коагулянтами с предварительным озонированием обеспечивает очистку речной воды до требований СанПиН по мутности, цветности, перманганатной окисляемости, железу, марганцу, алюминию. Существенно снижается концентрация нефтепродуктов.

Однако для сурской воды характерны повышенные концентрации таких тяжелых металлов, как марганец, свинец и никель. При очистке воды концентрация свинца и никеля не изменяется и превышает установленные нормативы.

Марганец в концентрациях 0,26 мг/л удалялся только озонированием. Применение сульфата железа дозой 15 мг/л с введением подщелачивающих реагентов обеспечило снижение концентрации марганца с 0,25 до 0,016—0,02 мг/л (рис. 8.5, а).

Применение коагулянта сульфата железа в дозах от 15 до 20 мг/л по  $Fe_2O_3$  обеспечило снижение концентрации никеля с 0,18 до 0,08—0,1 мг/л, а концентрации свинца — с 0,047 до 0,008—0,01 мг/л (рис. 8.5, б).

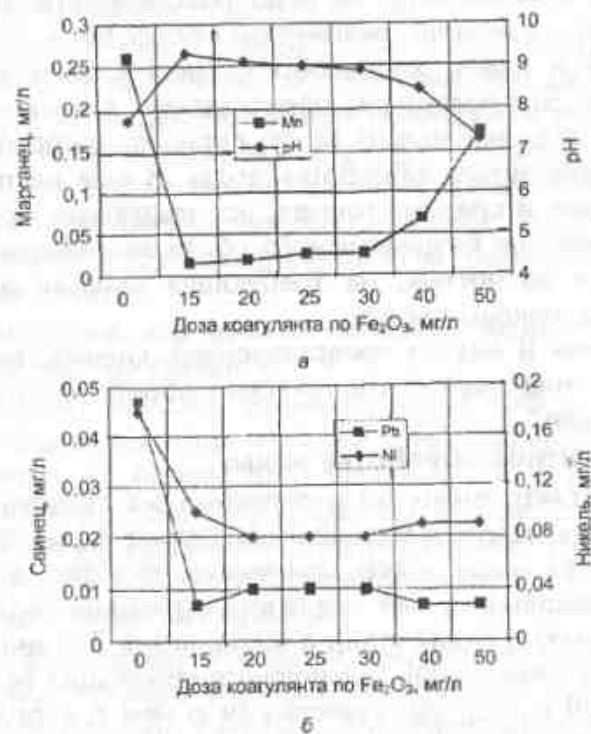


Рис. 8.5. Эффективность удаления ионов тяжелых металлов при обработке воды сульфатом железа: а — марганца; б — никеля и свинца

Таким образом, первые положительные результаты по применению сульфата железа при удалении тяжелых металлов позволяют нам продолжить его испытания.

### 8.6. Применение реагентных методов очистки на зарубежных водопроводных станциях

В некоторых литературных источниках, в частности, в книгах Ф. А. Шевелева и Г. А. Орлова [252, 253], Я. Д. Раппорта и Ф. С. Абрамовича [254], дается детальная характеристика водоснабжения многих городов мира с историческими справками, описанием систем водозабора, очистки и распределения воды. Мы сделали краткую выборку только технологии очистки воды на водопроводных станциях, уделяя основное внимание реагентной обработке и устройству смесителей и камер хлопьеобразования с механическими мешалками. Эти материалы представлены в приложении 1, в котором указаны только те объекты, на которых осуществляется реагентная обработка воды. В нем не представлены крупные и средние города, использующие подземные воды, требующие безреагентного обезжелезивания или базирующиеся на чистых, не требующих очистки артезианских или родниковых водах.

Обобщение и анализ представленных данных, выполненный без специальной статистической обработки, показывают следующее.

#### По реагентной обработке воды:

◊ Из рассмотренных 60 водопроводных станций практически на всех используется коагулирование воды. В качестве коагулянта чаще всего применяют сульфат алюминия (на 47 станциях), реже железосодержащие коагулянты (на 8 станциях) и оксихлорид алюминия (на 2 станциях). Но поскольку в приложении приведена информация по состоянию до 1990 г., то, как известно (и о чем говорилось выше), в последние годы широко используются оксихлорид алюминия и коагулянты на основе железа.

◊ Большое внимание за рубежом уделяется корректировке рН воды, которая осуществляется порой 2 раза (в начале и в конце технологической схемы) путем введения известкового молока (на 27 станциях), соды (на 7 станциях), едкого натра (на 2 станциях) или серной кислоты (на 2 станциях). Корректировка рН и изменение щелочности путем подщелачивания воды приводят к существенному технологическому эффекту и обеспечивают повышение качества воды, а стабилизационная обработка позволяет уменьшить коррозионные процессы и повышает срок службы водопроводных сетей и арматуры.

◊ В периоды кратковременного ухудшения качества воды водоисточников широко применяется ПАУ (на 16 водопроводных станциях).

◊ Смешение воды с реагентами и хлопьеобразование, как правило, осуществляются с применением механических мешалок. В 14 из рассмотренных примеров используют быстрое смешение с помощью лопастных мешалок в смесителях и в 12 — в камерах хлопьеобразования. К настоящему времени объем применения механических мешалок значительно вырос, и они используются на большинстве водопроводных станций.

**В технологии подготовки питьевой воды** следует отметить следующие моменты:

◊ Обращает на себя внимание тщательность предварительной обработки воды, которая осуществляется зачастую одновременно с процессом самоочищения в прибрежных (наливных) водохранилищах, причем в ряде случаев вода подвергается искусственной аэрации в целях интенсификации естественной биологической очистки и во избежание чрезмерного развития планктона.

◊ Для фильтрования воды на ряде водоочистных станций, преимущественно в Европе, используют не только скорые, но и медленные фильтры. Это объясняется тем, что:

• климатические условия позволяют сооружать эти фильтры без дополнительного покрытия, что приводит к



значительному их удешевлению, если учесть занимаемую ими большую площадь;

- для декольматации песчаного слоя применяют различные механизмы, заменившие ручной труд;

- и, наконец, медленные фильтры обеспечивают эффективное удаление органических веществ.

◊ При очистке поверхностных источников водоснабжения в целях удаления органических загрязнений за рубежом широко применяют озонирование воды, причем его вводят в 1—3 точках (на 11 станциях), а также совместно с сорбционными угольными фильтрами.

◊ В конструкциях очистных сооружений используются:

- осветлители со взвешенным осадком различного типа; осветлители и горизонтальные отстойники оборудуются тонкослойными модулями (на 7 станциях);

- фильтры применяются с колпачковым дренажем, водовоздушной промывкой и низким отводом промывной воды (на 12 станциях);

- для обеззараживания воды преимущественно используется жидкий хлор, иногда в сочетании с аммиаком. В ряде случаев применяют электролитический гипохлорит натрия и диоксид хлора, приготовленные на месте применения.

Естественно, указанные объемы применения современных методов и конструкций сооружений носят условный характер, и, как уже отмечалось, к настоящему времени область их использования значительно увеличилась.

### 8.7. Применение современных реагентов и технологий на водопроводных станциях России

Специалистами производственных организаций постоянно проводится работа по применению и выбору наиболее эффективных коагулянтов и флокулянтов.

Как уже отмечалось ранее, на Восточной и Северной водопроводных станциях Москвы используются два реагента: ОХА и СА, имеются сообщения о производственном при-

менении современных коагулянтов и флокулянтов на других водопроводных станциях (см. разделы 8.1—8.4).

Ежегодно Госстрой России, а теперь Агентство по строительству и жилищно-коммунальному хозяйству проводит всероссийский конкурс на лучшую организацию сферы жилищно-коммунального хозяйства по эффективности работы в новых экономических условиях. Участвующие в конкурсе водоканалы дают сведения по всем передовым техническим решениям и новым технологиям, используемым в системе водопроводно-канализационного хозяйства.

Анализ работ, выполненных за 6 лет (с 1999 по 2004 г.), в водоканалах по внедрению современных реагентов представлен в приложении 2.

Приведенные данные свидетельствуют о широкомасштабности применения новых реагентов в системах водоснабжения на водопроводных станциях. Как видно, ведется постоянный поиск как в лабораторных, так и в производственных условиях применения усовершенствованных приемов реагентной обработки воды, модернизируются оборудование и системы дозирования реагентов.

Что же касается применения новых технологий очистки воды и применения современных решений, то в качестве примера рассмотрим три водопроводные станции Москвы.

На *Рублевской водопроводной станции* принят в эксплуатацию IV блок очистных сооружений производительностью 260 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Технология очистки воды на новом блоке предусматривает ее обработку традиционными реагентами (хлор, коагулянт, порошкообразный уголь) в смесителе усовершенствованной конструкции; осветление воды в горизонтальных отстойниках, оборудованных тонкослойными модулями; озонирование воды и фильтрование на песчаных, а затем на сорбционных фильтрах, загруженных гранулированным активным углем.

При расширении *Западной водопроводной станции* также намечено использование окислительно-сорбционного метода очистки. Ведется проектирование *Юго-Западной водопроводной станции*, на которой предполагается при-

менение озоновой технологии в дополнение к традиционной схеме подготовки воды, предусматривающей первичное и постозонирование.

Кроме того, на ЮЗВС в технологической схеме очистки воды будут предусмотрены: отстойники с тонкослойными элементами, смесители и камеры хлопьеобразования с механическими мешалками и на заключительном этапе очистки — использование мембранного метода с применением ультрафильтрационных мембран. Реагентная обработка предусматривает возможность предварительного хлорирования, введение коагулянта и флокулянта, ПАУ и на последней стадии — хлораммонизацию воды.

Как будет показано далее в главе 12, в ряду современных передовых водопроводных станций России будет также и Окский водозабор г. Калуги.

## **Глава 9. Реагентное хозяйство, приготовление и дозирование реагентов в обрабатываемую воду**

### **9.1. Реагентное хозяйство на водопроводных станциях, приготовление и хранение коагулянтов**

На большинстве водоочистных сооружений технологические схемы очистки поверхностных вод включают в себя их обработку химическими реагентами, основным из которых по объему потребления и эффективности является коагулянт. Коагулянты, как известно, в зависимости от вида относятся по степени воздействия на человека и окружающую среду к веществам 3-го и 4-го классов опасности. Поэтому на станциях создаются специальные участки или цеха реагентного хозяйства, которые располагаются, как правило, в отдельных изолированных помещениях или отдельно стоящих зданиях. Реагентное хозяйство имеет в основном отделение приема и хранения товарного коагулянта, отделение приготовления крепкого раствора коагулянта, отделение «мокрого» хранения, а также узлы приготовления рабочих растворов коагулянта, флокулянта и оборудование для дозирования их в обрабатываемую воду.

Коагулянты поставляются на водопроводные очистные сооружения в различном виде: крупных кусков неправильной формы, гранул, порошка и растворов. Хранение реагентов в сухом виде осуществляется навалом или в полипропиленовых мешках различной вместимости в отдельном складе, рассчитываемом на 5—30-суточное хранение. Из

склада они периодически направляются в растворные баки для приготовления растворов требуемой концентрации по оксиду алюминия или железа.

В последние годы, когда производители стали поставлять на водопроводные станции коагулянты также в виде растворов, было внедрено «мокрое» хранение коагулянтов. В этом случае растворы коагулянтов сливаются в резервуары хранения или непосредственно в растворные баки.

Устройство реagentного хозяйства и его элементов приводится в большинстве учебных пособий [6—13, 329—331], регламентируется СНиП [133] и дается во многих книгах [255—257], материалах по эксплуатации и наладке очистных сооружений. Интересный обзор выполнен В. А. Орловым и др. [258] по вопросу дозирования реагентов, из которого нами ниже приводятся некоторые общие сведения.

На рис. 9.1 представлена типовая высотная схема приготовления двух основных реагентов (сульфата алюминия и ПАА). Растворные баки представляют собой прямоугольные в плане резервуары, снабженные колосниковыми решетками с прозорами 20 мм для поддержания определенного уровня слоя коагулянта. Для интенсификации растворения коагулянтов обычно применяют барботирование воздухом через систему перфорированных трубопроводов, смонтированных у дна баков под колосниковыми решетками, циркуляцию раствора насосом или механические мешалки. Обычная концентрация раствора коагулянта в растворных баках составляет 10—15 % по  $Al_2O_3$  при использовании полиоксихлорида алюминия и 5—7 % по  $Al_2O_3$  — для сульфата алюминия.

Раствор коагулянта из растворных баков поступает в баки-хранилища. Растворные баки и баки-хранилища выполняются с внутренней антикоррозионной футеровкой. Из баков-хранилищ концентрированный раствор поступает в расходные баки, где разбавляется водопроводной водой до рабочей концентрации с содержанием  $Al_2O_3$  — 1—5 %. Из расходных баков рабочий раствор коагулянта подается в обрабатываемую воду насосами-дозаторами.

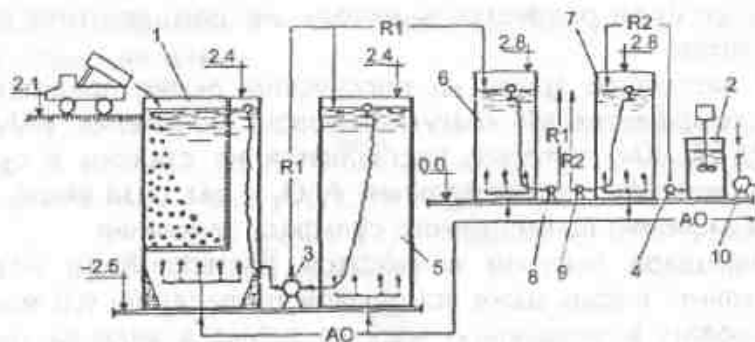


Рис. 9.1. Технологическая высотная схема приготовления коагулянта и флокулянта:

R1, R2 — трубопроводы раствора соответственно коагулянта и флокулянта; АО — воздуховод; 1, 2 — растворные баки соответственно коагулянта и флокулянта; 3, 4 — насосы перекачки растворов соответственно коагулянта и флокулянта; 5 — бак-хранилище; 6, 7 — расходные баки соответственно коагулянта и флокулянта; 8, 9 — насосы-дозаторы; 10 — воздуходувка

При применении для подщелачивания и стабилизации воды извести применяется технологическая схема типовой установки по известкованию воды (рис. 9.2).

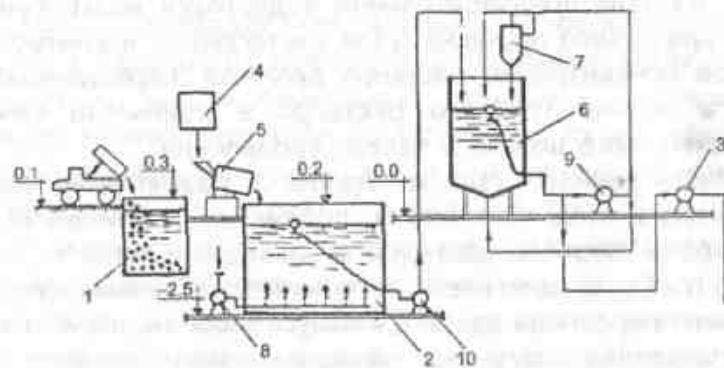


Рис. 9.2. Технологическая схема типовой установки по известкованию воды:

1 — бак известкового теста; 2 — бак крепкого известкового молока; 3 — насос-дозатор; 4 — бункер известкового теста; 5 — известегасилка; 6 — гидромешалка; 7 — гидроциклон; 8 — воздуходувка; 9 — циркуляционный насос; 10 — насос перекачки известкового молока



Выше были рассмотрены методы мокрого приготовления реагентов.

В настоящее время на российском рынке представлен высокоэффективный коагулянт нового поколения «АКВА-АУРАТ™ 30», который поставляется на станции в сухом виде (порошок) с содержанием  $Al_2O_3$  в два раза выше, чем у традиционно применяемого сульфата алюминия.

Благодаря быстрой и высокой растворимости нового коагулянта в воде даже при низкой температуре его можно дозировать в очищаемую воду не только в виде раствора, но и непосредственно в виде товарного порошка. Приготовление рабочего раствора коагулянта «АКВА-АУРАТ™ 30» может быть осуществлено обычным способом путем равномерной ссыпки его из мягких контейнеров «биг-бег» в барботируемую воздухом воду. При этом значительно сокращаются энерго- и трудозатраты. На рынке представлены также готовые стандартные узлы для приготовления растворов из порошка «АКВА-АУРАТ™ 30». Наиболее технологичными являются растворные узлы фирм TOMAL AB (Туре Poly Rex) (Швеция) и Ну Хо Оу (Финляндия). Автоматический растворный узел фирмы Ну Хо Оу (рис. 9.3) состоит из узла предварительной подготовки воды, бункера-дозатора сухого порошка, узла растворения и контроля заданной концентрации раствора реагента, перекачивающего насоса подачи готового раствора в приемную емкость, электрического шкафа и панели управления.

Работа данного узла от процесса размещения мягкого контейнера типа «биг-бег» с продуктом в бункер-дозатор до подачи готового раствора в расходную емкость осуществляется в автоматическом режиме. Задачами обслуживающего персонала являются запуск узла кнопкой «Старт», своевременная загрузка порошка коагулянта «АКВА-АУРАТ™ 30» в бункер и по окончании процесса приготовления раствора заданной концентрации запуск перекачивающего насоса и наполнение рабочим раствором коагулянта расходного бака. Для автоматического определения концентрации приготовленного раствора коагулянта в лабораторных условиях строят калибровочный график зави-

симости содержания коагулянта (м.д.  $Al_2O_3$ ) в растворе от его проводимости.



Рис. 9.3. Гидравлическая схема узла приготовления раствора коагулянта

Естественно, приоритет принадлежит сухому дозированию, так как отпадает необходимость в сооружении растворных и расходных емкостей и технологических трубопроводов с антикоррозионной защитой. А поскольку растворы многих реагентов коррозионны, то это надо учитывать при выборе материала для строительства резервуаров: предпочтение следует отдавать бетону, стали с эпоксидным или эбонитовым покрытием, полимерам (поливинилхлориду, полиэтилену, полиизобутилену) и т. п.

В качестве примера на рис. 9.4. приведена технологическая схема растворения и дозирования коагулянта в сухом виде «ФЕРИКС-3» [250, 266]. Данная схема может быть использована также при обработке воды коагулянтот отечественного производства — полиоксихлоридом алюминия «АКВА-АУРАТ™ 30».

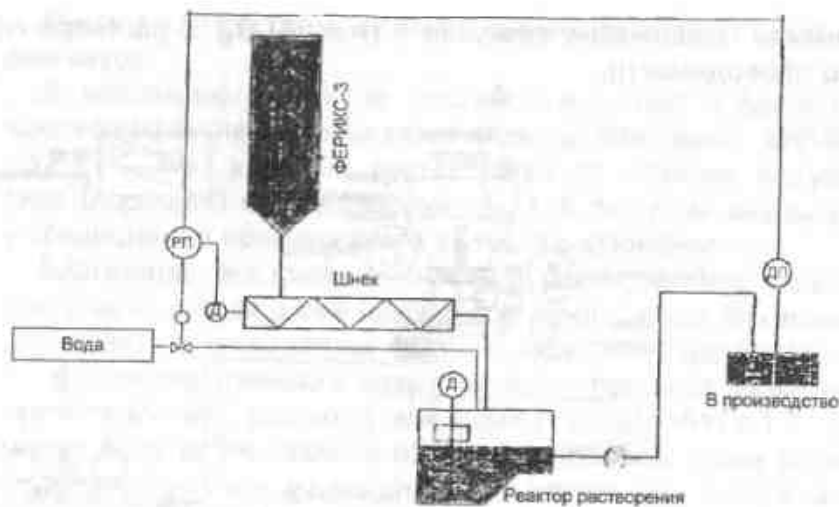


Рис. 9.4. Технологическая схема растворения и дозирования «ФЕРИКС-3»:

РП — регулятор потока; Д — двигатель; ДП — датчик потока

## 9.2. Приготовление флокулянтов

Для приготовления раствора флокулянта полиакриламида применяют в большинстве случаев установки УРП-2М и УРП-3 (рис. 9.5), выпускаемые ранее московским заводом «Коммунальник» [259, 260].

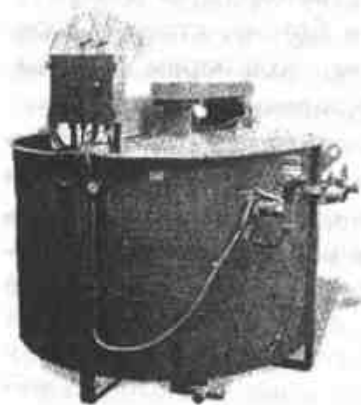


Рис. 9.5. Установка для приготовления раствора полиакриламида УРП-3 (завод «Коммунальник»)

Технический полиакриламид — прозрачный, бесцветный или желто-коричневый, вязкий и тягучий гель, содержащий 7—9 % полимера. Для практического применения наиболее удобно пользоваться рабочим раствором полиакриламида с концентрацией от 0,1 до 1 % в зависимости от производительности станции или водоочистой установки.

Данные установки позволяют получить в короткое время однородный по составу рабочий раствор полиакриламида благодаря перемешиванию, осуществляемому как крыльчаткой, так и насосом, работающим в замкнутом цикле.

Установки комплектуются дозатором постоянного расхода и эжектором, необходимым для смешивания раствора полиакриламида с обрабатываемой водой.

Установка УРП-3 (или УРП-2М) размещается, как правило, в здании реагентного хозяйства. Характеристика установок представлена в табл. 9.1.

Таблица 9.1

Технические характеристики УРП-3 и УРП-2М

Наименование параметров	УРП-3	УРП-2М
Производительность, м <sup>3</sup> /сут, не менее	16,8	16,6
Емкость бака растворного узла, л, не менее	2000	940
Количество раствора в баке, л, не менее	1400	780
Время перемешивания, мин, не более	25—40	25—40
Оптимальная температура растворения, °С, не более	40—50	40—50
Потребляемая мощность, кВт	7	3
Габаритные размеры, мм, не более	2390x2200x1710	1400x1200x1200
Масса, кг	440	—

Органические флокулянты фирмы СНФ в жидком виде серии FLOQUAT™ легко растворяются в любых концентрациях, удобных для применения. Специальных операций

для разбавления или перемешивания не требуется. Большинство этих полимеров можно разводить в баках со встроенной стационарной мешалкой. Рекомендуется разбавлять продукт до концентрации 1—2 % при его использовании для очистки воды, поскольку при этом полимер более эффективно распределяется в установке и уменьшается опасность локальной передозировки.

Порошкообразные полимеры серии ELOPAM™ имеют некоторые особенности, которые требуют особой осторожности при приготовлении растворов, чтобы обеспечить полное растворение без потери свойств [261]:

- частицы порошкообразного полимера имеют тенденцию слипаться при смачивании, если они плохо диспергированы;
- эти полимеры могут механически разрушаться при интенсивном размешивании;
- полученные растворы, даже при разведении, крайне вязки.

Полное смачивание отдельных частиц — наиболее важное требование при приготовлении растворов из порошкообразного полимера.

Для приготовления сухих флокулянтов служат диспергаторы аспираторного типа, которые обеспечивают хорошее смачивание частиц полимерного порошка. Эти устройства вводят твердые частицы полимера в воду, используя вакуум, созданный давлением воды. Смоченный полимер вводится в растворный бак с высокоскоростной мешалкой, способной перемешивать его содержимое при скоростях до 400 об/мин. Перемешивание раствора должно производиться до полного растворения. Для достижения лучших результатов растворы следует готовить в наибольшей концентрации, а затем доводить до нужной рабочей концентрации при введении в очищаемую воду. При этом следует избегать использования высокоскоростных мешалок с частотой вращения до 900 об/мин, дезинтеграторов и центро-

бежных насосов, чтобы не допустить сильного измельчения, которое может разрушить полимерные цепи.

Фирма «Сибя Шпециалитетенхеми Лампертхайм ГмбХ» имеет в наличии эффективные аппараты для растворения, способствующие приготовлению растворов с гомогенным распределением полимеров [262].

Оптимальная схема установки для приготовления флокулянта «Magnafloc» включает в себя:

- установку растворения типа ФАБ (концентрация приготовленного раствора до 1 %). Один цикл (оптимальная температура воды 15—25 °С) составляет 45—60 мин. Порошок дозируется в течение заданного времени из бункера шнеком. Специальный смеситель позволяет осуществить эффективное смачивание частиц водой и предотвращение образования «комков». Мешалка, имеющая оптимальную скорость вращения 200—400 об/мин, производит приготовление раствора. Шкафы управления всех установок оснащены логической компьютерной программой, контролирующей и управляющей всеми узлами установок;
- бак-накопитель концентрированного раствора объемом от 1 до 7 м<sup>3</sup> в зависимости от производительности установки ФАБ и необходимого количества дозируемого раствора;
- систему разбавления, состоящую из шкафа управления холостого хода с возможностью подключения до трех поплавковых уровней, трубопроводов разбавления концентрированного раствора из легированной стали, насоса-дозатора различной производительности, расходомеров поплавковых или индуктивных и рамы для крепления всех агрегатов из обычной или легированной стали. Систем разбавления может быть несколько в зависимости от количества точек дозирования. Каждой точке дозирования соответствует одна система разбавления.

Данные установки в основном сконструированы для автоматического режима, однако они могут управляться и в ручном режиме. Принципиальная схема установки ФАБ представлена на рис. 9.6.



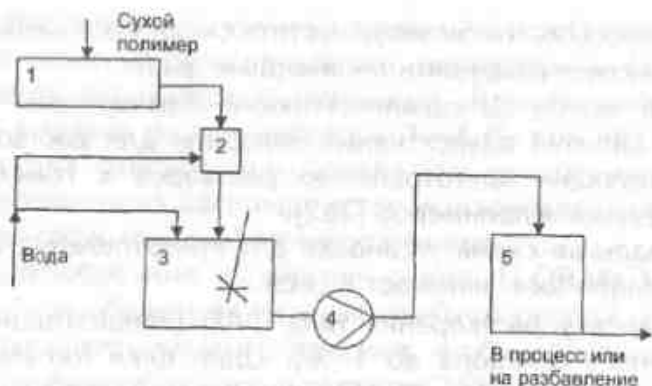


Рис. 9.6. Принципиальная схема установки ФАБ:  
1 — бункер для сухого флокулянта; 2 — диспергатор; 3 — бак приготовления; 4 — трансферный насос; 5 — бак-накопитель

Установки ФАБ работают на предприятиях России и стран СНГ более 10 лет.

Фирма «Дегусса Евразия» [263] выпускает и предлагает для приготовления и дозирования полиэлектролита Праестол установку POLYDOS 412, принципиальная схема которой показана на рис. 9.7. Производительность установки от 1000 до 10000 л/ч флокулянта.

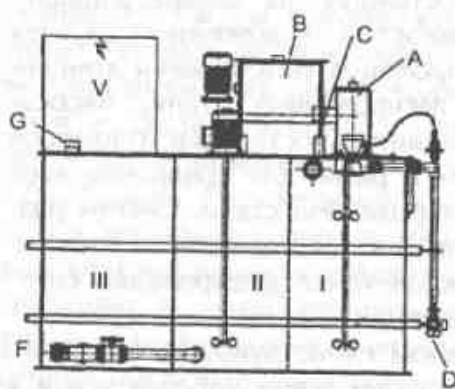


Рис. 9.7. Принципиальная схема установки POLYDOS 412 фирмы «Дегусса Евразия»:  
I — камера разбавления;  
II — камера созревания;  
III — камера отбора;  
A — струйный смеситель;  
B — дозатор сухого вещества с уровнемером; C — обогреваемый дозирующий выход;  
D — водная аппаратура;  
F — дозирующий и сливной трубопровод; G — ультразвуковой сенсор; V — шкаф управления

Для дозирования рабочих растворов флокулянта Праестол рекомендуется применять насосы-дозаторы марки ALLWEILER, например, типа ANB P.112.2-E21 производительностью 700 л/ч или ANB JE 100-1E/011 производительностью 5000 л/ч.

### 9.3. Дозирование реагентов

Совершенствование реагентного метода обработки воды и, в свою очередь, эффективность технологических процессов водоподготовки, в которых используются реагентные методы обработки природной воды, во многом зависит от оптимальных технологических схем и аппаратуры, обеспечивающих надежность, быстродействие и точность регламентации расхода растворов (суспензий) реагентов или их весовой дозы. Необходимо заметить, что избыток или недостаток вносимого в воду реагента в значительной степени отражается на эффективности технологического процесса, вплоть до его полного нарушения.

Правильный выбор рабочего диапазона дозы коагулянта, точное и равномерное его дозирование в очищаемую воду являются особо важными моментами, так как при недостатке коагулянта плохие результаты очистки воды будут связаны с неполной дестабилизацией коллоидных частиц загрязнений, при избытке — с новой стабилизацией частиц вследствие их перезарядки. В результате очищаемая вода будет иметь повышенную концентрацию алюминия, превышающую требования нормативной документации.

Поэтому независимо от вида коагулянта для обеспечения стабильного и эффективного режима коагуляции необходимо рабочие растворы, особенно концентрированные, подавать в обрабатываемую воду насосами-дозаторами высокой точности и надежности, например марок «Грундфос», «Хюксо», «Милтон-Рат» или «Проминент». На очистных сооружениях, не имеющих возможности установить дозирующие насосы требуемой точности дозирования, для повышения точности и равномерности подачи выбранной до-

зы коагулянта необходимо применять разбавленные рабочие растворы с содержанием  $Al_2O_3$  от 1 до 3 %.

Контроль за точностью дозирования реагентов рекомендуется в этом случае осуществлять исходя из определения времени вытекания  $\tau$  (с/л) растворов из дозаторов:

$$\tau = \frac{10 \cdot C_p \cdot \rho_p \cdot 3600}{D_k Q},$$

где  $\rho_p$  — плотность раствора, г/см<sup>3</sup>;  
 $C_p$  — концентрация  $Al_2O_3$  в растворе, %;  
 $D_k$  — доза коагулянта, мг/л;  
 $Q$  — часовой расход обрабатываемой воды, м<sup>3</sup>/ч;  
 10 — постоянная величина пересчета процентной концентрации;

3600 — число секунд в одном часе.

Тогда расход рабочего раствора  $Q_p$  (л/с) определится как обратная величина времени вытекания.

$$Q_p = \frac{1}{\tau}.$$

В настоящее время на некоторых водопроводных станциях дозирование реагента **осуществляется объемным способом**; при поддержании постоянного уровня реагента в баке его подача в обрабатываемую воду определяется измерением объема раствора. При непостоянстве уровня коагулянта в баке его расход становится неравномерным.

Это решение воплощено в дозаторах сливного типа, в дозаторах со свободным истечением [258], в которых уровень реагента регулируется поплавком в баке.

На многих водопроводных станциях до настоящего времени применяют **автоматические дозаторы пропорционально дозирования**; одним из наиболее широко распространенных устройств является дозатор системы В. Л. Чейшвили и И. Л. Крымского (рис. 9.8). Действие дозатора

основано на использовании разности электропроводности еще не коагулированной воды и этой же воды после введения в нее коагулянта. Однако такие дозаторы обладают существенным недостатком: невозможностью оперативного воздействия на процесс дозирования при резком изменении расхода обрабатываемой воды.

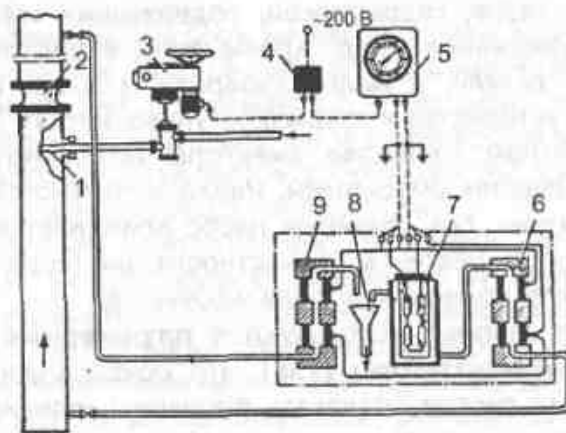


Рис. 9.8. Схема кондуктометрического дозатора системы Чейшвили—Крымского:

- 1 — подвод раствора коагулянта; 2 — шайбовый смеситель;  
 3 — кран, регулирующий подачу коагулянта; 4 — магнитный пускатель;  
 5 — измерительный прибор; 6, 9 — ячейки некоагулированной и коагулированной воды;  
 7 — компенсационная ячейка;  
 8 — сливная воронка

В последние годы в отечественной и зарубежной практике для дозирования реагентов используют **плунжерные и винтовые насосы-дозаторы**, получившие наибольшее распространение.

**Винтовые насосы** позволяют перекачивать растворы (суспензии) с содержанием механических примесей до 5 % по массе и с вязкостью до 1 тыс. см<sup>2</sup>/с. Насосы выпускаются как отечественной промышленностью, так и рядом зарубежных фирм: «Сигма» (ЧССР), «Борнеман» (ФРГ) [264, 265] и др. Фирма «Сарлин» выпускает как отдельные

насосы, так и компактные насосные установки заводского изготовления [267].

**Струйные насосы**, в частности эжекторы и гидроэлеваторы, нашли применение в различных узлах технологических схем водоподготовки благодаря ряду преимуществ. В отличие от других насосов они обладают высокой самовсасывающей способностью, возможностью перекачки жидкостей, газов, гидросмесей, содержащих твердые примеси, и агрессивных сред. Кроме того, в них отсутствуют подвижные детали, а малые габариты и масса позволяют размещать устройства в труднодоступных местах [268].

В реagentном хозяйстве эжекторы используются в основном в качестве смесителей. Редко встречаются технологические схемы, где струйный насос применяется как смеситель-дозатор реагента, в частности раствора сульфата алюминия или полиоксихлорида алюминия.

Наиболее широко используются **плунжерные и поршневые насосы-дозаторы** [258], что обусловлено возможностью таких систем создавать высокое давление нагнетания. Основным назначением дозирующих поршневых и плунжерных насосов является обеспечение среднего значения регламентированного расхода растворов (суспензий) в непрерывных технологических процессах дозирования. Характерной особенностью насосов-дозаторов является то, что в их исполнительных устройствах рационально сочетаются функции отмеривания доз и создания давлений. Множество модификаций исполнительных устройств насосов-дозаторов с различными плунжерными и поршневыми головками позволяет обеспечить широкий диапазон производительности (0,05—5000 дм<sup>3</sup>/ч) и напоров.

Плунжерные и поршневые насосы-дозаторы поставляются рядом зарубежных фирм: Milton Roy (США), DKM (Франция), Lewa и Bran-Lubbe (ФРГ). К сожалению, производство многих насосов-дозаторов осталось в основном в странах ближнего зарубежья: электроприводные возвратно-поступательные насосы (поршневые и плунжерные) выпускаются Свесским насосным и Лебедянским машиностроительным заводами, объединением «Ригахиммаш». Из отече-

ственных производителей можно отметить «Саратовнефтемаш» и ЗАО «Дозировочные насосы и системы» [269].

ЗАО «НФС» поставляет различные типы насосов под марками НД, НДР, НГ, НДГР, НФЗ, которые отличаются конструктивными особенностями. Фирма «Гидромашсервис» [270] выпускает одноплунжерные насосы типа НД с регулированием подачи раствора вручную при остановленном насосе.

Из зарубежных насосов на сегодняшнем рынке насосов следует отметить мембранные и поршневые дозирующие насосы Pro Minent (Германия) [271], которые выпускаются как с электромеханическим, так и с электромагнитным приводом. Насосы поставляются с большим набором измерительной и контролирующей аппаратуры.

Регулируемые контроллером параметры обеспечивают применение регулирующего параметра от качества измеряемого показателя (рН, электролитическая производительность и др.), а также пропорционально расходу воды.

Современные технологии и оборудование дозирования и смешения предлагает французская компания Losapro Nilton Roy [272].

В качестве примера приведем также насосы-дозаторы фирмы Alldos Jurby Wefertech (Лондон) [273] (рис. 9.9).

Еще одна группа насосов, о которых частично шла речь выше, — это **мембранные насосы-дозаторы**, обладающие определенными конструктивными особенностями, отличающими их от других типов насосов для дозирования. Преимущество мембранных насосов заключается в том, что в них отсутствуют сальники, требующие постоянной профилактики, а движущимися деталями, соприкасающимися с жидкостью, являются лишь мембрана и клапаны. Так как мембрана надежно отделяет рабочую камеру насоса от приводной, подобными насосами можно дозировать суспензии, токсичные и агрессивные растворы. В зависимости от вида привода мембранные насосы делятся на электромагнитные, гидравлические, пневматические и механические. Высокую оценку на зарубежных станциях водоподготовки получили универсальные мембранные насосы-



дозаторы с электромеханическим приводом «Фильтер» (Финляндия), изготавливаемые из поливинилхлорида [274].

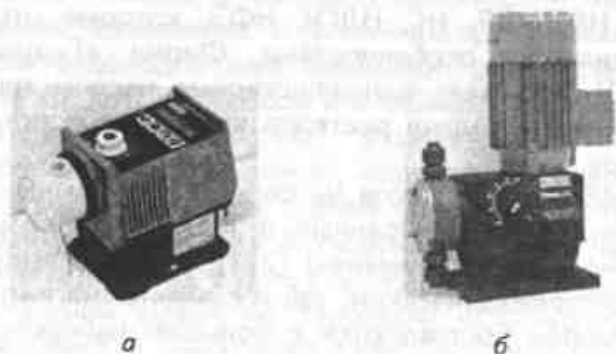


Рис. 9.9. Насосы-дозаторы фирмы Alldos Jurby Wefertech  
а — серии Primus 208 производительностью до 14 л/ч;  
б — серии Primus 211 производительностью до 115 л/ч

Итак, рассмотрены лишь некоторые типы и конструкции дозирующих насосов без указания их технических характеристик, так как они могут постоянно изменяться и совершенствоваться.

Вместе с тем очевидно, что при выборе более совершенной конструкции дозатора достигаются большая эффективность и экономичность процессов очистки воды. Как неоднократно подтверждалось опытом эксплуатации, при выборе устройства для дозирования весьма существенным моментом является определение возможности оперативного вмешательства в процессы автоматического регулирования расхода реагента. Это связано с тем, что станции водоподготовки (в основном водопроводов небольшой производительности) во многих случаях работают не с постоянным, а с переменным расходом воды, где колебания его составляют 10—80 % среднесуточного расхода. Данное обстоятельство вынуждает использовать системы автоматического регулирования, действующие по принципу дозирования реагента пропорционально расходу обрабатываемой воды.

## Глава 10. Гигиеническая оценка применения различных реагентов

### 10.1. Гигиеническая оценка безопасности реагентов

Все реагенты, используемые в системах водоснабжения, должны проходить гигиеническую оценку безопасности продукции и получить гигиеническое заключение на применение. Гигиеническая оценка реагентов, предназначенных для централизованного водоснабжения, осуществляется Департаментом Госсанэпиднадзора Минздрава России, выдача гигиенического заключения — Департаментом Госсанэпиднадзора, а также центрами Государственного санитарно-эпидемиологического надзора в субъектах Российской Федерации.

Порядок и последовательность проведения гигиенической оценки реагентов регламентируются методическими указаниями МУ 2.1.4.783—99 «Гигиеническая оценка материалов, реагентов, оборудования, технологий, используемых в системах водоснабжения [275].

Испытания проходят как новые виды продукции, так и серийно выпускаемые промышленностью реагенты, поскольку при их изготовлении может быть использовано сырье различного качества.

Основные требования методических указаний [275] к реагентам заключается в том, что они в процессе эксплуатации не должны:

оказывать вредного действия на объекты окружающей среды;

ухудшать органолептические свойства воды;  
приводить к поступлению в воду соединений в опасных для здоровья населения концентрациях;

образовывать соединения и/или продукты трансформации в опасных для здоровья населения концентрациях;

оказывать влияние на здоровье эксплуатационного персонала в процессе использования.

В связи с появлением на отечественном рынке большого количества различных полимерных коагулянтов и флокулянтов Минздрав России документом «Санитарно-эпидемиологический надзор за использованием синтетических полиэлектролитов в практике питьевого водоснабжения» [276] устанавливает гигиенические требования к организации и осуществлению контроля за их использованием.

В соответствии с [276] производственный лабораторный контроль использования синтетических полиэлектролитов выполняется силами предприятий, в ведении которых находятся сооружения по очистке питьевой воды, а при отсутствии возможностей для проведения полноценного контроля исследования осуществляются на договорной основе аккредитованными в установленном порядке лабораториями. Государственный санитарно-эпидемиологический надзор за их использованием проводится территориальными органами государственной санитарно-эпидемиологической службы.

Головной организацией Госсанэпиднадзора Минздрава России по вопросам гигиенической оценки реагентов, новых методов и способов очистки воды, гигиенического нормирования химических веществ в питьевой воде и др. является ГУ НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А. Н. Сысина РАМН. Большой комплекс работ проводится Московским НИИ гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана, кафедрой экологии человека и гигиены окружающей среды Московской медицинской академии им. И. М. Сеченова и другими организациями.

Значительный объем исследований осуществляет в этой области ГУ «Екатеринбургский медицинский научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промышленных предприятий» Министерства здравоохранения и социальной

политики Российской Федерации под руководством К. П. Селянкиной. Заслуживают внимания работы А. В. Авчинникова из Смоленской государственной медицинской академии.

В работе З. И. Жолдаковой, Е. Е. Поляковой и др. [277] детально рассмотрены основные этапы гигиенической оценки реагентов:

обоснование ПДК в воде;

изучение химического состава основного вещества, анализ примесей в целях определения его соответствия ГОСТу или ТУ;

оценка опасности примесей, поступающих в воду или образующихся в воде, при содержании в воде реагента на уровне 3—5 рабочих доз, сопоставление с ПДК и ориентированным допустимым уровнем (ОДУ);

изучение динамики миграции и трансформации поступающих в воду веществ, а также стабильности реагента под воздействием факторов водоподготовки;

определение сравнительной токсичности реагентов и продуктов их трансформации для гидробионтов.

При проведении гигиенической оценки используются следующие методы: органолептические, химические, физические, токсикологические, — а также дается оценка эффективности. В санитарно-эпидемиологических заключениях выдаются гигиенические рекомендации о величине максимально допустимой рабочей дозы, показателях для контроля безопасности, об условиях хранения реагентов.

Среди реагентов, применяемых для очистки воды, ведущими являются сульфат алюминия, а также отечественные и зарубежные коагулянты нового поколения, изготовленные на основе оксихлорида (или полиоксихлорида) алюминия, представляющего собой частично гидролизованную соль алюминия, вследствие чего обладающего большей способностью к полимеризации, чем сульфат алюминия. Полимеризованный оксихлорид алюминия ускоряет хлопьеобразование и осаждение коагулированной взвеси в воде.

Однако коагулянты, изготовленные на основе полиоксихлорида алюминия, могут довольно сильно различаться по своим свойствам. Авторами [277] были изучены одина-

дцать полиоксихлоридных коагулянтов. Обобщенное эколого-гигиеническое исследование реагентов показало, что оценка опасности по различным критериям не всегда совпадает. Полуколичественная оценка различных критериев относительной опасности, в частности, по токсичности для дафний, скорости гибели дафний, токсичности для инфузорий и др. позволила сделать сравнение различных реагентов по суммарной оценке опасности. Было отмечено, что гигиеническая оценка коагулянтов в целом совпала с физико-химическими показателями качества по содержанию примесей элементов.

Для установления токсических свойств алюминия авторами работы был проведен хронический шестимесячный эксперимент на белых крысах с применением сульфата алюминия и оксихлорида алюминия. Представленные кратко методы оценки безопасности реагента свидетельствуют о трудностях работы, которую нужно проводить в каждом конкретном случае для каждого нового реагента.

З. И. Жолдакова с коллегами отмечает, что при проведении гигиенической оценки реагентов, используемых в системах водоснабжения, необходимо руководствоваться следующими принципами:

- получение максимально полной информации о реагенте;
- недопустимость выдачи санитарно-эпидемиологических заключений только по документам;
- адекватность программы испытаний;
- рекомендации по контролю безопасности.

Такие подходы позволяют выбрать наиболее безопасные реагенты для очистки воды.

Приведем два частных примера для сравнения токсичности сульфата алюминия и ПОХА, приведенные С. В. Гетманцевым и А. В. Сычевым [325], и органических коагулянтов, представленных Е. А. Тихоновой [57].

При проведении процесса коагуляционной очистки воды в неоптимальном режиме возможно присутствие в питьевой воде повышенных концентраций остаточного алюминия, неблагоприятно воздействующего на организм человека и являющегося причиной ряда тяжелых заболеваний. Из-за

своей высокой нейротоксичности алюминий, содержащийся в питьевой воде, является фактором, влияющим на причины болезни Альцгеймера [278, 279].

Соли алюминия могут связываться с ДНК и РНК. Высокая комплексобразующая способность алюминия обуславливает снижение активности кислотной и щелочной фосфатазы. Сниженный синтез эритропоэтина, ингибирование гем — синтезирующих ферментов и связывание алюминия с трансферрином определяют возникновение анемии. Токсичность алюминия для костной системы связана со снижением синтеза коллагена и замедлением процессов минерализации, что ведет к повышенной хрупкости костей.

В ближайшее время следует ожидать, что действующие российские нормы ПДК алюминия в воде будут пересмотрены и снижены до норм, безопасных для здоровья человека. В настоящее время ВОЗ рекомендован максимально допустимый уровень содержания алюминия в питьевой воде — 0,2 мг/л.

Современные методы очистки воды позволяют получать питьевую воду с еще более низким содержанием остаточного алюминия, поэтому новые нормы содержания алюминия в питьевой воде создадут необходимость перехода на технологии очистки воды с применением высокоэффективных и безопасных коагулянтов нового поколения. Из имеющихся в настоящее время на рынке коагулянтов наибольшее распространение получил полиоксихлорид алюминия марки «АКВА-АУРАТ™30».

Как было показано в разделе 4.6, токсичность ПОХА для теплокровных животных меньше, чем СА и других солей алюминия [283].

Высокие потребительские свойства ПОХА по сравнению со свойствами сульфата алюминия позволяют провести более глубокую очистку воды и достичь практически полного отсутствия алюминия в питьевой воде. Применение ПОХА дает возможность многим регионам России получать высококачественную питьевую воду в самые неблагоприятные периоды максимальной антропогенной нагрузки на водотоки.



Другим примером может быть использование органических реагентов фирмы SNF [57].

В товарном продукте обнаруживаются вещества, которые используются при синтезе полимера или появляются в результате гидролиза: ЭПИДМА, эпихлоргидрин, диметиламин, 1,3-дихлор-2-пропанол, 2,3-дихлор-1-пропанол, способные оказывать отдаленное воздействие на организм человека (канцерогенное и мутагенное). Однако ПДК их опасности в десятки раз выше по сравнению с их реальным содержанием в воде. Остаточные концентрации полимера в питьевой воде у потребителя возможны в основном на уровне нулевых, а для примесей — следовых количеств при условии соблюдения регламента использования реагента.

Реагенты на основе полидиаллилдиметиламмоний хлорида в течение 35 лет безопасно применяются для очистки питьевой воды во многих странах мира, в том числе в Российской Федерации.

Теоретически в составе исходного мономера могут содержаться следовые концентрации аллилхлорида, аллилового спирта, диаллилового эфира и гексенала. Однако при синтезе мономера используется избыток от стехиометрии аллилхлорида к диметиламину, поэтому последний становится лимитирующим реагентом. В результате протекания реакции в таких условиях образуется практически 100%-ный мономер, не содержащий примесей. ПолиДАДМАХ и мономер ДАДМАХ являются малотоксичными соединениями, не обладающими отдаленным воздействием на организм человека. В процессах отстаивания и фильтрации из воды устраняется 99,9 % полимера.

## 10.2. Гигиеническая оценка способа очистки и обеззараживания воды

Гигиеническая оценка реагентов — это только часть задачи в решении проблемы возможности их применения. Актуальнейшими проблемами являются стабильность и трансформация в питьевой воде химических соединений,

имеющихся в природной воде и привнесенных с примесями реагентов. При этом следует учитывать и изучать способы и методы очистки и обеззараживания воды.

В работах З. И. Жолдаковой и др. [280, 281] показана степень трансформации веществ, которая зависит не только от вида деструктурирующего фактора и исходной концентрации вещества, но и от условий его химической обработки. Так, в качестве примера показано, что в процессе трансформации такого соединения, как хлорвинил, при разных условиях его обработки образовывалось до 12 веществ в различных соотношениях.

Изучению продуктов трансформации веществ в связи с обеззараживанием воды различными соединениями и методами: хлором, гипохлоритом натрия, УФ-излучением, озонированием и др. — посвящена работа [282]. В ней приводится факт, что хлорирование, в частности бутилового спирта, гипохлоритом натрия и хлорной водой приводило к образованию до 26 продуктов трансформации, зависящих как от условий обработки, так от вида хлорсодержащего агента. Это хорошо известно специалистам по очистке воды в части появляющихся продуктов от трансформации химических веществ при хлорировании воды и образовании различных групп хлорорганических соединений.

На основании выполненных работ авторы [280—282] делают вывод, что сравнительную оценку опасности веществ и продуктов их трансформации можно осуществлять различными методами, каждый из которых имеет свои достоинства и ограничения. Поэтому наиболее полная информация может быть получена лишь при использовании комплекса методов. При этом наличие современных информационных технологий на первое место выводит детальный химический анализ с последующей гигиенической оценкой полученных соединений по базам данных.

Одним из направлений этой работы является эколого-гигиеническое нормирование химических веществ в питьевой воде и установление нормативов для каждого вида химических загрязнений.

Одновременно с санитарно-гигиеническими работами должны проводиться исследования по определению технологических особенностей, параметров каждого реагента или методов очистки с установлением их эффективности.

Что же касается эффективности обеззараживания воды, то, как уже отмечалось в разделе 2.2, она может быть обеспечена глубокой очисткой воды по мутности, цветности, остаточному алюминию и окисляемости, значения которых должны быть порой ниже нормируемых.

## Глава 11. Технология обработки и повторного использования промывных вод фильтров

Промывные воды фильтров водоочистных станций с образующимися в процессе очистки осадками в большинстве случаев сбрасываются без обработки в водоисточники. И обычно технология их очистки рассматривается с точки зрения исключения загрязнения воды источника или уменьшения расхода воды на собственные нужды станции.

В данной главе эта проблема рассматривается лишь с точки зрения повышения эффективности реагентной обработки воды при добавлении к основному расходу очищаемой воды небольшого количества (около 5—10 %) осветленных промывных вод.

Промывные воды фильтров содержат значительное количество взвешенных веществ, органических загрязнений, отсорбированных гидроокисью алюминия, а также повышенные концентрации растворенных соединений алюминия. Поэтому при возврате промывных вод в начало очистных сооружений целесообразно было установить их влияние на качество осветленной воды после отстойников и фильтров станции [160].

Экспериментальные исследования проводились на нескольких водопроводных станциях, обобщенные результаты которых представлены ниже.

Основные показатели качества промывных вод на одной из станций представлены в табл. 11.1.

Таблица 11.1

## Характеристика промывных вод фильтров

Взвешенные вещества, г/л	Концентрация сухого вещества, %	Сухой остаток, г/л	Зольность, %	Влажность, %
0,31	0,055	0,284	42,86	99,94
0,355	0,032	0,263	41,72	99,97
0,549	0,061	0,346	47,81	99,94
0,609	0,063	0,412	49,46	99,94

При изучении влияния вида реагента были исследованы катионные и анионные флокулянты. На рис. 11.1 показаны эффективность осветления промывной воды после ее обработки флокулянтами (а) и качество осветленной воды (б, в). Как видно из представленных данных, основное осаждение взвешенных веществ проходит в первые 15 мин. Эффективность использования анионных (ПАА и А-321) и катионного (К-211) флокулянтов — примерно одинаковая, и в сравнении с осветлением без флокулянтов составляет около 65 %. При этом скорость осаждения взвеси при применении А-321 в 2,5 раза больше. Использование флокулянтов позволяет существенно снизить мутность, цветность и концентрацию остаточного алюминия.

Результаты опытов по определению необходимой дозы флокулянта при очистке промывных вод, представленные на рис. 11.2, показывают, что при использовании флокулянта А-321 изменение дозы практически не влияет на скорость осаждения взвеси. При этом оптимальная доза составляет 0,1 мг/л, с увеличением дозы флокулянта процесс осветления воды изменяется незначительно.

При использовании ПАА эффективность и скорость осветления воды в большей степени зависят от дозы флокулянта. Так, при дозе 0,1 мг/л за 30 мин отстаивания достигается такой же результат, как при дозе 0,2 мг/л за 15 мин.

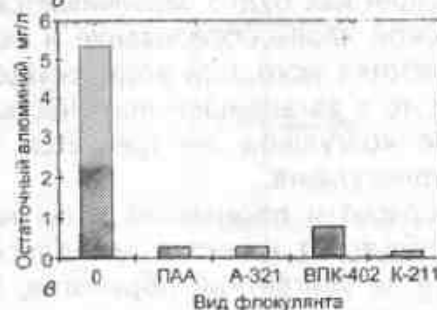
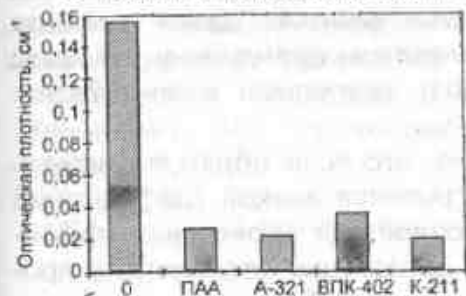
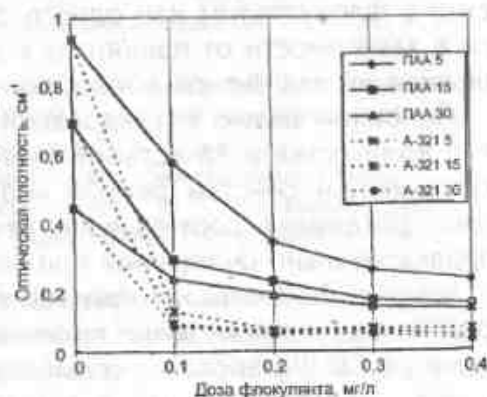


Рис. 11.1. Влияние вида флокулянта ( $D_{фл} = 0,1$  мг/л) на эффективность осветления промывной воды при отстаивании (а) и качество осветленной воды (б, в)

Рис. 11.2. Влияние вида и дозы флокулянта на эффективность осветления промывной воды при отстаивании





Анализ полученных данных показывает, что при применении анионных флокулянтов осветление промывных вод в течение отстаивания, как правило, проходит глубже. Средняя эффективность осветления воды при дозе 0,1—0,2 мг/л за период отстаивания 5, 15 и 30 мин соответственно составляет 65, 74 и 71 % (ПАА) и 81, 74 и 79 % (А-321).

При использовании для осветления промывных вод сульфата алюминия требуются высокие дозы реагента (около 8—12 мг/л). При совместном применении сульфата алюминия и флокулянтов дозу коагулянта можно уменьшить до 2 мг/л.

В опытах было установлено, что если обработка исходной воды на станции осуществляется низкой (дефицитной) дозой коагулянта и недостаточной для проведения эффективной коагуляции, то после добавления коагулянта в промывную воду процесс коагуляции как будто заканчивается, т. е. происходит более глубокое хлопьеобразование и осветление воды. Если же обработка исходной воды осуществляется оптимальной дозой, то в дальнейшем при очистке промывной воды применение коагулянта не требуется и достаточно введения одного флокулянта.

Таким образом, режим обработки промывной воды на каждой станции зависит не только от качества природной воды, но и от эффективности ее реагентной обработки, а необходимость применения коагулянта, коагулянта совместно с флокулянтом или одного флокулянта устанавливается в зависимости от принятого в данный момент на станции режима ее реагентной обработки.

Основной целью исследований было определение влияния количества и качества промывных вод на процесс коагуляционной очистки речной воды. При этом использовались различные соотношения речной и промывной воды, предварительно очищенной или неочищенной.

На рис. 11.3 показан процесс осветления речной воды с различным количеством промывных неосветленных вод (от 0 до 30 %) после их обработки сульфатом алюминия в дозах, применяемых на водоочистной станции (12 мг/л

по  $Al_2O_3$ ). Процесс осветления одной речной воды при данных условиях обработки проходит очень вяло, качество осветленной воды по суммарному показателю оптической плотности составляет 0,113. Добавки 15 и 30 % промывной воды повышают эффективность осветления до 0,065 и 0,046, соответственно. При использовании для очистки воды оксихлорида алюминия глубина осветления воды существенно повышается независимо от количества добавленной промывной воды. К обрабатываемой воде добавляли также промывную воду различного качественного состава — не обработанную реагентами и обработанную реагентами (анионными или катионными флокулянтами, сульфатом алюминия).

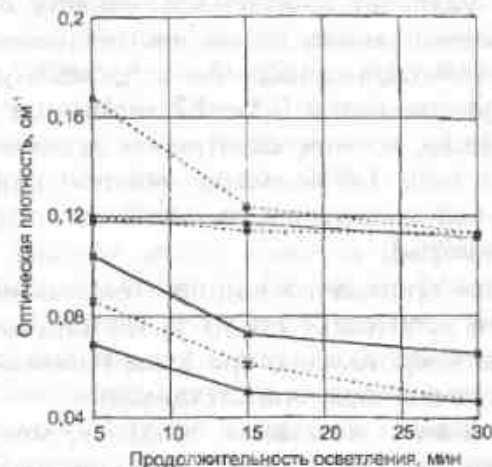


Рис. 11.3. Влияние количества промывных вод, добавленных к природной воде, на эффективность ее осветления при отстаивании ( $D_k = 12$  мг/л):

- ◆ - без промывной воды; - ■ - без промывной воды;
- △ - 15 % промывной воды; - × - 15 % промывной воды;
- × - 30 % промывной воды; - ● - 30 % промывной воды

На основании выполненных работ, проверенных также в производственных условиях на водоочистной станции ФОС-2 Котласского целлюлозно-бумажного комбината, установлено:

- выбор метода обработки промывных вод осуществляется в зависимости от качества речной воды по периодам года;

- возможны два способа обработки: безреагентное и реагентное осаждение;

- в зимний и осенний периоды, характеризуемые небольшим количеством взвешенных веществ, наиболее предпочтительной может оказаться подача неглубоко осветленной промывной воды, когда добавление в холодную речную воду дополнительной взвеси улучшает процесс очистки. В этом случае требуется безреагентное отстаивание воды в течение 30—60 мин;

- в другие периоды года (в паводок и летом) требуется более полное удаление взвешенных веществ и подача для смешения с речной водой более чистой промывной воды. Кроме того, необходимо введение в промывную воду анионных флокулянтов дозой 0,1—0,2 мг/л, при этом происходит практически полное осветление промывной воды в течение 5—15 мин. Такой метод очистки промывных вод позволит уменьшить нагрузку на очистные сооружения (отстойники и фильтры);

- добавление промывных вод при том или ином способе ее обработки в количестве до 30 % не нарушает процесса ее очистки коагулированием, при этом повышается эффективность осветления воды при отстаивании.

Производственные испытания показали, что при добавлении промывной воды к исходной снижались величина мутности осветленной воды, а также мутность и концентрация остаточного алюминия в фильтрате.

Такие же выводы были сделаны при обработке природных вод различного состава на ряде водопроводных станций.

Приведем пример проведенной работы по подбору оптимального вида и дозы реагента при обработке промывных вод отстойников и фильтров на водоочистных сооружениях ОАО «Казаньоргсинтез».

Серноокислый алюминий оказался непригодным для очистки промывных вод отстойников из-за высоких доз реагента (от 50 до 83 мг/л по  $Al_2O_3$ ). Качество осветленных с его помощью шламовых вод отстойников в присутствии полиакриламидных флокулянтов и без них не позволяет обеспечить требования СНиП на возврат промывных вод в систему водоочистных сооружений по мутности (менее 10 мг/л). Использование серноокислого алюминия приводит к образованию объемного осадка (соотношение объема осадка к объему надосадочной жидкости 1/3÷4), который при 24-часовом уплотнении изменяет свой объем не более чем на 25 %, что явно неприемлемо для работы сооружений по сгущению и обезвоживанию осадков водозаборов.

Высокую эффективность при очистке промывных вод отстойников показали полиоксихлориды алюминия марки «АКВА-АУРАТ™30». Дозы 8—12 мг/л по  $Al_2O_3$  и 2-часовое отстаивание позволяет добиться осветления промывной воды по органолептическим показателям до требований на питьевую воду: мутность — менее 1,5 мг/л, цветность — 12—15 град, рН и остаточный алюминий — в пределах нормы. При средних дозах реагента 3—5 мг/л по  $Al_2O_3$  показатели осветленной воды (мутность 3,6—8 мг/л, цветность менее 30 град) позволяют вернуть ее в головные очистные сооружения для смешения с речной водой и последующей очистки по технологическому регламенту водоочистной станции. Объем влажного осадка уменьшается более чем в 2 раза, что позволит сократить цикл обработки и интенсифицировать процесс уплотнения осадков в сгустителях. Наиболее эффективно осветление шламовых вод отстойников протекает при использовании коагулянта «АКВА-АУРАТ™30» в присутствии флокулянтов «Праестол» марки 2500 и 2515. Нормативные показатели питьевой воды по мутности и цветности достигаются при дозах коагулянта 3—5 мг/л по  $Al_2O_3$  и флокулянта 1—2 мг/л через 1,5—2 ч отстаивания. Это дает возможность направить очищенные промывные воды непосредственно в блок фильтровальной станции, упрощая тем самым технологию очистки промыв-

ных вод отстойников. При применении ПОХА содержание остаточного алюминия в осветленных, нефiltroванных водах не превышает 0,4 мг/л.

Для очистки промывных вод фильтров применение сернокислого алюминия нецелесообразно, так как дозы реагента по  $Al_2O_3$  относительно высокие и составляют 8—12 мг/л, а совместное применение флокулянтов "Праестол" дает увеличение скорости седиментации взвешенных веществ всего на 30—60 %, что в 2—3 раза ниже, чем при использовании ПОХА при дозах 4 мг/л по  $Al_2O_3$ . При осветлении промывных вод фильтров сернокислым алюминием не удается стабилизировать процесс очистки при низких температурах воды (ниже 6 °С) по остаточному алюминию: в 40—60 % анализов фиксируется превышение ПДК.

Более высокую коагулирующую способность при очистке промывных вод фильтров проявляет «АКВА-АУРАТ™30», оптимальные дозы которого по  $Al_2O_3$  в 2,5—3 раза ниже, чем при применении сернокислого алюминия, и составляют при совместном использовании флокулянтов 1,5—4 мг/л.

При очистке природных вод образуется также большое количество осадка, удаляемого из сооружений первой ступени очистки (отстойников и осветлителей со взвешенным осадком) и отстойников промывной воды. Основными компонентами осадков являются продукты гидролиза коагулянта и содержащиеся в исходной воде загрязнения минерального и органического происхождения.

Наиболее распространенными в отечественной практике приемами обработки водопроводных осадков является их естественная сушка на специальных площадках, сброс в овраги и искусственные емкости, что приводит к ухудшению экологического состояния на объекте.

К интенсивным методам обработки осадков и получения вторичных продуктов, пригодных для утилизации, относятся такие методы, как гравитационное уплотнение в сгустителях, медленное перемешивание с предварительной обработкой осадков флокулянтами или известью и дальнейшее уплотнение и обезвоживание на фильтр-прессах или центрифугах.

Среди возможных приемов обработки осадков с точки зрения охраны окружающей среды и использования вторичных ресурсов значительный интерес представляют методы, позволяющие регенерировать коагулянты из алюминийсодержащих осадков, образующихся в процессе коагуляционной обработки воды.

В литературе в основном описаны два способа регенерации алюмосодержащих коагулянтов: кислотной и щелочной регенерации [285—289]. Остановимся кратко на этих способах. Традиционная схема кислотной регенерации включает в себя уплотнение осадка, обработку гидроксидного осадка серной или соляной кислотами; разделение реакционной смеси на раствор регенерированного коагулянта и вторичный кислый осадок; нейтрализацию вторичного осадка известью с последующим его обезвоживанием. Эффективность регенерации коагулянта в зависимости от вида кислоты и ее количества, качества осадка и времени контакта составляет 50—98 %. Наиболее эффективной является серная кислота, при использовании которой удается перевести в раствор до 80—98 % гидроксида алюминия, содержащегося в осадке. Оптимальное значение pH при этом составляет 2,5—3,2. При использовании соляной кислоты эффективность регенерации — 50—75 %, значение pH около 2,0. Регенерированный коагулянт обладает коагулирующей способностью, близкой к товарному реагенту [285—287].

Однако несмотря на высокую эффективность кислотной регенерации, данный способ имеет существенные недостатки, среди которых в первую очередь следует отметить высокую загрязненность коагулянта вследствие растворения в кислой среде различных веществ органического и минерального происхождения, содержащихся в осадке, и возможности их накопления при многократной регенерации. Это ограничивает область применения данного метода для очистки малоцветных вод малой и средней мутности.

Для того чтобы исключить возможность попадания с регенерированным коагулянтом загрязнений в питьевую воду,



предложено регенерированный коагулянт использовать для физико-химической очистки сточных вод.

Метод щелочной регенерации рассматривался зарубежными специалистами [290, 291]. Наиболее детально метод изучен и предложен к практическому внедрению НИИ КВОВ [292—295]. Показано, что целесообразно его использование на станциях, осуществляющих обработку воды с низким значением рН. При обработке природных вод доза регенерированного коагулянта, обеспечивающая качество очищенной воды до нормативов, регламентируемых СанПиН «Вода питьевая», в большинстве случаев не превышает 40 % от общей дозы реагента.

Использование регенерированного щелочного коагулянта приводит к интенсификации хлопьеобразования, 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 стабилизационной обработки воды.

Регенерированный коагулянт представляет собой щелочной алюминатный раствор, содержащий ионы  $Al(OH)_4^-$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $OH^-$ . Коагулянт может быть использован в сочетании с товарным реагентом для обработки воды различного исходного качества.

Однако анализ возможных эксплуатационных показателей работы станций показывает, что несмотря на явную привлекательность методов кислотной и щелочной регенерации коагулянтов из алюмосодержащего водопроводного осадка, они вряд ли в ближайшее время смогут найти применение на отечественных водопроводных станциях. Причинами тому являются необходимость использования несвойственных для основной технологии реагентов (кислоты), огромных количеств извести, возможный переход содержащихся в осадках вредных веществ в регенерированный коагулянт, что будет препятствовать его повторному использованию для подготовки питьевой воды.

В последние десятилетия в области водоснабжения и очистки воды достигнуты значительные успехи. Это связано с развитием науки и техники, а также с ростом требований к качеству воды. В настоящее время широко применяются различные методы очистки воды, включая физико-химические, биологические и механические. Однако, несмотря на достижения, остаются нерешенными многие проблемы, связанные с обеспечением населения чистой питьевой водой. В связи с этим актуальным является поиск новых, более эффективных и экономичных технологий очистки воды.

## Глава 12. Комплексный подход к выбору технологической схемы очистки воды

Как указывалось в предыдущих главах, факторы технологической обработки вод должны устанавливаться на основании анализа технологии очистки воды на станции, качества воды водоисточника, состояния очистных сооружений и выполненных результатов технологических испытаний.

В последнее десятилетие НИИ коммунального водоснабжения и очистки воды в различных городах и регионах России выполнен большой объем работ, направленных на повышение эффективности очистки воды и применение новых технологических схем.

Наиболее интересным явилось комплексное рассмотрение и решение проблем, имеющихся на Окском водозаборе г. Калуги. НИИ КВОВ совместно с ГП "Калугаоблводоканал" и Окским водозабором были предложены мероприятия по повышению эффективности очистных сооружений водопровода и разработана технологическая схема очистки воды для строительства 2-й очереди станции и реконструкции сооружений 1-й очереди [160].

Источником водоснабжения г. Калуги является р. Ока, качество воды которой характеризуется малой мутностью, за исключением периодов паводка и дождей, и средней цветностью. В воде имеются органические загрязнения, определяемые величинами перманганатной окисляемости до  $12 \text{ мгO}_2/\text{л}$ , БПК до  $7 \text{ мгO}_2/\text{л}$  и ХПК до  $60 \text{ мгO}_2/\text{л}$ . Высокие значения ХПК свидетельствуют о загрязнении воды веществ-

вами антропогенного происхождения. Так, в отдельные периоды концентрация нефтепродуктов достигает 0,9 мг/л. В воде практически постоянно отмечается запах на уровне 2—3 баллов, который при нагревании усиливается до 5 баллов. Неблагоприятна ситуация и по микробиологическим загрязнениям (наличие в воде клостридий и колифагов), особенно в зимнее время года.

Очистка воды осуществляется на Окском водозаборе производительностью 100 тыс. м<sup>3</sup>/сут, введенным в эксплуатацию в 1985 г. Водопроводная станция работает по двухступенной реагентной схеме очистки с горизонтальными отстойниками и скорыми фильтрами.

Работа в г. Калуге включала в себя несколько основных этапов.

На первом этапе работы было проведено *обследование очистных сооружений* водопроводной станции. Существующая на станции традиционная технология очистки не вполне соответствует качеству воды водисточника, поэтому очистные сооружения не всегда могут обеспечить требуемое качество питьевой воды.

Очищенная вода по мутности и цветности в основном соответствует стандарту. Однако в периоды паводков мутность ее повышается до 2 мг/л, значения перманганатной окисляемости превышают ПДК, что свидетельствует о недостаточной эффективности протекания процессов коагуляции и осветления.

Большую часть года мутность очищенной воды отмечается на уровне 0,9—1,3 мг/л. Учитывая повышенное бактериальное загрязнение реки, в том числе патогенными микроорганизмами, для достижения необходимой степени обеззараживания воды при хлорировании следует существенно повысить качество и глубину очистки воды по мутности и цветности.

Кроме того, при обследовании работы Окского водозабора были учтены недостатки, присущие другим водопроводным станциям и требующие устранения для нормализации работы и условий эксплуатации очистных сооружений.

К этим недостаткам относятся следующие:

- Большинство водопроводных станций работает с перегрузкой до 30—40 %, что приводит к завышению расчетных скоростей в отстойниках и скорости восходящего потока воды в осветлителях со взвешенным осадком, что, естественно, повышает нагрузку на фильтровальные сооружения и осложняет их работу.

- Зачастую емкости для мокрого хранения товарного коагулянта и рабочих растворов находятся в неудовлетворительном состоянии (текут), что усложняет приготовление рабочих растворов.

- Отсутствуют дозировочные насосы, и дозирование осуществляется объемным способом, что требует постоянного контроля за дозой коагулянта и ее регулирования.

- Несовершенны в современных условиях действующие схемы приготовления и дозирования рабочих растворов реагентов, а также смешения их с обрабатываемой жидкостью, что приводит к перерасходу реагентов.

- При подаче обрабатываемой воды из смесителя на отстойники наблюдается случайное распределение воды, обработанной коагулянтом; это приводит к тому, что на отстойники поступает вода с разными дозами реагента, в результате чего отстойники работают с различной эффективностью очистки.

Для устранения этого недостатка необходимо обеспечить более равномерное смешение коагулянта с водой в смесителе. Это возможно, в частности, если подать воздух в нижнюю часть смесителя.

- Неисправность запорной арматуры зачастую приводит к тому, что осуществлять нормальную промывку загрузки фильтров не представляется возможным, так как при требуемой интенсивности при промывке одного фильтра происходит взрыхление загрузки, подача промывной воды и нарушение нормального процесса фильтрования всех фильтров.

- В ряде случаев повышение качества питьевой воды невозможно без реконструкции фильтров. Часть фильтров

требует капитального ремонта, связанного с устранением смещения гравийных слоев, догрузки их песком до проектной высоты, обеспечения нормальной интенсивности промывки фильтрующей загрузки.

• На ряде действующих водопроводов наблюдаются строительная деформация основных сооружений, износ водораспределительных и водосборных устройств, отсутствие приборов контроля, обеспечивающих соблюдение оптимального технологического процесса коагуляции, отстаивания, фильтрования.

Указанные недостатки сооружений носят частный характер, но, к сожалению, они, как и многие другие дефекты, встречаются повсеместно, а, как уже говорилось, совершенствование только технологии реагентной обработки не всегда может привести к желаемому результату.

Наряду с устранением технических недостатков на очистных сооружениях должна быть осуществлена их реконструкция с использованием современных технических решений, иногда необходимо применение более сложных и дорогостоящих технологических процессов, чем действующих на станциях.

Естественно, более успешно современные конструктивные и технологические решения могут быть внедрены при проектировании и строительстве новых водоочистных станций. На действующих станциях усовершенствование существующей технологии требует рассмотрения условий эксплуатации очистных сооружений.

На основании обследования сооружений Окского водозабора подготовлено экспертное заключение по работе станции и разработаны технические решения по ее реконструкции в целях повышения эффективности работы очистных сооружений и улучшения качества питьевой воды.

В связи с увеличением потребления воды в городе было решено повысить мощность Окского водозабора за счет строительства 2-й очереди очистных сооружений. Учитывая, что со времени проектирования и пуска в эксплуатацию Окского водозабора не только изменились состав и сте-

пень загрязнения водоисточника, но и значительно повысились требования к качеству питьевой воды, существующая на водоочистной станции технология водоподготовки не может обеспечить необходимую глубину очистки воды по нормируемым показателям в соответствии с требованиями СанПиН.

Поэтому в течение 2001—2002 гг. были проведены детальные *предпроектные технологические изыскания* в характерные периоды года: зимой, в весенний паводок, летом и осенью. Полученные экспериментальные данные легли в основу будущей технологии очистки воды нового блока водопроводной станции.

Исследования проводились по различным направлениям:

- выбор наиболее эффективных реагентов (коагулянтов и флокулянтов);
- повышение эффективности процесса осветления в зависимости от условий перемешивания коагулянта с водой;
- влияние предварительного озонирования на качество воды и последующий процесс реагентной обработки;
- определение технологических параметров работы очистных сооружений на основе исследований на модельных установках;
- установление режима обработки промывной воды;
- эффективность обеззараживания воды.

На основании выполненных технологических изысканий установлено:

◊ Сопоставление результатов применения коагулянтов сульфата алюминия и оксихлорида алюминия в различные периоды года показало преимущества оксихлорида, который обеспечивает более высокое качество воды по мутности и цветности и более стабильное качество по остаточному алюминию.

◊ Практически во всех случаях предварительное озонирование позволяет повысить качество очищенной воды по мутности, цветности и перманганатной окисляемости. Концентрация остаточного алюминия в большинстве случаев



была значительно ниже при коагулировании озонированной воды.

Предварительное озонирование позволяет также существенно уменьшить дозу коагулянта.

◊ При низкой мутности исходной воды (до 5 мг/л) и применении озонирования с последующим фильтрованием очищенная вода по основным показателям удовлетворяет требованиям норматива. В такие периоды возможна очистка воды только озонированием без коагулирования.

◊ Контроль концентрации остаточного алюминия показал:

- в воде водоисточника концентрация остаточного алюминия отмечается на уровне 0,04—0,33 мг/л, чего обычно не наблюдается на других водопроводных станциях.

- концентрация остаточного алюминия в воде после контактного осветлителя составляет 0,02—0,16 мг/л, что значительно меньше, чем в воде после очистных сооружений станции (0,03—0,35 мг/л).

◊ Поскольку окская вода постоянно характеризуется наличием запаха на уровне от 2 до 4 баллов, в схеме очистки воды был предусмотрен сорбционный угольный фильтр, обеспечивающий глубокую очистку воды не только по мутности до 0—0,6 мг/л, цветности до 0—4 град, концентрации остаточного алюминия до 0,02—0,1 мг/л, но и по содержанию органических загрязнений. Показатель перманганатной окисляемости отмечается на уровне 0,5—1,5 мгО<sub>2</sub>/л.

Запах воды после контактного осветлителя уменьшается с 2—5 до 1—3 баллов, и только сорбционная очистка обеспечивала снижение привкусов и запахов до величины 0—1 балл.

На основании анализа качества речной воды, обследования работы очистных сооружений и результатов предпроектных технологических исследований была разработана схема очистки воды для сооружений 2-й очереди Окского водозабора (рис. 12.1) производительностью 100 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

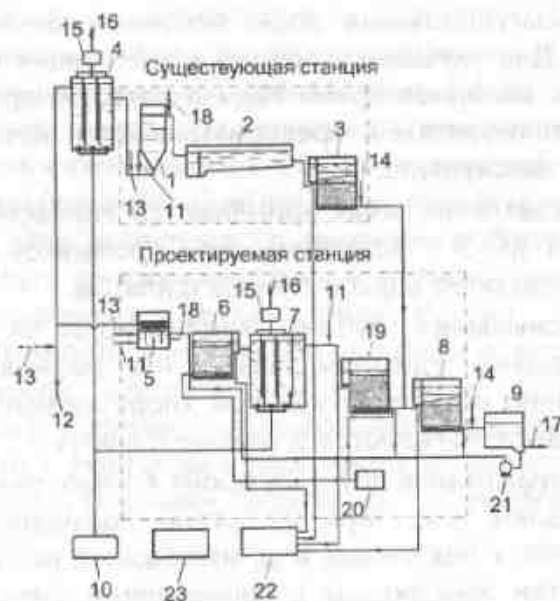


Рис. 12.1. Комплексная схема очистки воды на Окском водозаборе: 1 — смеситель; 2 — отстойник с встроенной камерой хлопьеобразования; 3 — скорый фильтр; 4 — контактная камера озонирования существующего блока; 5 — входная камера с барабанными сетками; 6 — контактный осветлитель; 7 — контактная камера озонирования проектируемого блока; 8 — угольный фильтр; 9 — р. ч. в.; 10 — озонаторный блок; 11 — введение коагулянта; 12 — подача воды; 13 — первичное обеззараживание; 14 — вторичное обеззараживание; 15 — аппарат каталитического разложения озона; 16 — выброс в атмосферу; 17 — подача очищенной воды; 18 — подача флокулянта; 19 — песчаный фильтр; 20 — воздуходувка; 21 — промывной насос; 22 — блок обработки промывных вод фильтров; 23 — цех приготовления гипохлорита натрия

Рассмотрим кратко предложенную схему:

◊ Для очистки воды р. Оки озонирование используется в двух вариантах:

- на действующих сооружениях — на этапе первичной обработки воды (предозонирование);
- на проектируемом блоке очистки — на этапе обработки воды после контактных осветлителей (постозонирование).

◇ Для коагулирования воды используется оксихлорид алюминия. Для улучшения процесса коагуляции и осветления воды в холодное время года и паводок применяются анионные флокулянты и предусматривается использование катионного флокулянта.

◇ Для осветления воды применяются контактные осветлители типа КО-3 с водовоздушной промывкой и низким отводом промывной воды и скорые фильтры.

◇ Для повышения глубины очистки воды от органических загрязнений, удаления запахов и возможных продуктов окисления, образующихся при хлорировании и озонировании воды используются угольные фильтры.

◇ Обеззараживание воды на обоих блоках рекомендуется осуществлять гипохлоритом натрия, полученным из минерализованных подземных вод, имеющих на территории станции, путем электролиза с применением отечественного оборудования. Использование гипохлорита натрия (взамен хлора) в сочетании с озоном существенно повысит безопасность эксплуатации оборудования, а также позволит уменьшить концентрацию токсичных продуктов, образующихся при хлорировании воды.

Предусматривается также проводить наряду с обеззараживанием воды гипохлоритом натрия ее аммонизацию, что позволит пролонгировать обеззараживающее действие хлорреагента и сохранить требуемое качество очищенной воды в водопроводных сетях города.

◇ Для обработки промывных вод фильтров (существующего и нового блоков) и их повторного использования предусматривается специальный блок очистных сооружений, обрабатывающий образующиеся осадки.

◇ На существующей станции предложена реконструкция смесителя с устройством механической лопастной мешалки и горизонтальных отстойников с дооборудованием их тонкослойными модулями.

В настоящее время проектным институтом ГПИ-8 (г. Калуга) закончены работы по проектированию нового блока и реконструкции существующей станции. Предложенная технологическая схема характеризуется повышенной степенью надежности и обеспечивает получение питьевой воды, отвечающей требованиям СанПиН, при любом качестве воды р. Оки, а опыт комплексного решения проблемы обеспечения г. Калуги высококачественной питьевой водой должен быть использован и в других городах России.

Эффективность комплексного подхода в решении задач реконструкций водопроводных станций — от анализа существующей ситуации до выполнения предпроектных исследований и подготовки обоснованных рекомендаций для новой очереди очистных сооружений — неоспорима.

## Заключение

В предложенных материалах книги детально рассмотрены вопросы коагуляционной обработки воды, оптимизации самого процесса коагуляции, улучшения условий его протекания путем совершенствования конструкций очистных сооружений, применения новых технологических методов очистки и др.

Занимаясь вопросами повышения качества питьевой воды, авторы провели исследования более чем на 150 водопроводных станциях различных городов России. В одних городах работа заканчивалась разработкой рекомендаций, в других — осуществлялись реконструкция и модернизация, проектирование и строительство новых очистных сооружений водопроводных станций, внедрялись современные технологии реагентной обработки воды на основе применения современных коагулянтов и флокулянтов.

Специалисты НИИ КВОВ и ОАО «АУРАТ» тесно сотрудничали с работниками водоканалов, проектных организаций и представителями наладочных предприятий, что обеспечивало общий успех. После введения в действие СанПиН 2.1.4.559—96, а в дальнейшем СанПиН 2.1.4.1074—01 усилия всех специалистов были направлены прежде всего на повышение качества питьевой воды и обеспечение его соответствия нормативным требованиям.

Лаборатория технологии очистки природных вод НИИ КВОВ провела исследования в целях повышения качества питьевой воды не только в городах, указанных в книге, но и в Кемерове, Новокузнецке, Астрахани, Оренбурге, Камбарке (Республика Удмуртия), Архангельске, Людинове, Шарье, Армавире, Перми, Таганроге, Петрозаводске, Якутске, Мирном, Черском, Намцах, Борогонцах, Алдане, на групповых водопроводах Астраханской области и многих других объектах. Результаты выполненных работ представлены в публикациях [296—309], отчетах и рекомендациях.

Кроме того, авторы проанализировали работы, проведенные ГНЦ «НИИ ВОДГЕО» [310—313], фирмой «Дегремон» [58, 314, 315], ГУП «Мосводоканал», ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», проектными, наладочными и другими организациями [316—323, 347], а также результаты исследований А. К. Запольского, А. Д. Барана, А. П. Шутько и Х. Лахтеэнмяки [54, 327, 328].

При написании книги были использованы материалы учебников, ставших классическими [5—13], и современных учебников [329—331], а также справочная и методическая литература, рекомендации, инструкции, технические и методические указания [19, 20, 23, 103—107, 112, 133, 332—340, 344]. Были отобраны также наиболее интересные издания НИИ КВОВ, выпускающего научно-техническую литературу [102, 127, 130, 175] и сборники «Новые технологии в водоснабжении и водоотведении» [342].

ОАО «АУРАТ», занимаясь производством современных реагентов, в последние годы ведет большую работу по координации выпуска в России коагулянтов. Совместно со своими филиалами в Ростове-на-Дону («РАУРАТ»), Казани («ТАУРАТ»), Красноярске («СИБ-АУРАТ») ОАО выполняет исследовательские и опытные работы, расширяет области внедрения коагулянтов нового поколения, доводя во многих городах их промышленное применение в водоканалах [324—326].

Материалы данной книги свидетельствуют о возросшей роли коагулянтов в настоящее время при ухудшении, с одной стороны, качества воды поверхностных и подземных водоисточников и повышении, с другой стороны, требований к качеству питьевой воды.

Коагуляция позволяет получить питьевую воду, отвечающую современным требованиям, только в сочетании с традиционными и новыми технологическими процессами: осветлением, флотацией, фильтрованием, озонированием, мембранными методами очистки и др.

Исследовательские, опытно-конструкторские работы и производственные испытания различных аспектов коагуляции проводятся в нашей стране коллективами Института



физической химии, НИИ коммунального водоснабжения и очистки воды, Института «ВОДГЕО», МосводоканалНИИ-проект, институтами Академии коммунального хозяйства, целого ряда других отраслевых организаций и кафедрами водоснабжения, водоотведения и экологии учебных институтов, производственными управлениями водоканалов.

Проектирование объектов водоснабжения выполняется проектными институтами, в том числе МосводоканалНИИ-проект, Союзводоканалпроект, ЦНИИЭП инженерного оборудования, Ленинградским, Ростовским, Новосибирским филиалами Гипрокоммунводоканал, институтами «Прикам-промпроект», «Удмуртгражданпроект», «Кировгражданпроект» и многими другими.

На основании анализа материалов настоящей книги можно выделить наиболее важные задачи, стоящие перед специалистами:

1. Поиск при проведении лабораторных и производственных испытаний новых, более эффективных, чем используемые в настоящее время, реагентов — коагулянтов и флокулянтов.

2. Разработка новых безреагентных методов очистки природных вод с использованием современных достижений науки, в частности физики, обеспечивающих удаление имеющихся загрязнений.

3. Совершенствование существующих способов смешения реагентов с обрабатываемой водой и интенсификация процессов реагентной обработки.

4. Совершенствование, модернизация и реконструкция существующих очистных сооружений водопроводов.

5. Решение проблем обработки промывных вод фильтров и утилизации образующихся осадков.

6. Разработка мероприятий, исключающих загрязнение воды природных водоисточников и обеспечивающих полное прекращение сброса неочищенных и недостаточно очищенных промышленных и городских сточных вод.

7. Синтез и промышленное производство широкого спектра коагулянтов и флокулянтов с заданными свойствами, включая смешанные и комплексные реагенты.

В заключение хотелось бы привести цитату из введения к сборнику «Коагулянты для очистки питьевой воды», вышедшему в 1948 г. под редакцией В. Т. Турчиновича [346]: «Среди важнейших вопросов, связанных с процессом коагуляции, узловыми являются: выбор наиболее рационального типа коагулянта и создание оптимальных условий для процесса коагуляции.

Эти вопросы распадаются на следующие проблемы:

1. выбор наиболее рационального типа коагулянта:

а) при данных технико-экономических условиях его получения или изготовления;

б) при определенных физико-химических особенностях воды данного водоема;

2. создание оптимальных условий для процесса коагуляции:

а) путем предварительной обработки воды, изменения pH, добавления специальных веществ и ранее выпавшего осадка;

б) путем улучшения способа дозировки;

в) путем определения порядка ввода реагентов, их последовательности, а также отдельного введения дробных доз;

г) путем улучшения смешения и условий хлопьеобразования».

В то время отмечалось 60-летие применения коагуляции в производственном масштабе для осветления и обесцвечивания воды, а также широкое внедрение ее в практику водоснабжения.

С тех пор отечественными и зарубежными специалистами выполнены многочисленные исследования, выпущены реагенты на различных химических предприятиях и производствах, использованы новые реагенты на водопроводных станциях. Неизмеримо возрос ассортимент реагентов — коагулянтов и флокулянтов в технологии очистки природных вод. Установлены новые теоретические аспекты процесса коагуляции, определены технологическая эффективность современных реагентов и условия их применения, а

также решены основные направления интенсификации и совершенствования процесса коагуляции и последующего осветления на очистных сооружениях водопроводов и множество других вопросов. Это авторы попытались осветить в данной книге.

Однако приведенные выше проблемы продолжают оставаться актуальными и в настоящее время — в 2005 году. Перед специалистами по-прежнему стоят задачи, направленные на дальнейшее совершенствование реагентной обработки воды, разработку новых реагентов, интенсификацию процессов коагуляции и поиск эффективных технологий осветления, очистки и обеззараживания воды.

*Желаем всем нашим читателям чистой воды!*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мухеев Н. Н. Водные ресурсы как база питьевого водоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника. 1998. № 4.
2. Роговец А. И. Санитарно-эпидемиологическая оценка состояния питьевого водоснабжения в Российской Федерации // Водоснабжение и санитарная техника. 1998. № 12.
3. Онищенко Г. Г. Санитарно-эпидемиологическая безопасность питьевого водоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника. 1998. № 12.
4. Выборнова М. С. О состоянии водоснабжения и задачах по улучшению обеспечения населения доброкачественной питьевой водой. — В сб.: Современные технологии и оборудование для обработки воды на водоочистных станциях. — М.: НИИ КВОВ. 1997.
5. Бабенков Е. Д. Очистка воды коагулянтами. — М.: Наука, 1977.
6. Клячко В. А., Апельцин И. Э. Очистка природных вод. — М., 1971.
7. Кульский Л. А., Когановский А. М., Горюновский И. Г. Физико-химические основы очистки воды коагуляцией. — Киев: Изд. АН УССР, 1950.
8. Кульский Л. А. Теоретические основы и технология кондиционирования воды. — Киев: Наукова думка, 1980.
9. Кульский Л. А. Теоретические основы и технология кондиционирования воды. Процессы и аппараты. 4-е изд. перераб. и доп. — Киев: Наукова думка, 1983.
10. Минц Д. М. Теоретические основы технологии очистки воды. — М.: Стройиздат, 1964.
11. Кастальский А. А., Минц Д. М. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения. — М.: Высшая школа, 1962.
12. Мартынова О. И. Коагуляция при водоподготовке. — М., 1951.
13. Турчинович В. Т. Водоснабжение промышленных предприятий и населенных мест. Ч. III. Улучшение качества воды. — М.-Л.: Стройиздат, 1940.
14. Ромашенко М. В. Экология Кузбасса. Проблемы и перспективы. — Новокузнецк, 1992.
15. Мухеев Н. Н., Крузе Ф. и др. Российско-французское сотрудничество в области управления водными ресурсами (на примере бассейна р. Томи) // МиВХ. 1994. № 5.
16. Сколубович Ю. Л., Краснова Т. А. Питьевое водоснабжение города Кемерово из подземных источников. — М., 2001.
17. Сколубович Ю. Л., Краснова Т. А. Использование подземных вод Кузбасса для питьевого водоснабжения. — М., 2001.
18. Сколубович Ю. Л., Соколов В. Ф., Краснова Т. А., Драгинский В. Л., Алексеева Л. П. Оценка воды р. Томи и подземных источ-

ников в системах водоснабжения Кузбасса // Водоснабжение и санитарная техника. 2001. № 1.

19. Руководство по применению технологий, обеспечивающих эпидемиологическую безопасность питьевой воды в отношении вируса гепатита и других энтеротропных вирусов. — М.: АКХ. 1990.

20. Технический регламент по очистке и обеззараживанию природных вод от цист патогенных кишечных и яиц гельминтов. — М.: АКХ.

21. Методические указания по проведению профилактической дезинфекции в спортивных плавательных бассейнах, № 18-2/6. — М.: Минздрав СССР. 1980.

22. Гюнтер Л. И., Алексеева Л. П., Хромченко Я. Л. Влияние условий хлорирования воды на образование хлороформа // Химия и технология воды. 1985. Т. 7. № 6.

23. Руководство по технологии подготовки питьевой воды, обеспечивающей выполнение гигиенических требований в отношении хлороорганических соединений. — М.: АКХ. 1989.

24. Педашенко Д. Д., Божко Л. Н. Осветление мутных поверхностных вод на коммунальных водопроводах // Водоснабжение и санитарная техника. 2004. № 1.

25. Кузубова Л. И., Морозов С. В. Органические загрязнители питьевой воды. Аналитический обзор. Сер. Экология. Вып. 26. — Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, НИОХ СО РАН. 1993.

26. Кузубова Л. И., Морозов С. В. Марганец в питьевой воде. Аналитический обзор. — Новосибирск: ГПНТБ СО АН СССР. 1991.

27. Поведение ртути и других тяжелых металлов в экосистемах. Аналитический обзор в 3 ч. Отв. ред. О. Ф. Васильев. — Новосибирск, 1989.

28. Кузубова Л. И., Кобрин В. Н. Химические методы подготовки воды (хлорирование, озонирование, фторирование). Аналитический обзор. Сер. Экология. Вып. 42. — Новосибирск: СО РАН. 1996.

29. Романенко Н. А., Новосильцев Г. И., Рахманин Ю. А. и др. Современное состояние и задачи санитарно-протозоологических исследований питьевой воды // Гигиена и санитария. 1992. № 2.

30. Аввакумов Г. А., Выборнова М. С. Состояние водисточников и качество питьевой воды // Водоснабжение и санитарная техника. 1991. № 7.

31. Хроника. Временный стандарт качества очистки хозяйственно-питьевой водопроводной воды, подаваемой в городскую сеть // Водоснабжение и санитарная техника. 1937. № 3.

32. ГОСТ 2874—54 «Вода питьевая».

33. ГОСТ 2874—73 «Вода питьевая».

34. ГОСТ 2874—82 «Вода питьевая».

35. СанПиН 2.1.4.1074-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. — М., 2001.

36. Кульский Л. А., Строкач П. П. Технология очистки природных вод. — Киев: Вища школа, 1986.

37. Проект федерального закона «О питьевой воде и питьевом водоснабжении» (специальный технический регламент).

38. Council Directive on Quality of Water Intended for Human Consumption. 15 July, 1980 (80/778/EEC).

39. World Health Organization: Guidelines for Drinking Water Quality. Geneva, 1984. V.1: Recommendation. V.2: Health Criteria and Other Supporting Information.

40. Montgomery Y. M. Water Treatment: Principles and Design. — N. Y., 1985.

41. Hernandez F. et al. Water quality standards: General Report 5. IWSA 14 Congress, Zurich, 1982.

42. Bartele J. H. M. et al. Flavour Profile Analysis: Taste and Odor Control of the Future. Journal AWWA. 1986. V. 78. N 3.

43. Aucamp F. J. et al. Standarte for Drinking Water: Special Subject 15. IWBA 16 Congress, Rome, 1986.

44. Кульский Л. А. Очистка воды на основе классификации ее примесей. — Киев: УкрНИИТИ. 1967.

45. Дерягин Б. В. Теория гетерокоагуляции, взаимодействия и слипания разнородных частиц в растворах электролитов // Коллоидная химия. Т. 12. № 6. 1954.

46. Исследования в области поверхностных явлений. Под ред. П. А. Ребиндера. — М.-Л.: ОНТИ. 1936.

47. Каргин В. А., Шишкиншвили Н. Е., Бацакадзе А. Д. Получение и исследование основных солей алюминия // Журнал физической химии. Т. 21. № 3. 1947.

48. Мартинова О. И. Коагуляция при водоподготовке. — М.: Госэнергоиздат, 1951.

49. Мартинова О. И. Некоторые закономерности удаления органических примесей природных вод путем коагуляции. — В сб.: Вопросы проектирования и эксплуатации водоподготовительных установок. — М.: Госэнергоиздат, 1955.

50. Larson T. E., Sallo F. W. Loss in water main carrying capacity. AWWA, 1967, N 12.

51. Bache D. H., Johnson C., Papavasiliopoulos E., Rasool T. and McGilligan F. J. Sweep coagulation: structures, mechanisms and practice. Selected topics on new developments in physico-chemical water treatment. May, 1997.

52. Горановский И. Т. Физико-химическое обоснование автоматизации технологических процессов обработки воды. — Киев: Наукова думка, 1974.

53. Swiderska-Broz M. Effluent a water treat. 1984, V. 24, N 6.



54. *Запольский А. К., Баран А. А.* Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды: Свойства. Получение. Применение. — Л.: Химия, 1987.
55. Реагенты, применяемые для очистки и обеззараживания природных и сточных вод. Спр. пособие. — М.: ЦНИИЭП инженерного оборудования. 1997.
56. *La Mer V. K.* Diss. Farad. Soc, 1966, № 42.
57. *Тихонова Е. А., Усачев А. С.* Использование органических коагулянтов для подготовки питьевой воды// Водоснабжение и санитарная техника. 2004. № 9.
58. *Герасимов Г. Н.* Процессы коагуляции-флокуляции при обработке поверхностных вод// Водоснабжение и санитарная техника. 2001. № 3.
59. *Гетманцев С. В.* Состояние производства и импорта алюмосодержащих коагулянтов в России// Водоснабжение и санитарная техника. 2003. № 2.
60. *Гетманцев С. В., Гетманцев В. С.* Комбинированная технология производства высокоэффективных коагулянтов// Водоснабжение и санитарная техника. 2001. № 3.
61. *Ягуд Б. Ю.* Хлорная промышленность России: Требуется серьезная поддержка// Химия и Рынок. 2004. № 4.
62. *Шутько А. П., Сароченко В. Ф., Козликовский Я. Б.* и др. Очистка воды основными хлоридами алюминия. — Киев: Техника, 1984.
63. *Лайнер Ю. А., Сурова Л. М., Туржилин А. С., Яшкuroв М. Л.* Получение коагулянтов из отходов глиноземных и алюминиевых предприятий// Материалы конгресса «ЭКВАТЭК — 2002». М., 2002.
64. *Варежкин Ю. М., Михайлова А. Н., Ендовин Ю. П.* и др. Очистка сточных вод с использованием в качестве коагулянта хлорида алюминия — отхода производства триметилхлорсилана// Материалы конгресса «ЭКВАТЭК — 2002». — М., 2002.
65. *Васина Л. Г., Меньшикова В. Л., Крылова Л. С.* и др. Влияние модуля основности коагулянта и стабильности воды при выборе оптимального режима коагуляции// Материалы международной научно-практической конференции «ТЕХНОВОД — 2004». — Новочеркасск, 2004.
66. *Ткачев К. В., Запольский А. К., Кисиль Ю. К.* Технология коагулянтов. — Л.: Химия, 1978.
67. *Реми Г.* Курс неорганической химии. — М.: ИЛ, 1963.
68. *Поллинг Л.* Общая химия. — М.: Мир, 1974.
69. *Чалый В. П.* Гидроокиси металлов. — Киев: Наукова думка, 1972.
70. *Кирганцев А. Н., Трушников Л. Н., Лаврентьева В. Г.* Растворимость неорганических веществ в воде. Справочник. — Л.: Химия, 1972.
71. Справочник химика. — Л.: Химия, 1971. Т I-VI.
72. *Образцов В. В.* Автореф. дисс.... канд. техн. наук. — Киев, 1984.
73. *Костенко А. С.* Автореф. дисс.... канд. техн. наук. — Киев, 1983.
74. Технология коагулянтов. — Л.: Химия, 1974.
75. *Лайнер Ю. А.* Комплексная переработка алюминийсодержащего сырья кислотными способами. — М.: Наука.
76. *Пустильник Г. Л., Нестерова Т. Е.* Комплексная переработка бокситов и другого алюминийсодержащего сырья за рубежом. — М.: Цветметинформация. 1972.
77. *Шморгуленко Н. С., Корнеев В. И.* Комплексная переработка и использование отвальных шламов глиноземного производства. — М.: Metallургия, 1982.
78. Пат. РФ 2157341, кл. C01 F7/74, 24.09.99.
79. Пат. РФ 2193011, кл. C01 F7/74, 04.09.01.
80. Пат. РФ 2215691, кл. C01 F7/74, 13.03.01.
81. Пат. РФ 2163887, кл. C01 F7/74, 31.05.96.
82. А. с. СССР 1763370, кл. C01 F7/74, 25.12.89.
83. Пат. РФ 2044691, кл. C01 F7/74, 26.03.93.
84. А. с. СССР 1520009, кл. C01 F7/74, 26.01.87.
85. Пат. РФ 2193010, кл. C01 F7/74, 07.12.00.
86. А. с. СССР 1006377, кл. C01 F7/74, 01.07.80.
87. А. с. СССР 1204564, кл. C01 F7/74, 03.08.83.
88. А. с. СССР 1260334, кл. C01 F7/74, 01.08.84.
89. А. с. СССР 1789508, кл. C01 F7/74, 02.01.89.
90. Пат. РФ 2091309, кл. C01 F7/74, 10.05.95.
91. *Bailey G. J.* Soc. Chem. Industr. 1920, 39.
92. *Левицкий Э. А.* Получение 5/6 оксихлорида алюминия и перспективы его промышленного использования// Химическая промышленность. 1960. № 7.
93. Пат. РФ 2089503, кл. C01 F7/56, 7/74, 10.05.95.
94. Пат. РФ 2095312, кл. C01 F7/56, 7/74, 12.09.96.
95. Пат. РФ 2122522, кл. C01 F7/60, 04.03.97.
96. Пат. РФ 2127228, кл. C01 F7/00, 24.06.92.
97. Пат. РФ 2177908, кл. C01 F7/00, 7/60, 7/74, 10.03.00.
98. Пат. РФ 2178767, кл. C01 F7/00, 16.06.99.
99. Пат. РФ 2189355, кл. C01 F7/00, F7/74, 16.12.99.
100. *Гетманцев С. В., Рашковский Г. Б., Яценко В. Т.* Аналитический контроль качества коагулянтов. Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД — 2004»// Материалы международной научно-практической конференции. — Новочеркасск, 2004.
101. *Пирогова С. В.* Контроль качества коагулянтов на содержание металлов// Водоснабжение и санитарная техника. 2003. № 2.
102. *Драгинский В. Л., Алексеева Л. П.* Методики проведения технологических изысканий и моделирования процессов очистки воды на водопроводных станциях. — М.: НИИ КВОВ, Водкоммунтех. 2001.

103. Руководство по химическому и технологическому анализу воды. № 50. Определение доз коагулянта, необходимых для осветления и обезжелезивания воды. — М.: ВОДГЕО. 1973.

104. Инструкция по определению физико-химических и технологических показателей качества воды и реагентов, применяемых на водопроводе. — М.: МЖКХ, СУ «Росводоканалналадка». 1973.

105. Указания по совершенствованию технологии коагуляционной обработки воды с целью снижения концентрации остаточного алюминия. — М.: АКХ. 1988.

106. Указания по применению технологии очистки воды на контактных осветлителях с использованием оптимальных режимов перемешивания коагулянта с водой. — М.: АКХ. 1986.

107. Пособие по проектированию сооружений для очистки и подготовки воды (к СНиП 2.04.02-84). — М.: НИИ КВОВ. 1989.

108. *Миркис И. М., Лифшиц В. С., Лурье И. Е.* Трубчатый смеситель быстрого действия для коагуляционных сооружений // Водоснабжение и санитарная техника. 1995. № 5.

109. *Егоров А. И., Морозова И. С.* Рекомендации по технологии обработки речных вод с применением аэрирования на водопроводных очистных сооружениях. — М.: ВНИИ ВОДГЕО. 1975.

110. *Печников В. Г., Фрог Б. Н.* Интенсификация работы водопроводных очистных сооружений методом аэрации // Санитарная техника и инженерное оборудование зданий. Сер. IX. — М., 1977, № 4.

111. *Печников В. Г., Хайлов Е. Г.* Влияние перемешивания на процесс коагуляции воды. — В сб.: Технология очистки питьевой воды г. Москвы. — М.: Стройиздат, 1974.

112. Рекомендации по технологии обработки речных вод с применением аэрирования на водопроводных очистных сооружениях. — М.: ВНИИ ВОДГЕО. 1975.

113. *Печников В. Г., Хайлов Е. Г.* Десорбция углекислоты при аэрации воды в смесительном устройстве. — В сб.: Технология очистки природных и сточных вод. — М.: Стройиздат, 1973.

114. *Печников В. Г., Фрог Б. Н.* Интенсификация работы водопроводных очистных сооружений методом аэрации // Реферативная информация ЦИНИС Госстроя СССР. Сер. IX, № 4, 1977.

115. *Линевич С. Н., Игнатенко С. И., Гулевич Е. П., Пасюкова М. А.* Коагуляционная обработка донской воды // Водоснабжение и санитарная техника. 1996. № 7.

116. *Бутко А. В., Лысов В. А., Михайлов В. А.* Применение воздуха для интенсификации процесса хлопьеобразования. Интенсификация действующих систем водоснабжения на основе внедрения новой техники и технологии. — М.: МДНТП. 1986.

117. *Бутко А. В., Кургаев Е. Ф., Михайлов В. А.* Применение аэрации для интенсификации хлопьеобразования при осветлении мутных

вод // Сельскохозяйственное водоснабжение и охрана водных ресурсов. — Новочеркасск, 1986.

118. *Бутко А. В., Кургаев Е. Ф., Михайлов В. А.* Методика расчета камеры хлопьеобразования с воздушным перемешиванием // Очистка природных и сточных вод. — Ростов-на-Дону: РИСИ. 1988.

119. *Баринов М. Ю., Сабух Х.* Сравнительные исследования механического и воздушного смешения при реагентной обработке речной воды // Очистка природных и сточных вод. — Ростов-на-Дону: РИСИ. 1990.

120. *Бутко А. В., Кургаев Е. Ф., Михайлов В. А., Лысов В. А.* Исследование пневматического перемешивания коагулированной воды с целью хлопьеобразования // Химия и технология воды. 1991. Т. 13. № 4.

121. *Бутко А. В., Михайлов В. А., Баринов М. Ю., Лысов В. А., Сабух Х., Кургаев Е. Ф.* Применение воздушного перемешивания в процессах смешения и хлопьеобразования // Водоснабжение и санитарная техника. 1995. № 7.

122. *Баринов М. Ю., Бутко А. В., Михайлов В. А., Лысов В. А.* Отстойник для осветления воды. А. с. 1435268, МКИ В 01 Д 21/08 // Открытия. Изобретения. 1988. № 41.

123. *Кургаев Е. Ф., Бутко А. В., Лысов В. А.* и др. Горизонтальный отстойник. А. с. 1673160, МКИ В 01 Д 21/08; С 02 Г 1/52; В 01 Д 21/24 // Открытия. Изобретения. 1991.

124. *Вольфтруб Л. И., Корабельников В. М.* Развитие методов хлопьеобразования и осаждения при очистке природных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2000. № 4.

125. *Вольфтруб Л. И.* Новые конструкции камер хлопьеобразования гидравлического типа. — В сб.: Современные технологии и оборудование для обработки воды на водоочистных станциях. — М., 1997.

126. *Корабельников В. М., Вольфтруб Л. И.* Совершенствование технологии и оборудования систем хозяйственно-питьевого водоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника. 1999. № 6.

127. Методические рекомендации по обеспечению выполнения требований санитарных правил и норм СанПиН 2.1.4.599-96 «Питьевая вода» на водопроводных станциях при очистке природных вод. — М.: Госстрой России, НИИ КВОВ. 2000.

128. *Вольфтруб Л. И.* Использование тонкослойных сотоблоков из полиэтиленовой пленки для повышения эффективности работы отстойников и осветлителей со взвешенным осадком. — В сб.: Современные технологии и оборудование для обработки воды на водоочистных станциях. — М., 1997.

129. *Новиков М. Г.* Реконструкция осадка — метод повышения эффективности работы водоочистных сооружений. — В сб.: Современные технологии и оборудование для обработки воды на водоочистных станциях. — М., 1997.

130. Современные технологии и оборудование для обработки воды на водоочистных станциях. — М.: НИИ КВОВ. 1997.
131. Моль Ж. Подготовка питьевой воды в XXI веке // Водоснабжение и санитарная техника. 1999. № 1.
132. Первов А. Г., Макаров Р. И., Андрианов А. П., Ефремов Р. В. Материалы: новые перспективы освоения рынка питьевой воды // Водоснабжение и санитарная техника. 2002. № 10.
133. СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. — М.: Стройиздат, 1985.
134. Остапенко В. Т., Кулишенко А. Е., Синельник Н. А., Кравченко Т. Б. Применение порошкообразного клиноптилолита при коагулировании поверхностных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 1994. № 5.
135. Ремпель С. И., Бураков М. Р. О механизме явлений при магнитной и высокочастотной водоподготовке // Научные труды АКХ «Водоснабжение». Вып. 30, № 4. — М., 1964.
136. Вейцер Ю. И., Колобова З. А., Апельцина Е. И. Влияние качества воды на процесс электрофоретической очистки // Научные труды АКХ «Водоснабжение». Вып. 98. — М., 1973.
137. Фрог Б. Н., Фрог Д. Б., Скурлатов Ю. И. Эколого-химические аспекты процессов водоочистки и водоподготовки. Проекты развития инфраструктуры города. Вып. 4. Комплексные программы и инженерные решения в области экологии городской среды. — М.: МосводоканалНИИпроект. 2004.
138. Camp T. R. Flocculation and flocculation basins. Proc. Amer. Soc. Civil Engrs, 1953, 79, N 283.
139. Camp T. R. Water and its impurities. Reinhold Publ. Corp., 1963.
140. Hahn H. H., Stumm W. Kinetics of coagulation with Hydrolyzed  $Al^{3+}$ . The Rate Determining step. Colloid and Interf. Sc. 1968, V. 28.
141. Agraman Y., Kaufman W. J. Turbulence and flocculation. ASCE. 1970, V. 96, № 4.
142. Tambo N., Watanabe Y. Physical Aspect of flocculation Process. I. Fundamental Treatise. Water Research, 1979, V. 13, N 5.
143. Water Treatment Plant Design. AWWA, ASCE Conference of State San. Engre, New York, AWWA Inc., 1969.
144. Azevedo-Netto J. M. Achievements in Water Supply, Treatment and Technology in South America. Amer. Water Works Assoc., 1976, V. 68, N 6.
145. Вейцер Ю. И., Колобова З. А. Осаждение коагулирующих суспензий // Научные труды АКХ «Водоснабжение». — М., 1960. № 1.
146. Апельцина Е. И., Вейцер Ю. И., Рыбакова Л. П. Повышение эффективности коагулирования путем интенсификации процесса смешения реагентов с водой // Научные труды АКХ им. К. Д. Памфилова. Вып. 177. — М., 1980.

147. Алексеева Л. П., Драгинский В. Л., Моисеев А. В., Миркис В. И., Куликов В. А., Миркис М. В., Грибелюк Л. А. Реконструкция комплекса водоочистных сооружений города Нефтеюганска. Проекты развития инфраструктуры города. Вып. 4. Комплексные программы и инженерные решения в области экологии городской среды. — М.: Институт МосводоканалНИИпроект. 2004.

148. Бабенков Е. Д. Влияние перемешивания воды на физические параметры коагулированной взвеси // Химия и технология воды. 1980. Т. 2. № 5.

149. Бабенков Е. Д. Режим перемешивания воды в процессах водоподготовки // Химия и технология воды. 1984. Т. 6. № 3.

150. Апельцина Е. И. Современный опыт конструирования и эксплуатации сооружений для коагулирования воды. Сер. Водоснабжение и канализация. Вып. №3(40). — М.: ЦБНТИ МЖКХ РСФСР. 1978.

151. Погосова С. Н., Ашанин В. В. Интенсификация процесса коагуляции высокоцветных природных вод // Труды ВНИИ ВОДГЕО «Технологические процессы, схемы и конструкции сооружений водоподготовки». — М., 1985.

152. Погосова С. Н., Ашанин В. В. Интенсификация процесса коагуляции маломутных цветных вод // Материалы семинара МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского. — М., 1986.

153. Мирзаев А., Николадзе Г. И. Механические смесители очистных станций водопровода // Научные труды Ташкентского политехнического института. 1981. № 324.

154. Погосова С. Н. Интенсификация процесса коагуляции при обработке цветных вод. — М.: ВНИИ ВОДГЕО. 1987.

155. Алексеева Л. П., Драгинский В. Л., Моисеев А. В. Механическое смешение реагентов с обрабатываемой водой // Водоснабжение и санитарная техника. 2001. № 3.

156. Алексеева Л. П., Драгинский В. Л., Моисеев А. В. Пат. на полезную модель № 31992 от 10.09.2003. «Смеситель».

157. Алексеева Л. П., Драгинский В. Л., Моисеев А. В. Пат. на полезную модель № 33718 от 10.11.2003. «Устройство для осветления водных систем».

158. Алексеева Л. П., Драгинский В. Л., Моисеев А. В. Пат. на полезную модель № 33758 от 10.11.2003. «Устройство для очистки водных систем».

159. Алексеева Л. П., Драгинский В. Л., Моисеев А. В. Реконструкция существующих гидравлических смесителей и камер хлопьеобразования и определение оптимальных условий смешения исходной воды с реагентами. Проекты развития инфраструктуры города. Вып. 3. Комплексные программы и инженерные решения в области экологии городской среды. — М.: МосводоканалНИИпроект. 2003.

160. Драгинский В. Л., Алексеева Л. П., Моисеев А. В., Кутахин В. Ф., Стефанов С. И., Агафонов Ю. Н. Комплексный подход к



решению технологической схемы очистки воды на Окском водозаборе г. Калуги // Водоснабжение и санитарная техника. 2003. № 8.

161. *Алексеева Л. П., Драгинский В. Л.* Очистка подземных вод городов Тюменского региона // Водоснабжение и санитарная техника. 2004. № 10.

162. *Мясников И. Н., Потанина В. А., Буков Ю. Б.* Результаты внедрения комбинированного отстойника-коагулятора на водопроводной станции // Водоснабжение и санитарная техника. 2001. № 3.

163. *Усольцев В. А., Краснова Т. А., Баранова Н. И.* Исследование процесса коагуляции при первичном хлорировании воды // Водоснабжение и санитарная техника. 1994. № 11.

164. *Grasso D., Weber W. J., De Kam J. A.* Effects of preoxidation with ozone on water quality: a case study. American Water Works Association Journal. 1989. Vol. 81. N 6.

165. *Коврижных С. А.* Очистка питьевой воды на Восточной водопроводной станции // Водоснабжение и санитарная техника. 1985. № 1.

166. *Шуберт С. А., Демин И. И., Драгинский В. Л.* Озонирование как метод улучшения качества вод // Водоснабжение и санитарная техника. 1985. № 1.

167. *Драгинский В. Л.* Озонирование при подготовке питьевой воды // Водоснабжение и санитарная техника. 1993. № 2.

168. *Кожин И. В., Драгинский В. Л., Алексеева Л. П.* Особенности применения озона на водоочистных станциях России // Водоснабжение и санитарная техника. 1997. № 10.

169. *Жуков Н. Н., Драгинский В. Л., Алексеева Л. П.* Озонирование воды в технологии водоподготовки // Водоснабжение и санитарная техника. 2000. № 1.

170. *Алексеева Л. П., Цинберг М., Межибовская Г., Шамсутдинова М. В., Сурина Т. А.* Исследование эффективности процесса озонирования для подготовки питьевой воды // Водоснабжение и санитарная техника. 1996. № 2.

171. *Alekseeva L., Draginsky V.* Use of Ozone in Water Treatment in Russia Regional Conference in Ozone. Amsterdam, 1996.

172. *Алексеева Л. П., Драгинский В. Л.* Применение озона для очистки воды различных водисточников России // Химия в интересах устойчивого развития. Т. 5. 1997.

173. Очистка подземных вод от соединений железа и марганца // Химия в интересах устойчивого развития. Т. 5. 1997.

174. *Draginsky V., Alekseeva L.* Research on the Effectiveness of Ozonation for the Treatment of Iron and Manganese. International Regional Conference on Ozonation. Berlin, 1997.

175. Методические рекомендации по применению озонирования и сорбционных методов в технологии очистки воды от загрязнений природного и антропогенного происхождения. — М.: НИИ КВОВ. 1995.

176. *Дмитриев В. Д.* Методы подготовки воды в условиях Севера. — Л.: Стройиздат, 1981.

177. *Рапопорт Я. Д.* Электролитическая коагуляция воды // Научные труды АКХ «Водоснабжение». Вып. 52, № 5. — М., 1969.

178. *Драгинский В. Л., Алексеева Л. П.* Повышение эффективности реагентной обработки воды // Чистый город. 2000. № 5.

179. *Драгинский В. Л., Алексеева Л. П.* Повышение эффективности реагентной обработки воды на водопроводных станциях // Водоснабжение и санитарная техника. 2000. № 5.

180. *Алексеева Л. П.* Оценка эффективности применения оксихлорида алюминия по сравнению с другими коагулянтами // Водоснабжение и санитарная техника. 2003. № 2.

181. *Гумен С. Г., Дариенко И. Н., Евельсон Е. А., Русанова Л. П.* Применение современных химических реагентов для обработки маломутных цветных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2001. № 3.

182. *Стрелков А. К., Быков Д. Е., Назаров А. В.* Изучение коагулирующей способности водных растворов полигидроксохлоридов алюминия // Водоснабжение и санитарная техника. 2001. № 3.

183. *Соренссон О.* Полиалюмохлорид — современный флокулянт для водоочистки // Водоснабжение и санитарная техника. 2001. № 3.

184. *Константинов Д. В., Помосова Н. Б., Татура А. Е., Снигирев С. В.* Изучение эффективности новых отечественных реагентов на водопроводной станции г. Сарпула // Водоснабжение и санитарная техника. 2003. № 9.

185. *Герасименко И. А., Холодинская Н. В., Гетманцев С. В., Романова О. А.* Применение различных типов коагулянтов при водоподготовке в г. Минске // Водоснабжение и санитарная техника. 2003. № 2.

186. *Линевич С. Н., Сикачев В. А., Богданов С. С., Гетманцев С. В.* Экспериментально-теоретические и производственные испытания полиоксихлорида алюминия на донской воде // Водоснабжение и санитарная техника. 2004. № 9.

187. *Линевич С. Н., Нарочная В. М., Гетманцев С. В.* Улучшение водоподготовки на водопроводе. Новочеркасская ГРЭС — пос. Донской // Водоснабжение и санитарная техника. 2004. № 9.

188. *Гетманцев С. В., Линевич С. Н., Казанов Л. С.* Коагуляционная водообработка на Таманском групповом водопроводе // Водоснабжение и санитарная техника. 2004. № 9.

189. *Ланге Л. Р., Вагина М. П., Михеева Г. Ф.* Подбор высокоэффективных реагентов для очистки питьевой воды г. Новокузнецка. Водоснабжение и водоотведение: качество и эффективность // Тезисы докладов Международной научно-практической конференции — Кемерово, 1999.

190. *Гридасов В. В., Вагина М. П., Ланге Л. Р.* Реагенты, применяемые на водоочистных сооружениях г. Новокузнецка, для очистки питье-

вой воды// Труды VI Научно-практической конференции «Водоснабжение и водоотведение: качество и эффективность». — Кемерово, 2004.

191. *Вдовин Ю. И.* Водоснабжение на Севере. — Л.: Стройиздат, 1987.

192. *Порядин А. Ф.* Водоснабжение в Сибири. — Л.: Стройиздат, 1983.

193. *Сычев А. В., Хасанов Ш. А., Канивец Л. П., Солтан Н. М., Батыева Л. Д.* Использование полиоксихлорида алюминия при подготовке питьевой воды на Крайнем Севере// Водоснабжение и санитарная техника. 2003. № 2.

194. *Потанина В. А., Мясников И. Н., Гетманцев С. В., Хасанов Ш. А.* Коагуляционная обработка поверхностных вод Норильского региона// Труды VI Международной научно-практической конференции «Водоснабжение и водоотведение: качество и эффективность». — Кемерово, 2003.

195. *Плешаков В. Д.* Удаление сероводорода из артезианских вод. — М.: МКХ РСФСР. 1956.

196. *Линевич С. Н.* Использование природных сероводородных вод в народном хозяйстве. — Ростов-на-Дону, 1972.

197. *Линевич С. Н.* Очистка природных и сточных сероводородных вод. Учебное пособие. — Новочеркасск, 1979.

198. *Линевич С. Н., Игнатенко С. И.* Электрокинетическая характеристика коллоидной серы, образующейся при окислительной обработке сероводородных вод// Технические аспекты рационального использования курортных ресурсов/ Межвуз. сб. — Новочеркасск: НПИ, 1982.

199. *Линевич С. Н.* Комплексная обработка и рациональное использование сероводородсодержащих природных сточных вод. — М., 1987.

200. *Линевич С. Н., Гетманцев С. В., Кудинов И. А., Казанов Л. С., Бондарюк А. Н., Квитовская О. Н., Журенкова Л. В.* Особенности коагуляционной обработки сероводородсодержащих вод на Ейском групповом водопроводе// Водоснабжение и санитарная техника. 2004. № 9.

201. *Фесенко Л. Н.* Очистка воды от сероводорода с использованием электрохимических процессов. — Ростов-на-Дону: Изд. СКНЦ ВШ, 2001.

202. *Кульский Л. А., Накорчевская В. Ф., Слипченко В.* Активированная кремнекислота и проблема качества воды. — Киев: Наукова думка, 1969.

203. *Гервиц Э. И.* В сб. Прогрессивные методы очистки природных и сточных вод. — М.: МИСИ. 1971.

204. *Лысов В. А., Турянский И. П., Ананко П. Д., Нечаява Л. И., Бутко А. В.* Применение активированной кремнекислоты для очистки

природных вод. Очистка природных и сточных вод. — Ростов-на-Дону: РГАС. 1994.

205. *Паскуцкая Л. Н.* Исследование влияния полиакриламида на процесс фильтрации// Научные труды АКХ им. К. Д. Памфилова. Вып. 22. «Водоснабжение». № 3. — М.: АКХ. 1963.

206. *Вейцер Ю. И., Паскуцкая Л. Н., Чернова З. В.* Полиакриламид в обработке питьевой воды// Научные труды АКХ РСФСР. Вып. 53, № 6. 1968.

207. *Вейцер Ю. И.* Коагулянты и вещества, способствующие коагуляции// Журнал Всесоюзного химического общества им. Д. И. Менделеева. 1960. Т. V. № 6.

208. *Вейцер Ю. И.* Опыт применения полиакриламида на водопроводах СССР// Водоснабжение и санитарная техника. 1963. № 6.

209. *Вейцер Ю. И., Паскуцкая Л. Н.* О применении высокомолекулярных флокулянтов для интенсификации очистки воды// Научные труды АКХ им. К. Д. Памфилова. «Водоснабжение». Вып. 1. — М., 1960.

210. *Вейцер Ю. И., Колобова З. А., Стерина Р. М.* Механизм флокулирующего действия технического полиакриламида// Научные труды АКХ «Водоснабжение». Вып. 22. № 3. — М., 1963.

211. *Лубочников Н. Т.* Применение ПАА при обработке промывных вод контактных осветлителей// Научные труды АКХ «Водоснабжение». Вып. 22. № 3. — М., 1963.

212. *Осипова И. А., Милованов В. Ф., Морозков П. М.* Опыт применения полиакриламида для улучшения работы очистных сооружений Южной водопроводной станции г. Ленинграда// Научные труды АКХ «Водоснабжение». Вып. 30. № 4. — М., 1964.

213. *Орлов Г. А.* Применение полиакриламида на очистных сооружениях Пензенского водопровода// Научные труды АКХ «Водоснабжение». Вып. 30. № 4. — М., 1964.

214. *Вейцер Ю. И., Паскуцкая Л. Н., Чернова З. В.* Полиакриламид в обработке питьевой воды// Научные труды АКХ «Водоснабжение». Вып. 53. № 6. — М., 1968.

215. *Вейцер Ю. И., Минц Д. М.* Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки воды. — М.: Стройиздат, 1975.

216. *Вейцер Ю. И., Стерина Р. М.* Катионные флокулянты для очистки питьевой воды// Водоснабжение и санитарная техника. 1965. № 9.

217. *Драгинский В. Л.* Исследование влияния флокулянта ВА-2 на процесс фильтрования// Научные труды АКХ им. К. Д. Памфилова. «Водоснабжение». Вып. 52. № 5. — М., 1969.

218. *Вейцер Ю. И., Стерина Р. М.* Взаимодействие флокулянта ВА-2 с гуминовыми кислотами// Научные труды АКХ им. К. Д. Памфилова. «Водоснабжение». Вып. 52. № 5. — М., 1969.

219. Паскуцкая Л. Н., Драгинский В. Л. Применение катионного флокулянта ВА-2 в процессах очистки питьевой воды // Водоснабжение и санитарная техника. 1970. № 1.
220. Паскуцкая Л. Н., Драгинский В. Л. Результаты опытного применения катионного флокулянта ВА-2 на уфимском водопроводе // Сб. научных трудов «Водоснабжение». Вып. 76. № 7. — М., 1970.
221. Криштул В. П., Драгинский В. Л., Витвицкая Б. Р. Производственные испытания катионного флокулянта ВА-2 // Научные труды АКХ «Водоснабжение». Вып. 141. — М., 1977.
222. Михайлов В. А., Бутко А. В., Лысов В. А., Моктар А. А. Применение катионного флокулянта ВПК-402 на водопроводе г. Ростова-на-Дону // Водоснабжение и санитарная техника. 1997. № 7.
223. Персидский Б. П., Тараско А. И., Педашенко Д. Д., Божко Л. Н. и др. Технология очистки донской воды обработкой катионным флокулянтам. — В сб.: Новые технологии и оборудование в водоснабжении и водоотведении. Вып. 2. — М., 2000.
224. Гордеев-Гавриков В. К., Педашенко Д. Д., Божко Л. Н. Способы очистки мутных поверхностных вод. Городское хозяйство и экология // Известия АЖКХ. 2000. № 1.
225. Соколов В. Д., Бояркина Н. М., Сколубович Ю. Л. Испытание новых реагентов для очистки воды р. Томь // Водоснабжение и санитарная техника. 1996. № 10.
226. Перфильев В. П., Михеева Г. Б., Вагина М. П., Гохман Б. М., Ланге Л. Р. Опыт применения катионного флокулянта ВПК-402 при очистке воды реки Томь на очистных сооружениях Драгунского цеха водоснабжения // Труды IV Научно-практической конференции "Водоснабжение и водоотведение: качество и эффективность". — Кемерово, 2001.
227. Лысов В. А., Вильсон Е. В., Бутко А. В., Бутко Д. А. Алюмо-силикатный флокулянт в процессах водоподготовки и водоочистки // Водоснабжение и санитарная техника. 2002. № 11.
228. Кузнецов О. Ю., Данилина Н. И. Очистка и обеззараживание воды бактерицидным полиэлектролитом // Водоснабжение и санитарная техника. 2000. № 10.
229. Ефимов К. М., Гембицкий П. А., Дюмаева И. В., Данилина Н. И. Дезинфицирующие флокулянты для очистки и обеззараживания питьевых и сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2001. № 4.
230. Феодфанов Ю. А., Смирнова Л. Ф. Новые виды флокулянтов // Водоснабжение и санитарная техника. 1995. № 7.
231. Кузьмина Н. П., Платонова О. А., Ищенко И. Г., Эм И. Ю. Применение высокомолекулярных полимерных соединений для глубокой очистки воды на стадии коагуляции // Проекты развития инфраструктуры города. Вып. 4. Комплексные программы и инженерные решения в области экологии городской среды. — М.: Мосводоканал-НИИпроект. 2004.
232. Акрамов Р. Л., Бордукова Е. А., Плотко Э. Г., Семенкина К. И., Гурвич В. Б., Свиридов А. В. Гигиеническая оценка совершенствования технологии подготовки питьевой воды на основе внедрения реагентов нового поколения // www.ocsep.ru.
233. Соловьев В. Е., Фролов К. И., Чипкина Л. С. и др. Опыт применения новых коагулянтов на основе солей алюминия на станциях водоподготовки г. Перми. Водоснабжение и водоотведение: качество и эффективность // Тезисы докладов Международной научно-практической конференции. — Кемерово, 1999.
234. Соловьев В. Е., Фролов К. И., Чипкина Л. С., Хайруллин И. Д. и др. Опыт применения новых коагулянтов на основе солей алюминия на станциях водоподготовки г. Перми // Новые технологии и оборудование в водоснабжении и водоотведении. Вып. 2. — М., 2000.
235. Сафин Р. Н., Базин С. В., Гетманцев С. В., Снигирев С. В., Чуриков Ф. И. Применение полиоксихлорида алюминия на водозаборах ОАО "Татнефть" // Водоснабжение и санитарная техника. 2003. № 2.
236. Гетманцев С. В., Рученин А. А., Снигирев С. В., Чуриков Ф. И. Оценка эффективности применения различных типов коагулянтов для очистки воды // Водоснабжение и санитарная техника. 2003. № 9.
237. Сафин Р. Н., Базин С. В., Гетманцев С. В. Расчет экономического эффекта от применения коагулянтов // Водоснабжение и санитарная техника. 2003. № 9.
238. Мясников И. Н., Потанина В. А., Буков Ю. Б., Лягтезмяки Х. Совершенствование реагентной очистки на водопроводной станции // Водоснабжение и санитарная техника. 1995. № 2.
239. Мясников И. Н., Потанина В. А., Буков Ю. Б. Роль реагентов в сложных условиях водопроводной станции // Водоснабжение и санитарная техника. 1996. № 5.
240. Гетманцев С. В., Мясников И. Н., Потанина В. А., Сычев А. В. Использование алюмосодержащих коагулянтов в Северо-Западном федеральном округе. Технология применения полиоксихлоридов алюминия для очистки воды // Вода и экология. 2002. № 2.
241. Гетманцев С. В. Использование алюмосодержащих коагулянтов в Северо-Западном федеральном округе. Производство и импорт коагулянтов // Вода и экология. Проблемы и решения. 2001. № 4.
242. Водоснабжение Санкт-Петербурга. — С.-П.: ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга». 2003.
243. От истока до Москвы. — М.: Мосводоканал. 1999.
244. Храменков С. В., Коверга А. В., Благова О. Е. Использование современных коагулянтов и флокулянтов в системе московского водопровода // Водоснабжение и санитарная техника. 2001. № 3.
245. Волков В. З., Столярова Е. А., Никольская Е. А. Новые коагулянты в практике московского водопровода // Водоснабжение и санитарная техника. 2003. № 2.



246. *Королев А. А., Красовский Г. Н.* Гигиеническое обоснование допустимого остаточного количества в питьевой воде нового реагента — оксихлорида алюминия // Гигиена и санитария. 1978. № 4.
247. *Брусницина Л. А., Пьянков А. А., Богомазов О. А., Лобанов Ф. И., Хартан Х.-Г.* Опыт применения полиэлектролитов «Праестол» для повышения качества питьевой воды и обезвоживания осадков // Вода и экология. 2000. № 1.
248. *Захаров В. Р., Шевченко В. С.* Опыт применения флокулянта Floquat FL-45 С для водоподготовки в МУП «Водоканал» г. Омска // Водоснабжение и санитарная техника. 2004. № 9.
249. *Тихонова Е. А.* Краткий обзор лабораторных испытаний коагулянтов и флокулянтов производства компании SNF Floerger // Материалы фирмы.
250. *Пииртола Л.* Коагулянты на основе трехвалентного железа для подготовки питьевой воды // Водоснабжение и санитарная техника. 2001. № 3.
251. *Герасимов Г. Н.* Процессы коагуляции—флокуляции при обработке поверхностных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2001. № 3.
252. *Шевелев Ф. А., Орлов Г. А.* Водоснабжение больших городов зарубежных стран. — М.: Стройиздат, 1987.
253. *Орлов Г. А., Железнова Г. Л.* Перспективные методы подготовки воды // Обзорная информация. Водоснабжение и канализация. Вып. 2(68). — М.: ЦБНТИ МЖКХ РСФСР. 1987.
254. *Абрамович С. Ф., Рапопорт Я. Д.* Тенденции развития водоснабжения больших городов за рубежом // Обзор. Вып. 1. — М.: ВНИИС. 1985.
255. *Бабицкий Л.* Автоматизированные системы для блока реагентного хозяйства водопроводной станции // Современные технологии автоматизации. 2000. № 1.
256. *Смирнов Д. Н.* Автоматическое регулирование процессов очистки природных и сточных вод. — М.: Стройиздат, 1985.
257. *Соколов М. В., Гуревич А. Л.* Автоматическое дозирование жидких сред. — Л.: Химия, 1987.
258. *Орлов В. А., Соловьев А. Е., Белевская О. Н.* Технологические схемы и аппараты для приготовления и дозирования реагентов в процессе водоподготовки. Обзорная информация. Водоснабжение и канализация. Вып. 2(75). — М.: ЦБНТИ МЖКХ РСФСР. 1989.
259. Установка для приготовления раствора полиакриламида // Реклама машиностроительного завода «Коммунальник».
260. УРП-3. Новые технологии в водоснабжении и водоотведении. Вып. 4. — М., 2003.
261. Установка FLOQUJP™ // Реклама фирмы СНФ.
262. *Фролов В. С., Плюхин С. В.* Установки для растворения и дозирования флокулянтов // Труды VI Международной научно-практи-

ческой конференции «Водоснабжение и водоотведение: качество и эффективность». — Кемерово, 2003.

263. Установка POLYDOS 412 фирмы «Дегусса Евразия» // Комплект чертежей на установку.
264. Проспект фирмы «Сигма» (ЧССР).
265. Проспект фирмы «Борнеман» (ФРГ).
266. Проспект фирмы «Kemiga» (Финляндия).
267. Проспект фирмы «Сарлин» (Финляндия).
268. *Лямаев Б. Ф.* Гидроструйные насосы и установки. — Л.: Машиностроение, 1988.
269. ЗАО «Дозировочные насосы и системы (г. Тула)» // Новые технологии и оборудование в водоснабжении и водоотведении. Вып. 3. — М., 2001.
270. Гидромашсервис. Каталог насосного оборудования. Ч. 1. — М., 2003.
271. Дозирующие насосы фирмы «ProMinent». Группа компаний «Национальные водные ресурсы» // Новые технологии и оборудование в водоснабжении и водоотведении. Вып. 3. — М., 2001.
272. Современные технологии дозирования и смешивания. Dosargo Milton Roy (Франция) // Новые технологии и оборудование в водоснабжении и водоотведении. Вып. 3. — М., 2001.
273. Проспект фирмы Jurbi Watertech (Лондон, Великобритания).
274. Проспект АО «Фильтер» (Финляндия).
275. Гигиеническая оценка материалов, реагентов, оборудования, технологий, используемых в системах водоснабжения. Методические указания МУ 2.1.4.783-99. — М.: Минздрав России. 1999.
276. Санитарно-эпидемиологический надзор за использованием синтетических полиэлектролитов в практике питьевого водоснабжения. Методические указания МУ 2.1.1.4.1060-01. — М.: Минздрав России. 2001.
277. *Жолдакова З. И., Полякова Е. Е., Сеницына О. О., Зайцев Н. А.* Гигиеническая оценка безопасности реагентов // Водоснабжение и санитарная техника. 2004. № 1.
278. *Martyn C. N., Barker D. J. P., Osmond C.* Geographical relation between Alzheimer's disease and aluminum in drinking water. Lancet. 1989, № 1.
279. *McLachlan D. R. C., Bergeron C., Smith J. E.* Risk for neuropathologically confirmed Alzheimer's disease and residual aluminum in municipal drinking water employing weighted residential histories. Neurology. 1996. № 46.
280. *Жолдакова З. И., Сеницына О. О., Харчевникова Н. В., Зайцев Н. А.* Проблема единого эколого-гигиенического нормирования химических веществ в окружающей среде // Гигиена и санитария. 1998. № 4.

281. Жалдакова З. И., Синицына О. О., Полякова Е. Е. Проблема стабильности и трансформации в комплексном гигиеническом нормировании химических веществ // Гигиена и санитария. 2002. № 6.
282. Полякова Е. Е. Сравнительная оценка опасности веществ промышленного происхождения и продуктов их трансформации, образующихся при обеззараживании воды: Автореф. дис. — М., 2002.
283. Коралев А. А., Красовский Г. Н. Гигиеническое обоснование допустимого остаточного количества в питьевой воде нового реагента — оксихлорида алюминия // Гигиена и санитария. 1978. № 4.
284. ГН 2.1.5.1093-02. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воды водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Дополнение № 3 к ГН 2.1.5.689-98.
285. Апельцина Е. И., Рыбаков И. Н. Определение режима регенерации коагулянта из осадков водопроводных станций в условиях накопления токсичных загрязнений // Санитарная техника. Вып. 2. — М.: ЦИНИС. 1977.
286. Вейцер Ю. И. Методы и способы регенерации коагулянтов из осадков. — В кн.: «Водоснабжение и канализация». — М.: ЦБНТИ МКХ. 1971.
287. Вейцер Ю. И., Колобова З. А. Регенерация коагулянта из осадков водопроводных станций // Водоснабжение и санитарная техника. 1974. № 1.
288. Любарский В. М., Луценко Г. Н., Цветкова А. И., Рыбников И. Н. Использование гидроксидных осадков природных вод при очистке городских сточных вод. — В сб.: «Технология производства и конструкция сооружений для очистки городских сточных вод». — М.: АКХ. 1980.
289. Клячко В. А. Регенерации коагулянта из осадка отстойников водоочистных станций // Водоснабжение и санитарная техника. 1940. № 8.
290. Rorengvist R. Alkalisk regenering av aluminium ur slam fran ytvattenverk — Diplomtyo, Abo Akademi. 1975.
291. Bishop S. L. Alternate Processes for Treatment of Water Plant Wastes. Journal AWWA. V. 70, № 9. 1978, p. 503.
292. Беляева С. Д. Технология получения щелочного коагулянта при обработке осадков природных вод: Дис. канд. техн. наук. — М., 1987.
293. Климкина Н. В., Цыплакова Г. В., Анисимова и др. Санитарно-гигиеническая оценка коагулянтов, регенерированных из алюмосодержащих осадков природных вод с помощью извести // Гигиена и санитария. 1986. № 10.
294. Любарский В. М., Беляева С. Д., Цыплакова Г. В., Семенова О. Г. Щелочная регенерация коагулянта при известковой обработке осадков // Водоснабжение и санитарная техника. 1989. № 5.
295. Любарский В. М. Осадки природных вод и методы их обработки. — М.: Стройиздат, 1980.
296. Драгинский В. Л., Алексеева Л. П., Усольцев В. А., Соколов В. Д. Повышение качества водопроводной воды на примере городов Кузбасса // Известия ЖКА «Городское хозяйство и экология». Вып. 3. 1996.
297. Усольцев В. А., Соколов В. Д., Скалубович Ю. Л., Алексеева Л. П., Драгинский В. Л. Подготовка воды питьевого качества в г. Кемерове. — М., 1996.
298. Драгинский В. Л., Алексеева Л. П., Алексеев С. Е. Оценка эффективности и глубины очистки воды методами биотестирования // Водоснабжение и санитарная техника. 1998. № 5.
299. Драгинский В. Л., Алексеева Л. П., Серов В. А., Раскатов В. М., Филиппов Е. К., Чухланцева Г. Г., Становских А. А. Подготовка водоочистных станций к работе в условиях требований СанПиН 2.1.4.559-96 // Водоснабжение и санитарная техника. 1999. № 10.
300. Драгинский В. Л., Алексеева Л. П., Сабельфельд А. В., Гридасов Г. Г., Усольцев В. А., Соколов В. Д. Подготовка водоочистных станций к работе в условиях требований СанПиН 2.1.4.559-96 (на примере городов Кузбасса) // Водоснабжение и санитарная техника. 1999. № 11.
301. Драгинский В. Л., Алексеева Л. П. Обеспечение качества питьевой воды в свете новых нормативных требований // Водоснабжение и санитарная техника. 2004. № 9.
302. Драгинский В. Л., Алексеева Л. П., Аниськин А. А., Филиппов Е. К., Данилов В. Д., Лошманова Е. О. Повышение эффективности очистки воды на ЮВС г. Ярославля // Водоснабжение и санитарная техника. 2002. № 5.
303. Алексеева Л. П., Драгинский В. Л., Моисеев А. В., Аниськин А. А., Данилов В. Д., Филиппов Е. К. Применение новых технологий очистки воды на водопроводе г. Ярославля // Водоснабжение и санитарная техника. 2003. № 4.
304. Драгинский В. Л., Алексеева Л. П., Моисеев А. В. Обследование и экспертиза работы водоочистных станций с целью повышения эффективности их работы // Материалы 5-го Международного конгресса «Вода: экология и технология. Экватэк-2002». — М., 2002.
305. Драгинский В. Л., Алексеева Л. П., Крапивин Г. И. Повышение качества очистки воды на примере водопроводных станций г. Ижевска // Жилищно-коммунальное хозяйство. 1999. № 4.
306. Драгинский В. Л., Алексеева Л. П., Аниськин А. А., Данилов В. Д., Филиппов Е. К. Совершенствование технологии очистки воды на водопроводе г. Ярославля // Водоснабжение и санитарная техника. 2003. № 4.
307. Омаров Н. А., Гаджиханов М. Н., Драгинский В. Л., Алексеева Л. П. Очистка геотермальных вод от органических загрязнений и цветности // Водоснабжение и санитарная техника. 2001. № 9.

308. Драгинский В. Л., Алексеева Л. П., Якушев Н. М. Групповые водопроводы в России// Водоснабжение и санитарная техника. 1999. № 5.

309. Викснэ А. А., Федотов В. Г., Миловский В. В., Якушев Н. М., Драгинский В. Л., Алексеева Л. П. Водоочистные станции групповых водопроводов России// Мелиорация и водное хозяйство. 2000. № 2.

310. Журба М. Г., Любина Т. Н., Мезенева С. А., Журба Ж. М., Приемышев Ю. Р., Мякишев В. А. Новые решения в подготовке питьевых вод// Водоснабжение и санитарная техника. 1994. № 1.

311. Журба М. Г., Нечаев А. П., Говорова Ж. М. и др. Классификаторы технологий очистки природных вод. — М.: НИИ ВОДГЕО. 2000.

312. Говорова Ж. М. Выбор и оптимизация водоочистных технологий. — Вологда, 2003.

313. Журба М. Г., Говорова Ж. М., Васечкин Ю. С. Оптимизация комплекса технологических процессов водоочистки// Водоснабжение и санитарная техника. 2001. № 5. Ч. 1.

314. Бо Д., Герасимов Г. Н., Коверта А. В., Завадский А. В. Пилотные испытания по питьевой водоподготовке в условиях Москворецкого водоисточника// Водоснабжение и санитарная техника. 1999. № 9.

315. Герасимов Г. Н. Пилотные испытания по питьевой водоподготовке в условиях Москворецкого водоисточника// Водоснабжение и санитарная техника. 1999. № 10.

316. Дариенко И. И., Алексеев Л. Л., Гумен С. Г., Новиков М. Г. Подготовка водопроводного хозяйства Санкт-Петербурга к внедрению нового стандарта на питьевую воду// Водоснабжение и санитарная техника. 1997. № 1.

317. Никитин А. М., Курбатов П. В. Некоторые аспекты очистки маломутных высокоцветных вод// Водоснабжение и санитарная техника. 1999. № 3.

318. Турянский И. П., Бутко А. В., Лысов В. А. и др. Наладка и эксплуатация систем водоснабжения. Уч. пособие. — Ростов-на-Дону, 2002.

319. Блувштейн М. М. Повышение эффективности работы очистных сооружений водопровода. — М.: Стройиздат, 1977.

320. Турянский И. П., Гончаров С. И., Климова В. В. Исследование реагентных методов интенсификации работы водоохраных очистных сооружений г. Анапы. — Ростов-на-Дону: РИСИ. 1984.

321. Руденко Г. Г., Горюновский И. Т. Удаление примесей из природных вод на водопроводных станциях. — Киев: Будивельник, 1976.

322. Тарасевич Ю. И. Природные сорбенты в процессах очистки воды. — Киев: Наукова думка, 1981.

323. Станков С. К., Низковских В. М., Багаев Ю. Г. Совершенство в организации наладочных работ// Водоснабжение и санитарная техника. 1999. № 6.

324. Базин С. В., Гетманцев С. В., Насыбуллин Г. Р., Нуруллина И. И. Применение полиоксихлорида алюминия для очистки камской воды// Водоснабжение и санитарная техника. 2003. № 9.

325. Сычев А. В., Гетманцев С. В. Некоторые вопросы применения полиоксихлорида алюминия «АКВА-АУРАТ™30»// Водоснабжение и санитарная техника. 2004. № 9.

326. Чуриков Ф. И., Сизгирев С. В., Рученин А. А., Гетманцев С. В. Барьерная роль водоочистных сооружений в отношении взвешенных веществ природной воды// Водоснабжение и санитарная техника. 2004. № 1.

327. Шутько А. П. Очистка воды основными хлоридами алюминия. — Киев: Техника, 1984.

328. Лягтезняки Х. Коагуляция — основной метод очистки воды// Водоснабжение и санитарная техника. 1999. № 10.

329. Фрог Б. Н., Левченко А. П. Водоподготовка. Уч. пособие для вузов. — М.: Изд. МГУ. 1996.

330. Николадзе Г. И. Улучшение качества подземных вод. — М.: Стройиздат, 1987.

331. Николадзе Г. И. Технология очистки природных вод. — М., 1987.

332. Прогрессивные методы обработки воды для питьевых нужд. — М.: СЭВ, СРВО. 1986.

333. «Дегремон». Технические записки по проблемам воды. В 2-х т. — М.: Стройиздат, 1983.

334. Справочник фирмы «Дегремон» по водоснабжению и водоотведению. — Берлин. Bauerlag, 1974.

335. Рекомендации по повышению устойчивости работы водопроводно-канализационных сооружений, предупреждение и ликвидация аварий и брака. — М., 1998.

336. Правила технической эксплуатации систем и сооружений коммунального водоснабжения и канализации. — М., 2000.

337. Рекомендации по технологии хлорирования для устранения биологических факторов ухудшения качества воды в протяженных водоводах. — М.: АКХ. 1988.

338. Справочник проектировщика. Водоснабжение населенных мест и промышленных предприятий. — М.: Стройиздат, 1977.

339. Технические указания на проектирование и эксплуатацию сооружений обезжелезивания воды фильтрованием с упрощенной системой азрации. — М.: АКХ. 1980.

340. Рекомендаций на применение технологии очистки вод двухступенчатым фильтрованием. — М.: АКХ. 1983.

341. Методические указания по внедрению и применению СанПиН 2.1.4.599-96. МУ 2.1.4.682-97. — М.: Минздрав России. 1998.

342. Новые технологии и оборудование в водоснабжении и водоотведении. Вып. 1—5. — М.: Госстрой России, НИИ КВОВ. 1999—2005.



343. *Порядин А. Ф.* Управление охраной окружающей среды в системе Водоканалов городов России // Водоснабжение и санитарная техника. 2004. № 7.

344. Технические указания на применение полиакриламида ПАА для очистки питьевых вод на городских водопроводах. — М.: АКХ. 1966.

345. *Педашенко Д. Д., Божко Л. Н.* Осветление мутных поверхностных вод на коммунальных водопроводах // Водоснабжение и санитарная техника. 2004. № 1.

346. Коагулянты для очистки питьевой воды. Под ред. Турчиновича В. Т. — М.: МКХ РСФСР. 1948.

347. Технология очистки воды. Материалы Международной научно-практической конференции. — В сб.: «Техновод-2004». — Новочеркасск, 2004.

348. *Фомин Г. С.* Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам. Энциклопедический справочник. — М., 2000.

349. *Гончарук В. В., Потапенко Н. Г.* Современное состояние проблемы обеззараживания воды // Химия и технология воды. Т. 20. № 2. 1998.

350. *Харабрин А. В.* Экологический мониторинг качества воды и оценка барьерной роли сооружений водоподготовки (на примере Северного ковшового водопровода г. Уфы): Дис. канд. техн. наук. — Уфа, 2004.

351. *Григорьева Л. В., Салата О. В., Колесникова В. Г.* и др. Химия и технология воды. Т. 10. № 5. 1988.

352. *Русанова Н. А.* Подготовка воды с учетом микробиологических и паразитологических показателей // Водоснабжение и санитарная техника. 1998. № 3.

353. *Русанова Н. А., Непаридзе Г. Г., Недачин А. Е.* и др. Удаление вирусной микрофлоры при водоподготовке // Водоснабжение и санитарная техника. 1993. № 2.

354. *Рахманин Ю. А., Жолдакова З. И., Полякова Е. Е.* и др. Совместное применение активного хлора и коагулянтов для очистки и обеззараживания питьевой воды // Гигиена и санитария. 2004. № 1.

355. *Жолдакова З. И., Полякова Е. Е., Артемова Т. З., Иванова Л. В.* Гигиеническая оценка способов очистки и обеззараживания воды с применением коагулянтов и активного хлора // Водоснабжение и санитарная техника. 2003. № 9.

356. *Мясников И. Н., Потанина В. А., Жолдакова З. И., Артемова Т. З.* Исследование процессов коагуляции и обеззараживания при очистке воды поверхностных источников // Водоснабжение и санитарная техника. 2003. № 9.

357. *Авчинников А. В.* Гигиеническая оценка современных способов обеззараживания питьевой воды. Обзор // Гигиена и санитария. 2001. № 2.

358. *Авчинников А. В.* Гигиеническая оценка комбинированного действия ультрафиолетового излучения и химических реагентов при обеззараживании питьевой воды // Химическая и биологическая безопасность. 2002. № 1—2.

359. *Акрамов Р. Л., Борзунова Е. А., Плотко Э. Г.* и др. Гигиеническая оценка совершенствования технологии подготовки питьевой воды на основе внедрения реагентов нового поколения // www.ocsen.ru.

360. *Селянкина К. П., Хачатуров А. А., Гуфвич В. Б.* и др. Гигиеническая оценка технологий интенсификации обеззараживания питьевой воды. — Екатеринбург, 2004.

361. *Акрамов Р. Л., Борзунова Е. А., Плотко Э. Г.* и др. Токсикологическая оценка питьевой воды после обработки новыми реагентными материалами // www.ocsen.ru.

362. *Долганосов Б. М.* Барьерная роль водопроводных станций в условиях повышенного загрязнения водисточников // Сантехника. 2004. № 5.

## Характеристики водопроводных станций за рубежом

1 Город, станция, водосточник, характеристики	2 Технологическая схема очистки	3 Механическое смещение
<p><b>Амстердам,</b> Ньювегейн, Р. Рейн Производительность — 320 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Мутность — 6—110 мг/л. Цветность — 9—51 град</p>	<p>Предназначена для предварительной обработки речной воды и подачи ее на инфильтрацию. Смесители — камеры хлопьеобразования — горизонтальные отстойники, скорые фильтры (<math>V_{\phi} = 3</math> м/ч). Промывка-водовоздушная. Реагенты — хлорное железо (<math>D_{\kappa} = 3</math> мг/л), сода — 10—15 мг/л. Хлорное железо доставляется автоцистернами в виде раствора крепостью 41 %</p>	<p>Шесть камер хлопьеобразования, 18x17x4 м, оборудованы механическими мешалками: <math>d = 3,5</math> м с переменной частотой вращения 0—4 мин<sup>-1</sup>. Время пребывания в камере — 20 мин</p>
<p>Лейдуин Инфильтрационная вода Производительность — 200 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Мутность — 21 град. ПО — 11 мгО<sub>2</sub>/л</p>	<p>Очистка воды после инфильтрационных бассейнов. Аэратор, реагентная обработка (ПАУ и сода), скорые (<math>V_{\phi} = 3 \div 5</math> м/ч) и медленные фильтры (<math>V_{\phi} = 0,3 \div 0,5</math> м/ч). Промывка — водовоздушная</p>	
<p>Лоендервин, оз. Лоендервин Производительность — 100 тыс. м<sup>3</sup>/сут</p>	<p>Для предварительной очистки озерная вода обрабатывается хлорным железом (<math>D_{\kappa} = 8</math> мг/л) и поступает в наливное водохранилище <math>W = 10</math> млн м<sup>3</sup>, где она пребывает в течение 100 сут. Далее из водохранилища вода насосом подается на скорые префильтры, откуда перекачивается на станцию "Веесперкарспел" для доочистки. Префильтры загружены песком <math>d = 1 \div 1,65</math> мм или 1÷1,2 мм</p>	

1 Веесперкарспел, Доочистка воды после станции Лоендервин Производительность — 100 тыс. м <sup>3</sup> /сут	2 Реагентная обработка: хлорное железо ( $D_{\kappa} = 10$ мг/л), флюкюлянт Виспрофлок (доза 1,6 мг/л), озонирование (2—3 мг/л), ПАУ (5 мг/л), сода (5 мг/л). Камеры хлопьеобразования, горизонтальные отстойники с тонкослойными модулями, скорые и медленные фильтры. Обеззараживание гипохлоритом натрия (0,4 мг/л)	3 Камеры хлопьеобразования с механическими мешалками $t_{\text{пробыва}}$ — 24÷60 мин. В каждой камере находятся четыре мешалки: одна — $d = 2,0$ м; $n = 0,45 \div 9$ мин <sup>-1</sup> остальные — $d = 3,2$ м; $n = 0,2 \div 4$ мин <sup>-1</sup>
<p><b>Антверпен,</b> Нотмер-Валем, канал Нете Производительность: <math>Q_{\text{об}} = 430</math> тыс. м<sup>3</sup>/сут. <math>Q_{\phi} = 300</math> тыс. м<sup>3</sup>/сут. Мутность — 6—42 мг/л. Цветность — 5 град. ПО — 15—18 мгО<sub>2</sub>/л. Фенолы — 0,003 мкг/л</p>	<p>Смешение, введение коагулянта СА (<math>D_{\kappa} = 10 \div 20</math> мг/л) проходит через пять последовательных прибрежных водохранилищ-отстойников <math>t_{\text{пробыва}}</math> — около 7 сут. Далее еще раз вводится коагулянт, затем — отстойники, скорые префильтры (<math>V_{\phi} =</math> до 5 м/ч), озонирование, медленные фильтры (<math>V_{\phi} = 0,15</math> м/ч) Корректировка pH — с помощью серной кислоты или извести. Промывка скорых фильтров — водовоздушная. Обеззараживание — хлором (около 0,5 мг/л)</p>	
<p>Олеге, канал Альберта Производительность — 135 тыс. м<sup>3</sup>/сут</p>	<p>Реагентная обработка (коагулянт СА), осветлители со слюем взвешенного осадка, скорые фильтры, промежуточные резервуары и медленные фильтры. <math>V_{\phi}</math> скорых фильтров — 5 м/ч Распределительная система — колпачковый дренаж, водовоздушная промывка.</p>	<p>Четыре камеры хлопьеобразования, встроены в осветлители. Каждая камера разделена на три секции, в которых установлены лопастные мешалки с гори-</p>

1	2	3
<b>Барселона,</b> Сан-Хоан Деспи, р. Льобрегат Производительность — 460 тыс. м <sup>3</sup> /сут. Мутность — 25—35 мг/л. Цветность — 10—42 град	$V_{\phi}$ медленных фильтров — 0,11 м/ч. Кварцевый песок $d = 0,25+0,65$ мм; $h = 1,2$ м Вода подвергается обработке коагулянтам СА, отстаиванию, скорому фильтрованию и обеззараживанию хлором. Фильтры — двухслойные с загрузкой из антрацитовой крошки и кварцевого песка	Зонгальным валом $W_{\text{длмеры}} = 440 \text{ м}^3$
Кардедеу, р. Тер Производительность — 690 тыс. м <sup>3</sup> /сут. Мутность — 0,8—25 мг/л. Цветность — 6—25 град	Вода подвергается обработке СА, отстаиванию, скорому фильтрованию и обеззараживанию хлором. Фильтры — песчаные	
<b>Берлин,</b> Берлин-Тегель Производительность — 500 тыс. м <sup>3</sup> /сут	Станция предназначена для обработки воды, поступающей в оз. Тегель для подпитки подземных вод, являющихся источником водоснабжения города. Схема очистки: сетчатые фильтры, осветлители со взвешенным осадком «Роталюр», скорые фильтры с двухслойной загрузкой. Реагентная обработка: коагулянты СА, хлорное железо, ПАА, катионный флокулянт	
<b>Бонн</b> Производительность — 430 тыс. м <sup>3</sup> /сут	Станция предназначена для удаления фосфатов из речной воды для предотвращения эвтрофирования водохранилища Ванбах. Реагентная обработка: хлорное железо ( $D_k = 0,3+1 \text{ мг/л}$ ). Сооружения: трехслойные фильтры, загруженные ГАУ, антрацитом и кварцевым песком ( $V_{\phi}$ до 15 м/ч); промывка — водовоздушная	Смешение реагентов осуществляется в механических смесителях

1	2	3
<b>Брюссель,</b> Подземные воды Цветность — 11—25 град. Мутность — до 10 мг/л	Имеется шесть станций. Схема очистки: микрофильтры; осветлители со слоем взвешенного осадка, префильтры, намывные фильтры; скорые фильтры. Реагентная обработка — СА и хлорное железо. Обеззараживание воды хлором и диоксидом хлора	
Тайлфер, р. Маас Производительность — 165 тыс. м <sup>3</sup> /сут. Мутность — 5—10 (мезень) — 100 (паводок). Цветность — 30 град	Четыре технологические линии. Реагентная обработка: СА, активированная кремнекислота (АК); озонирование (2 мг/л), корректировка pH серной кислотой, флокулянт, сода. Осветлители «Пульсатор», двухэтажные отстойники, скорые фильтры ( $V_{\phi} = 5 \text{ м/ч}$ ). Промывка — водовоздушная. Обеззараживание — хлор и диоксид хлора	Смесители — с механическим перемешиванием
<b>Варшава,</b> Правобережная станция, р. Висла Производительность — 480 тыс. м <sup>3</sup> /сут. Мутность — до 120 мг/л. Цветность — 22—33 град	Две технологические линии: 1-я линия. Производительность — 230 тыс. м <sup>3</sup> /сут. Скорое и медленное фильтрование, обеззараживание хлором. 2-я линия. Производительность — 250 тыс. м <sup>3</sup> /сут. Предварительное хлорирование, реагентная обработка, СА, осветлители типа «Пульсатор», скорые песчаные фильтры, обеззараживание хлором	
<b>Копенгаген,</b> Регнемарк, оз. Харалстед Производительность — 35 тыс. м <sup>3</sup> /сут. Мутность — 1—23 мг/л. Цветность — 6—22 град	После предварительного хлорирования, коагулирования (порошкообразный СА), отстаивания вода поступает на префильтры, скорые фильтры и обеззараживается хлором с аммонизацией	



1	2	3
Сендерсе, оз. Сендерсе Производительность — 17 тыс. м <sup>3</sup> /сут. Мутность — 2—18 мг/л. Цветность — 8—18 град	Смешение с реагентами: хлорирование, подкисление серной кислотой, коагулирование (порошкообразный СА), известковое молоко — осуществляется в гидравлическом смесителе. Камеры хлопьеобразования, горизонтальные двухэтажные отстойники, префильтры, скорые фильтры с загрузкой кварцевым песком	Камеры хлопьеобразования с механическими мешалками: 16 камер — 16 мешалок. Периферийная скорость мешалок 0,8—1 м/с
Лиссабон, р. Тежу Производительность — 240 тыс. м <sup>3</sup> /сут. Железо — 0—1,9 мг/л	Реагентная обработка: хлор, СА, известь, флокулянт, ПАУ, хлор с аммонизацией. Отстойники и скорые фильтры	
Лондон, р. Темза Мутность — 1—58 мг/л. Цветность — 14—94 град. Железо — 0,4—0,8 мг/л	Речная вода насосными станциями подается в водохранилища, откуда поступает на 10 водоочистных станций производительностью от 50 до 545 тыс. м <sup>3</sup> /сут	
р. Ли Мутность — 1—120 мг/л. Цветность — 22—62 град. Железо — 0,2—0,4 мг/л	Аэрация, микрофильтры, медленные фильтры (V <sub>ф</sub> = 0,184 м/ч), хлорирование с аммонизацией	
Ашфорд-Коммон Производительность — 410 тыс. м <sup>3</sup> /сут		

1	2	3
Копермилс Производительность — 490 тыс. м <sup>3</sup> /сут	Скорые (V <sub>ф</sub> = 6 м/ч) и медленные фильтры	
Мадрид, водохранилища Производительность — 350—700 тыс. м <sup>3</sup> /сут. Мутность — 1—25 мг/л. Цветность — 3—40 град	Шесть водоочистных станций. Реагентная обработка: первичное хлорирование, подщелачивание известью, коагулирование СА, введение флокулянта. Схема очистки: осветлители со взвешенным осадком, скорые песчаные или двухслойные фильтры	
Сантьяго Производительность — 350 тыс. м <sup>3</sup> /сут	Реагентная обработка: хлор, известь, СА, активированная кремнекислота. Схема очистки: смеситель, осветлитель со взвешенным осадком типа «Пульсатор», скорые песчаные фильтры (V <sub>ф</sub> = 9,6 м/ч) с водовоздушной промывкой и низким отводом промывной воды, обеззараживание — хлорирование с аммонизацией	Смеситель оборудован четырьмя механическими мешалками. T <sub>пробег</sub> = 1 мин
Париж	Водоснабжение города — четыре станции, водоснабжение пригородов — 16 станций производительностью от 10 до 800 тыс. м <sup>3</sup> /сут	
Орли, р. Сена Производительность — 400 тыс. м <sup>3</sup> /сут. Малые мутность и цветность, антропогенные загрязнения	Вращающиеся сетки, реагентная обработка: хлор, СА, АК, ПАУ. Схема очистки: осветлители «Пульсатор», скорые песчаные фильтры с водовоздушной промывкой и низким отводом промывной воды, озон	

1	2	3
<p>Мери-сюр-Уаз, р. Уаза Производительность — 240 тыс. м<sup>3</sup>/сут. ПО — 1—11 мгО<sub>2</sub>/л. Марганец — до 0,3 мг/л</p>	<p>Вращающиеся сетки, озон, наливное водохранилище (t = 3÷4 сут), смесители с механическими мешалками, куда вводят ОХА, диоксид хлора, камера хлопьеобразования, оборудованная механическими мешалками, многоярусные отстойники и скорые песчаные фильтры, после этого снова озон, сорбционные фильтры, третичное озонирование для обеззараживания, гипохлорит натрия</p>	<p>Смесители и камеры хлопьеобразования с механическими мешалками</p>
<p>Морсан-сюр-Сен, р. Сена Производительность — 225 тыс. м<sup>3</sup>/сут</p>	<p>Реагентная обработка: СА, АК, известь, ПАУ Технологическая линия 1. Осветлители со взвешенным осадком «Пульсатор», скорые фильтры «Аквазур-V» (V<sub>ф</sub> = 9 м/ч). Промывка — водовоздушная. Технологическая линия 2. Осветлители «Суперпульсатор» и скорые фильтры «Аквазур-V» (V<sub>ф</sub> = 13 м/ч)</p>	<p>Смесители с механическими мешалками</p>
<p>Анне-сюр-Марн р. Марна Производительность — 170 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Мутность — 10—40 мг/л (в паводок до 150). ПО — 5—6 мгО<sub>2</sub>/л</p>	<p>Схема очистки: предварительное озонирование, смеситель, (коагулянт СА и флокулянт), осветлители со взвешенным осадком типа «Флюоралид» (в зону осветления вводится кварцевый песок и тонкослойные модули), скорый фильтр типа «Биокарбон», вторичное озонирование</p>	
<p>Ферель (Франция) Производительность — 90 тыс. м<sup>3</sup>/сут</p>	<p>Технологическая схема очистки: флокуляция, осветление, фильтрование и обеззараживание. Реагенты: СА, хлор (6—12 мг/л), диоксид хлора (1 мг/л), перманганат калия, ПАУ, известь (для флокуляции — 10 мг/л, для нейтрализации — 30 мг/л)</p>	

1	2	3
<p>Роттердам, водохранилище на р. Маас Беренплаат Производительность — 430 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Мутность — 2—3 мг/л. Железо — 2,6—2,8 мг/л. ПО — 9—11 мгО<sub>2</sub>/л. Цветность — 7—11 град</p>	<p>Наливное водохранилище, микрофильтры, реагентная обработка: хлор, коагулянт, флокулянт «Виспрофлок», известь, ПАУ, заключительное хлорирование. Схема очистки: осветлители со слоем взвешенного осадка, скорые фильтры. Реагент (хлорированное сернокислое железо) доставляется в кристаллическом виде, растворяется до концентрации 15 % по сульфату железу и смешивается с хлором</p>	<p>В центральной камере осветлителя вода медленно перемешивается с помощью маятниковой мешалки</p>
<p>Кралинген Производительность — 168 тыс. м<sup>3</sup>/сут</p>	<p>Наливное водохранилище, реагентная обработка: известь, коагулянт, хлорированный сульфат железа, озон, вторичное введение коагулянта, заключительное хлорирование; тонкослойные отстойники, скорые двухслойные фильтры, угольные фильтры</p>	<p>Быстрое и медленное механическое перемешивание в смесителе и камере хлопьеобразования</p>
<p>София, 3 водохранилища Производительность — 1000 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Малые мутность и цветность</p>	<p>Реагентная обработка: предварительное хлорирование, коагулирование, СА, заключительное хлорирование, осветлители со слоем взвешенного осадка типа «Пульсатор», скорые песчаные фильтры</p>	
<p>Стокгольм, Норсборг, оз. Каларен Производительность — 530 тыс. м<sup>3</sup>/сут.</p>	<p>Схема очистки: горизонтальные двухэтажные отстойники со встроенными камерами хлопьеобразования, скорые песчаные фильтры (V<sub>ф</sub> = 4÷5 м/ч), медленные фильтры (0,15 м/ч).</p>	

1	2	3
<p>Мутность — 7—9 мг/л. Цветность — 10—25 град Лово, оз. Каларен Производительность — 275 тыс. м<sup>3</sup>/сут</p> <p>Хельсинки, р. Ванга, Ванхакаунки Производительность — 172 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Цветность — 80—180 град. Мутность — 11—92 мг/л. ПО — 36—80 мгО<sub>2</sub>/л. Железо — 1,3—8 мг/л</p> <p>Питкаакоски Производительность — 23,4 тыс. м<sup>3</sup>/сут</p> <p>Цюрих. Цюрихское озеро — Ленг Производительность — 250 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Мутность — 0,2—0,5 мг/л.</p>	<p>Реагентная обработка: СА (<math>D_n = 30</math> мг/л), АК (0,5 мг/л). Корректировка рН известью до (10 мг/л) и после (2,4 мг/л) медленных фильтров, обеззараживание хлором с аммонизацией (0,5 и 0,15 мг/л)</p> <p>Реагентная обработка: хлорирование, подщелачивание известью, коагулирование, СА (<math>D_n = 66 \pm 70</math> мг/л), АК (5 мг/л), ПАУ (2 мг/л), периодически озонирование воды. Горизонтальные отстойники, скорые песчаные фильтры (<math>V_{\phi} = 5</math> м/ч)</p> <p>Реагентная обработка СА и схема очистки аналогична очистке на ст. Ванхакаунки</p> <p>Реагентная обработка: предварительное хлорирование, коагулирование СА и введение флокулянта, известь для корректировки рН, озонирование (1—3 мг/л), обеззараживание диоксидом хлора; скорые фильтры первой и второй ступени, медленный фильтр</p>	<p>Быстрое смешение с реагентами в смесителе и механические мешалки в камере хлопьеобразования</p>

1	2	3
<p>Железо — 0,01—0,02 мг/л</p> <p>Моос Производительность — 120 тыс. м<sup>3</sup>/сут</p> <p>Штутгарт, Лагендау, р. Дунай Производительность — 10 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Значительное количество взвешенных и коллоидных веществ</p> <p>Бомбей, 6 водохранилищ Панджрапур Производительность — 450 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Мутность — 1—170 мг/л. Цветность — 40—150 град. Железо — 0,1—4 мг/л</p> <p>Бхандап Производительность — 2000 тыс. м<sup>3</sup>/сут</p>	<p>Схема очистки такая же, как на станции Ленг</p> <p>Схема очистки: коагулирование, осветление, озонирование, контактное фильтрование, сорбционная очистка на угольном фильтре. Осуществлена реконструкция станции с введением четырех ступеней механического смешения, тонкослойными отстойниками, скорыми фильтрами</p> <p>Осветлители со взвешенным осадком и скорые фильтры (дренаж — колпачковый, промывка — водовоздушная с низким отводом промывной воды). Реагентная обработка: предварительное хлорирование (<math>D_{\text{хл}} = 2 \pm 4</math> мг/л), коагулирование СА, корректировка рН содой, заключительное хлорирование</p> <p>Схема примерно та же, что и на ст. Панджрапур</p>	<p>Механические смесители 1-й и 2-й ступеней — смешение коагулянта с водой; 3-й ступени — смешение флокулянтов; 4-й ступени — камера хлопьеобразования</p>



1	2	3
<p><b>Киото,</b> оз. Бива, Киэге Мутность — 3—14 мг/л. Цветность — 9—26 град</p> <p><b>Син-Ямасина</b></p>	<p>Имеется пять водоочистных станций открытого типа, на всех станциях реагентная обработка с коагулированием СА, отстаиванием и скорыми фильтрами. Реагенты: хлор, коагулянт, известь, едкий натр, ПАУ</p> <p>Реагенты те же, что и на станции Кеаге. Горизонтальные отстойники с механическими камерами хлопьеобразования</p> <p>Имеется 11 водоочистных станций производительностью от 150 до 2000 тыс. м<sup>3</sup>/сут</p>	<p>Камеры хлопьеобразования с механическими мешалками</p>
<p><b>Токио,</b> реки Эдо, Тонэ, Тама Мутность — 4—200 мг/л. Цветность — 4—40 град. Железо — 0,1—3 мг/л. Марганец — 0,02—1,4 мг/л. ПО — 3—86 мгО<sub>2</sub>/л</p> <p><b>Канамачи</b> Производительность — 1800 тыс. м<sup>3</sup>/сут</p>	<p>Песколовки, горизонтальные отстойники (либо осветлители со взвешенным осадком) Реагентная обработка: первичное хлорирование (D<sub>chl</sub> до 5 мг/л), коагулирование СА с введением флокулянта, АК, подщелачивание, ПАУ, вторичное хлорирование. Повторное использование промывной воды, механическое обезвоживание и термическая сушка осадка</p>	

1	2	3
<p><b>Асака</b> Производительность — 1700 тыс. м<sup>3</sup>/сут</p> <p><b>Хиросима,</b> р. Ота, Усита Производительность — 200 тыс. м<sup>3</sup>/сут</p> <p><b>Мидори</b> Производительность — 200 тыс. м<sup>3</sup>/сут</p> <p><b>Койо</b> Производительность — 100 тыс. м<sup>3</sup>/сут</p>	<p>Реагентная обработка: (СА) аналогична ст. Канамаги. Сооружения: двухкамерный смеситель с механическими мешалками</p> <p>Горизонтальные песколовки, осветлители со взвешенным осадком, горизонтальные отстойники, оборудованные тонкослойными модулями, медленные и скорые фильтры. Реагентная обработка: предварительное хлорирование, коагулирование СА и заключительное хлорирование</p> <p>Горизонтальные песколовки, осветлители со взвешенным осадком, скорые фильтры. Реагентная обработка: предварительное и заключительное хлорирование, коагулирование СА</p> <p>Схема аналогична схеме на станции Мидори</p>	<p>Механические мешалки в смесителе</p>
<p><b>Александрия,</b> каналы, связанные с р. Рашид, рукавом Нила Мутность от 30 до 3 тыс. мг/л в паводок. Температура воды — от 12 до 28 °С. Вода подвергается интенсивному цветению</p>	<p>Имеется шесть водоочистных станций производительностью от 50 до 700 тыс. м<sup>3</sup>/сут. На всех станциях вода обрабатывается коагулянтном СА с применением поли-электролитов, после чего вода отстаивается в радиальных либо горизонтальных отстойниках, пропускается через двухслойные фильтры (V<sub>ф</sub> = 5 м/ч) и хлорируется дозами хлора до 2 мг/л</p>	

1	2	3
<p><b>Тунис,</b> р. Меджерды и р. Касаб, станция № 1, производительность — 130 тыс. м<sup>3</sup>/сут; станция № 2, производительность — 175—100 тыс. м<sup>3</sup>/сут</p>	<p>Реагентная обработка: предварительное хлорирование, СА, известковое молоко, ПАУ, заключительное хлорирование. Сооружения: осветлители «Пульсатор», фильтры «Ак-вазур-V» (<math>V_4 = 9,4</math> м/ч). Промывка — водовоздушная</p>	<p>Смеситель с механическими мешалками</p>
<p><b>Денвер,</b> р. Саут-Платт Мутность — 0,2—0,6 мг/л. Цветность — 3—9 град.</p>		
<p><b>Каслер</b> Производительность — 190 тыс. м<sup>3</sup>/сут</p>	<p>Медленные фильтры. Реагентная обработка: сульфат меди (для предотвращения развития водорослей), высокомолекулярный флокулянт, хлорирование с аммонийной защитой</p>	
<p><b>Марстон</b> Производительность — 985 тыс. м<sup>3</sup>/сут Производительность — 225 тыс. м<sup>3</sup>/сут</p>	<p>Скорые двухслойные антрацито-песчаные фильтры. Реагентная очистка: СА (<math>D_n = 9,7</math> мг/л) и высокомолекулярный флокулянт, сульфат меди, ПАУ</p>	
	<p>Применяются только микрофильтры</p>	

1	2	3
<p><b>Фухилз</b> Производительность — 470 тыс. м<sup>3</sup>/сут</p>	<p>Обработка воды аналогична обработке на ст. Марстон</p>	
<p><b>Поффар</b> Производительность — 795 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Мутность — 0,2—0,6 мг/л. Цветность — 3—9 град. Щелочность — 0,4—1,4 мг-экв/л. Железо — до 0,06 мг/л</p>	<p>Реагентная обработка: подщелачивание известью, коагулирование СА (<math>D_n = 43</math> мг/л) с флокулянтом, последующая корректировка pH содой; фторирование кремнефористым натрием</p>	
<p><b>Денвер</b> Производительность — 40 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Мутность — 1—5 мг/л. Цветность — 100—150 град. Низкая щелочность, интенсивный запах. Железо, марганец</p>	<p>Смесители, камеры хлопьеобразования, отстойники, фильтры — кварцевые и двухслойные угольные. Реагентная обработка: СА, едкий натр, известь, перманганат калия, АК, полиэлектролиты</p>	<p>Смесители со скоростными мешалками, камеры хлопьеобразования с лопастными мешалками</p>
<p><b>Чикаго,</b> озеро Мичиган Малая мутность и небольшая цветность</p>		

1	2	3
<p>Южная водопроводная станция Производительность — 2725 тыс. м<sup>3</sup>/сут</p>	<p>Реагентная обработка: предварительное хлорирование, подщелачивание известью, коагулирование СА, поли-электролит, фторирование фтористоводородной кислотой, корректировка рН содой, хлорирование, ПАУ. Схема очистки: смесители, перегордчатая камера хлопьеобразования, горизонтальные отстойники и скорые фильтры (<math>V_{\phi} = 4,9</math> м/ч)</p>	<p>Смеситель с механическими мешалками</p>
<p>Центральная фильтровальная станция Производительность — 5450 тыс. м<sup>3</sup>/сут. (используется на 50 %)</p>	<p>Технология очистки такая же, как на ЮВС</p>	
<p><b>Бразилия,</b> водохранилища на реках Мутность — 2—55 мг/л. Цветность — 10—40 град. Щелочность — 1—8 мг-экв/л. Железо — 0,2—1 мг/л Плана-Пилото Производительность — 242 тыс. м<sup>3</sup>/сут Тагуатинга Производительность — 44 тыс. м<sup>3</sup>/сут</p>	<p>Имеются две водоочистные станции</p> <p>Схема очистки: отстаивание и фильтрование — на скорых фильтрах. Реагентная обработка: коагулирование СА, известь для подщелачивания, кремнефтористый натрий, хлор</p>	

1	2	3
<p><b>Рио-де-Жанейро,</b> реки и озера, Гуаиду Производительность — 2100 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Мутность — 2—30 мг/л. Цветность — 10—100 град. Щелочность — 0,14—0,5 мг-экв/л. Железо — 0,5—2,4 мг/л <b>Сан-Паулу,</b> водохранилища Мутность — 2—36 мг/л. Цветность — 19—43 град. Щелочность — 0,5—1,5 мг-экв/л. Железо — 0,4—3,6 мг/л Гуарау Производительность — 1000—2800 тыс. м<sup>3</sup>/сут</p>	<p>Схема очистки: камеры хлопьеобразования, отстойники и скорые фильтры. Реагентная обработка: известь, коагулянт СА, хлор</p> <p>Имеются шесть водоочистных станций производительностью от 100 до 1000 тыс. м<sup>3</sup>/сут</p> <p>Схема очистки: скоростные смесители, горизонтальные отстойники со астроеными камерами хлопьеобразования и скорые фильтры с антрацито-песчаной загрузкой. Реагентная обработка: подщелачивание известью, коагулирование СА, хлор</p> <p>Вода из семи водохранилищ поступает в наливные водохранилища, откуда направляется в запасно-регулирующие резервуары, далее — на водоочистную станцию.</p>	<p>Смеситель и камеры хлопьеобразования оборудованы механическими мешалками; <math>t_{\text{р.об.к. воды}} = 30</math> мин</p>



3	2	1
	<p>Реагентная обработка: подщелачивание известью, коагулирование СА, хлорирование и фторирование. Осветлители со взвешенным осадком, скорые песчаные фильтры с водовоздушной промывкой. Повторное использование промывной воды</p> <p>Двухступенчатая очистка с реагентной обработкой СА и хлорированием</p>	<p>Производительность — 495 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Повышенная мутность</p> <p><b>Сидней.</b> группа водохранилищ</p>

**Применение современных реагентов (коагулянтов и флокулянтов), нового оборудования реагентного хозяйства и систем дозирования реагентов на водопроводных станциях России**

Год внедрения	Наименование работ, содержание	Город
<i>Коагулянты</i>		
1999	Начата отработка технологии очистки воды с применением ОХА	Азов
	Проведены полупромышленные испытания по обработке воды с применением коагулянта ОХА, в результате чего улучшилось качество воды по цветности, мутности и содержанию железа	Благовещенск
	Регулярно проводятся лабораторные и производственные испытания 10 видов коагулянтов и 5 видов флокулянтов. Определены их оптимальные дозы	Вологда
	На поверхностных водозаборах внедрено контактное коагулирование	Калуга
	На ОСВ "Эшкакон" применена технология обработки воды ОХА. При низкой температуре воды (3—4 °С) улучшается качество очистки	Кисловодск
	Внедрение гидрооксихлорида алюминия позволило снизить расходы традиционных реагентов, уменьшить коррозионную активность воды	Тихвин
2000	Продолжена отработка технологии очистки воды и применение оксихлорида алюминия и сополимера акриламида, позволяющих сократить количество других реагентов	Азов

Год внедрения	Наименование работ, содержание	Город
<i>Коагулянты</i>		
2000	В лабораторных условиях проводились работы по применению в качестве реагентов: Феннопола, Праестола, ВПК, полиоксихлорида алюминия в целях их дальнейшего применения на сооружениях	Анапа
	Применение нового коагулянта ГОХА позволило снизить расход коагулянта на 12—15 %	Тихвин
	Проведены лабораторные и производственные испытания оксихлорида алюминия	Ульяновск
	Внедрен коагулянт оксихлорид алюминия, что позволило снизить расход реагентов	Хабаровск
2001	Проведены экспериментальные исследования коагулянта Аква-Аурата на водоочистных сооружениях	Казань
<i>Флокулянты</i>		
1999	Применен флокулянт сополимер акриламида	Азов
	Эксплуатируются установки по вводу в систему очистки воды флокулянта КФ-91. Применение флокулянта позволило улучшить качество очищенной воды: щелочность воды уменьшилась на 0,1—0,3 мг-экв/л, остаточный алюминий снизился в 1,6—2,4 раза, мутность воды уменьшилась в 7—8 раз, содержание железа уменьшилось в 1,54—2 раза. Расход коагулянта при этом сократился в 2 раза	Водоканал Трусовского района (Астрахань)

Год внедрения	Наименование работ, содержание	Город
<i>Флокулянты</i>		
1999	Внедрен флокулянт на водопроводных сооружениях, что позволило значительно снизить количество используемых химреагентов, исключить коррозионное воздействие коагулянта (сульфата алюминия) на оборудование и сооружения, уменьшить затраты электроэнергии на приготовление растворов химреагентов на 80 %, значительно повысить качество питьевой воды, исключить использование ручного труда на участке приготовления химреагентов и автоматизировать процесс их приготовления и дозирования	Барнаул
	На Амурском водозаборе продолжена работа по использованию флокулянта Санфлок-520Р, применена гибкая система перехода подщелачивания воды с кальцинированной соды на известь	Благовещенск
	Внедрение новых флокулянтов взамен ПАА и сульфата алюминия позволило снизить затраты по очистке воды на 1190 тыс. рублей в год. На поверхностных водозаборах применена зарядка фильтров флокулянтам, что позволило значительно улучшить качество питьевой воды	Калуга
1999	Внедрение нового реагента Праестола (производства г. Перми) позволило повысить качество питьевой воды и снизить затраты на приобретение реагентов благодаря его высокой эффективности и технологичности. Ориентировочно затраты на реагенты снижаются на 20 %. Внедрение технологии обработки воды высокоэффективным реагентом ВПК-402 позволило снизить затраты на приобретение реагентов на 70 % в период с 01.06 по 01.09 (в среднем за год — в 2 раза)	Кемерово

Год внедрения	Наименование работ, содержание	Город
<i>Флокулянты</i>		
1999	На ОСВ применяются новые коагулянты: Кемфлок и Праестол	Кострома
	Проводятся испытания в лабораторных и производственных условиях различных марок флокулянтов	Москва
	Проведены лабораторно-производственные исследования по подбору флокулянтов	Тихвин
2000	Проводятся лабораторные испытания применения флокулянта Праестола. Его использование позволит уменьшить объем реагентного хозяйства и сократить расходы на реагенты	Благовещенск
	Применен флокулянт Праестол 650TR	Екатеринбург
	Внедрена технология очистки питьевой воды с использованием флокулянта Праестола	Нижний Новгород
	Проведены лабораторные и производственные испытания суперфлока, Праестола 611TR, K120C	Ульяновск
	Проводятся испытания и внедрение новых видов флокулянтов	Хабаровск
	Проведены испытания на Южной водопроводной станции катионного флокулянта ВПК-402	Ярославль
2001	Залушены в эксплуатацию пять установок ЕСО-DOX-1000 по приготовлению и дозированию сыпучего флокулянта с активной частью 10 %	Екатеринбург
	Проводятся испытания и внедрение новых видов флокулянтов	Хабаровск

Год внедрения	Наименование работ, содержание	Город
<i>Оборудование реагентного хозяйства</i>		
1999	Внедрена АСУ технологическим процессом: приборы контроля подачи реагентов; лучевые смесители для лучшего перемешивания коагулянта и флокулянта с обрабатываемой водой и возможности изменения времени разрыва в подаче реагентов; сигнализатор уровня осадка в реагентном хозяйстве	Сарапул
	Использовано новое оборудование: узел приготовления флокулянта фирмы «Аллайд Коллоидс» (Германия)	Сочи
	Проведены мероприятия по реконструкции реагентного хозяйства в целях поиска более эффективных реагентов для процесса коагуляции и дозирования. Установлен прибор по учету расхода реагентов фирмы «Фотон»	Тихвин
2000	С 1997 г. работает участок по производству оксихлорида алюминия. В 1999 г. начато строительство II очереди в целях увеличения производительности до 11 тыс. т товарного продукта в год. Работа продолжается. Внедрен модуль «Коагулянт-Осветлитель» фирмы «Униток». Прибор позволяет проводить подбор оптимальных доз реагентов	Екатеринбург
	Установлен и введен в действие контрольно-измерительный модуль «Коагулянт-Осветлитель», позволяющий выбрать оптимальную дозу коагулянта и поддерживать точность его дозирования	Набережные Челны
	Выполнена реконструкция смесителя-турбулизатора (для коагулянта), способствующая повышению эффективности смешения коагулянта с водой и сокращению расхода коагулянта на 20 %	Тихвин



Год внедрения	Наименование работ, содержание	Город
<i>Оборудование реагентного хозяйства</i>		
2000	Внедрен модуль "Коагулянт-Осветлитель"	Хабаровск
2001	Внедрен модуль "Коагулянт-Осветлитель"	Екатеринбург
<i>Дозирование реагентов</i>		
1999	Установлены: вентили-дозаторы для регулирования дозы коагулянта, насосы-дозаторы подачи сульфата алюминия и ПАА в смеситель	Азов
	Внедрение системы дозирования флокулянта на фильтровальных блоках производительностью 13 и 30 тыс. м <sup>3</sup> /сут позволило снизить затраты на 430,8 тыс. рублей в год и повысить производительность фильтров на 5 %	Вологда
	Повышена точность дозирования реагентов, в том числе ОХА, путем внедрения автоматизации этого процесса, внедрения насосов-дозаторов для сернокислого алюминия и ОХА	Москва
	Для снижения расхода коагулянта в процессе очистки питьевой воды внедрены ультразвуковые излучатели на 2-й и 3-й очередях Ново-Сормовской станции	Нижний Новгород
	Внедрены винтовые дозирующие насосы	Сочи
	Внедрена система автоматического дозирования коагулянта с выводом контролируемых показателей на компьютер	Чебоксары
2000	Приобретена и запущена установка ECO-DOX 1000 (Италия) по приготовлению и дозированию флокулянтов, что дало возможность точного дозирования реагента	Екатеринбург

Год внедрения	Наименование работ, содержание	Город
<i>Дозирование реагентов</i>		
2000	Выполнен значительный объем работ по автоматизации приготовления и дозирования реагентов	Москва
2001	Внедрена установка "Полимастер" для точного дозирования флокулянта	Череповец
	Внедрен модуль автоматического дозирования коагулянта "Униток"	Хабаровск
<i>Применение оксихлорида алюминия при очистке воды</i>		
1996	На НФС производительностью 260 тыс. м <sup>3</sup> /сут использован ОХА производства «Сибресурс»	Нижний Тагил
1997	Применен на НФС-1 и НФС-5 суммарной производительностью 750 тыс. м <sup>3</sup> /сут высокоосновный оксихлорид алюминия производства ЗАО «Сибресурс». Внедрены контактная коагуляция и флокуляция	Новосибирск
2000	Использован оксихлорид алюминия «Аква-Аурат™10,18»	Владимир
2000	На НФС производительностью 90 тыс. м <sup>3</sup> /сут внедрены оксихлорид алюминия, контактная коагуляция, дробное хлорирование и флокулянт Праестол. Производительность возросла в 1,5 раза	Новоуральск
2000	Применена очистка сточных вод Клинского мясокомбината	Клин, Московская обл.
2000	Использован ОХА на НФС производительностью 240 тыс. м <sup>3</sup> /сут	Прокопьевск, Кемеровская обл.

Год внедрения	Наименование работ, содержание	Город
<i>Применение оксихлорида алюминия при очистке воды</i>		
2001	Осуществлен переход на полиоксихлорид алюминия «Аква-Аурат™30» на станции водоочистки производительностью 100 тыс. м³/сут	Калининград
2001	Применен на ВОС производительностью 100 тыс. м³/сут полиоксихлорид алюминия «Аква-Аурат™30». Использовано более 1000 т реагента на ОАО «Казаньоргсинтез»	Казань
2001	Внедрено промышленное использование полиоксихлорида «Аква-Аурат™30» на ВОС производительностью 100 тыс. м³/сут ОАО «Нижнекамскнефтехим». Использовано более 1000 т	Нижнекамск, Республика Татарстан
2001	Внедрено промышленное использование оксихлорида производства ЗАО «Сибресурс» на ВОС производительностью 350 тыс. м³/сут на НФС	Новокузнецк, Кемеровская обл.
2002	Осуществлен переход на использование при коагуляции на высокоосновные полиоксихлориды алюминия «Полвак™68» и «Аква-Аурат™10»	Минск
2002	Применен при очистке воды «Аква-Аурат™30»	Мирный, Республика Саха
2002	В Рязанской нефтеперерабатывающей компании применена очистка нефтесодержащих стоков	Рязань
2002	Применен на ВОС «Вода Прикамья» производительностью 100 тыс. м³/сут полиоксихлорид алюминия «Аква-Аурат™30»	Елабуга, Республика Татарстан
2002	Промышленно использован реагент «Аква-Аурат™30» на водоочистной станции ЗАО «Челныводоканал» производительностью 600 тыс. м³/сут	Набережные Челны

Год внедрения	Наименование работ, содержание	Город
<i>Применение оксихлорида алюминия при очистке воды</i>		
2002	Промышленно использован реагент «Аква-Аурат™30» на трех водоочистных станциях МУП «Ижводоканал» производительностью более 400 тыс. м³/сут. Использовано более 1000 т	Ижевск
2002	Промышленно использован полиоксихлорид алюминия «Аква-Аурат™30» на ВОС производительностью 100 тыс. м³/сут на ОАО «Завод синтетических продуктов»	Новочеркасск, Ростовская обл.
2003	Промышленно использован реагент «Аква-Аурат™30» на Эшнаконских очистных сооружениях	Кисловодск, Ставропольский край
2003	Промышленно использован реагент «Аква-Аурат™30» на водоочистных сооружениях «Донбассводоснабжение»	Шахты, Ростовская обл.
2003	Промышленно использован полиоксихлорид алюминия «Аква-Аурат™30» на водоочистных сооружениях производительностью 100 тыс. м³/сут ОАО «Ачинский глиноземный комбинат»	Ачинск, Красноярский край
2003	Промышленно использован реагент «Аква-Аурат™30» в паводковый период на водоочистной станции МУП «Водоканал»	Назарово, Красноярский край
2003	Промышленно использован реагент «Аква-Аурат™30» на водоочистных сооружениях ОАО «ГМК "Норильский никель"»	Дудинка, Таймырский АО
2004	Начато использование реагента «Аква-Аурат™30» на водоочистной станции производительностью 100 тыс. м³/сут	Тихвин, Ленинградская обл.
2004	Проводятся промышленные испытания полиоксихлорида алюминия «Аква-Аурат™30» на ВОС производительностью 100 тыс. м³/сут	Вологда

Год введения	Наименование работ, содержание	Город
<i>Применение оксихлорида алюминия при очистке воды</i>		
2004	Проводятся промышленные испытания полиоксихлорида алюминия «Аква-Аурат™30» на ВОС производительностью 100 тыс. м <sup>3</sup> /сут	Казань
2004	Проводятся промышленные испытания реагента «Аква-Аурат™30» на водоочистных сооружениях	Тольятти
2004	Проводятся промышленные испытания полиоксихлорида алюминия «Аква-Аурат™30» на девяти ВОС Саратовской области УП «Облводоканал»	Саратовская область

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	3
<b>Глава 1. Характеристика загрязнений природных вод примесями естественного и антропогенного происхождения..</b>	<b>13</b>
1.1. Загрязнения естественного происхождения .....	13
1.2. Загрязнения антропогенного происхождения.....	23
1.3. Микробиологические загрязнения.....	30
1.4. Анализ качественных показателей природных вод и технологических схем очистки.....	33
1.5. Современные требования к качеству питьевой воды.....	36
<b>Глава 2. Возможности коагуляционной обработки воды .....</b>	<b>52</b>
2.1. Роль коагуляции в отношении различных загрязнений природных вод .....	52
2.2. Значение коагуляции в обеззараживании воды.....	55
<b>Глава 3. Теоретические аспекты коагуляционной обработки воды .....</b>	<b>63</b>
3.1. Физико-химическая характеристика различных групп примесей воды.....	63
3.2. Теоретические основы осветления и обесцвечивания воды.....	67
<b>Глава 4. Характеристика коагулянтов и флокулянтов.....</b>	<b>91</b>
4.1. Виды коагулянтов и флокулянтов .....	92
4.2. Производство коагулянтов в России и за рубежом .....	96
4.3. Физико-химические свойства неорганических коагулянтов .....	114
4.4. Технологии промышленного получения алюмо- и железосодержащих коагулянтов.....	136
4.5. Аналитический контроль в процессе получения товарных коагулянтов.....	166
4.6. Тенденции применения различных реагентов в России и за рубежом.....	182
<b>Глава 5. Технология коагуляционной очистки воды .....</b>	<b>188</b>
5.1. Оптимальные дозы коагулянта, выбор дозы .....	188
5.1.1. Пробное коагулирование воды.....	188
5.1.2. Пробное коагулирование воды с использованием установки «Капля» .....	193
5.1.3. Выбор наиболее эффективных реагентов .....	196
5.2. Смешение коагулянтов с водой. Традиционные конструкции смесителей .....	197
5.2.1. Трубчатые смесители .....	198
5.2.2. Гидравлические смесители .....	199



5.2.3. Распределительные устройства .....	202
5.2.4. Аэрирование воды в смесителях.....	205
5.3. Камеры хлопьеобразования .....	210
5.4. Методы осветления воды и способы их интенсификации.....	217
5.4.1. Отстаивание воды .....	217
5.4.2. Осветление в слое взвешенного осадка.....	223
5.4.3. Фильтрация воды .....	224
5.4.4. Мембранные методы очистки воды .....	228
<b>Глава 6. Повышение эффективности коагуляционной обработки воды .....</b>	<b>231</b>
6.1. Основные проблемы при обработке воды коагулянтами .....	231
6.2. Возможности интенсификации и совершенствования процесса коагуляции.....	241
6.2.1. Изменение способа реагентной обработки воды .....	243
6.2.2. Регулирование величины pH воды .....	248
6.2.3. Применение минеральных замутнителей или сорбционных материалов.....	251
6.2.4. Использование физических методов.....	255
6.2.5. Механическое смешение реагентов с водой. Конструкции механических устройств.....	258
6.2.6. Применение современных реагентов: коагулянтов и флокулянтов.....	300
6.2.7. Применение окислителей: хлора и озона .....	300
6.2.8. Электрокоагуляция.....	314
<b>Глава 7. Оценка эффективности применения различных реагентов на основании экспериментальных исследований .....</b>	<b>317</b>
7.1. Применение различных типов коагулянтов для очистки воды р. Волги и ее притоков.....	317
7.1.1. Методика экспериментальных исследований .....	317
7.1.2. Результаты экспериментальных исследований .....	321
7.2. Применение реагентов для очистки невольской воды .....	335
7.3. Сопоставление эффективности сульфата алюминия и ОХА .....	338
7.4. Применение коагулянтов в северных районах страны .....	364
7.5. Реагентная обработка подземных вод.....	368
7.6. Применение флокулянтов.....	383
7.6.1. Анионные флокулянты.....	383
7.6.2. Катионные флокулянты .....	385
7.6.3. Новые флокулянты.....	397
7.7. Обеспечение качества питьевой воды в свете повышения нормативных требований.....	405

<b>Глава 8. Производственный опыт использования современных реагентов на водопроводных станциях России..</b>	<b>413</b>
8.1. Применение оксихлорида алюминия.....	413
8.2. Применение новых реагентов в системе Московского водопровода.....	432
8.3. Особенности применения ОХА на водопроводных станциях... ..	441
8.4. Применение флокулянтов.....	449
8.5. Использование железосодержащих коагулянтов .....	458
8.6. Применение реагентных методов очистки на зарубежных водопроводных станциях.....	466
8.7. Применение современных реагентов и технологий на водопроводных станциях России.....	468
<b>Глава 9. Реагентное хозяйство, приготовление и дозирование реагентов в обрабатываемую воду.....</b>	<b>471</b>
9.1. Реагентное хозяйство на водопроводных станциях, приготовление и хранение коагулянтов .....	471
9.2. Приготовление флокулянтов .....	476
9.3. Дозирование реагентов .....	481
<b>Глава 10. Гигиеническая оценка применения различных реагентов .....</b>	<b>487</b>
10.1. Гигиеническая оценка безопасности реагентов .....	487
10.2. Гигиеническая оценка способа очистки и обеззараживания воды .....	492
<b>Глава 11. Технология обработки и повторного использования промывных вод фильтров .....</b>	<b>495</b>
<b>Глава 12. Комплексный подход к выбору технологической схемы очистки воды.....</b>	<b>505</b>
<b>Заключение.....</b>	<b>514</b>
<b>Литература .....</b>	<b>519</b>
<b>Приложение 1. Характеристика водопроводных станций за рубежом.....</b>	<b>542</b>
<b>Приложение 2. Применение современных реагентов (коагулянтов и флокулянтов), нового оборудования реагентного хозяйства и систем дозирования реагентов на водопроводных станциях России .....</b>	<b>559</b>

Научное издание

**ДРАГИНСКИЙ Виктор Львович**  
**АЛЕКСЕЕВА Любовь Павловна**  
**ГЕТМАНЦЕВ Степан Викторович**

## **КОАГУЛЯЦИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ ВОД**

Корректор *И. В. Шанина*  
Компьютерный набор *В. А. Жукова*  
Компьютерная верстка *Н. В. Соколова*

Подписано в печать 09.06.2005.  
Бумага офсетная. Формат 60x90 1/16. Печать офсетная.  
Уч.-изд. л. 31,7. Усл. печ. л. 36,0. Тираж 3000 экз.  
Зак. № 1113

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленных диапозитивов  
в ППП «Типография «Наука» 121099, Москва, Шубинский пер., 6



НИИ КВОВ



Лаборатория технологии очистки природных вод

Предприятие "ВОДКОММУНТЕХ"

Проводим в качестве **генерального подрядчика** совместно с ведущими проектными, наладочными и производственными организациями комплекс работ по водоочистным станциям и системам водоснабжения населенных мест и промпредприятий:

- Совершенствование технологии очистки воды на водопроводных станциях и разработку мероприятий по повышению эффективности работы водоочистных сооружений.
- Технико-экономическую оценку работы системы водопровода города в целом и по элементам.
- Определение уровня фактического водопотребления и оценку дефицита воды в городе и гидравлический расчет водопроводных сетей на основе математического моделирования.
- Установление фактических неучтенных расходов и потерь питьевой воды на водопроводах городов, а также разработку эксплуатационных норм водопотребления.
- Комплекс работ по всем технологическим процессам и направлениям очистки воды и оборудованию на водопроводных станциях с использованием АСУ ТП.
- Обоснование инвестиций по строительству и реконструкции систем водоснабжения.
- Осуществление строительных, монтажных (с поставкой необходимого оборудования) и пусконаладочных работ на водопроводных установках или водопроводных станциях.

Работы ведутся в соответствии с государственными лицензиями Госстроя России, а также Аттестатом аккредитации на проведение технологической экспертизы.

125371, Москва, Волоколамское шоссе, 87.

Тел./факс: (095) 491-20-41, 491-12-02,

<http://vodcom.da.ru>, E-mail: [vodcom@mail.cnt.ru](mailto:vodcom@mail.cnt.ru)

*Драгинский Виктор Львович, Алексеева Любовь Павловна*



НИИ КВОВ

Лаборатория технологии очистки природных вод



Предприятие "ВОДКОММУНТЕХ"

*Проводим совместно с водоканалами городов, а также с ведущими проектными и наладочными организациями:*

- Технологическое и техническое обследование водопроводных станций и подготовку экспертного заключения по эффективности работы и техническому состоянию водоочистных сооружений.
- Комплексное обследование системы водоснабжения (водопроводных сетей, насосных станций и резервуаров). При необходимости выполнение гидравлического расчета сетей.
- Обоснование инвестиций на реконструкцию и развитие системы водоснабжения города.
- Разработку мероприятий по совершенствованию технологии и повышению эффективности очистки воды по нормируемым показателям.

*Кроме того, осуществляем:*

- Проведение технологических изысканий для установления оптимальных методов очистки воды с обоснованием выбора состава очистных сооружений и определения их расчетно-конструктивных параметров.
- Разработку рекомендаций по реконструкции и техническому переоснащению станций с использованием современных высокоэффективных методов очистки воды, таких как озонирование и сорбция на активных углях, мембранные технологии и др.
- Практическую реализацию мероприятий путем проектирования отдельных узлов, блоков очистных сооружений, их последующего строительства и пуска в эксплуатацию.
- Выбор и поставку озонаторного и водоочистного оборудования, эффективных марок активных углей отечественного и зарубежного производства.

*Результатом работы на каждом объекте являются:*

- Улучшение качества питьевой воды.
- Повышение эффективности и надежности работы водоочистных сооружений.
- Оптимизация работы водопроводных сетей.

Работы ведутся в соответствии с государственными лицензиями Госстроя России, а также Аттестатом аккредитации на проведение технологической экспертизы.

125371, Москва, Вopoколaмское шоссе, 87.

Тел./факс: (095) 491-20-41, 491-12-02.

<http://vodcom.da.ru>, E-mail: [vodcom@mail.cnt.ru](mailto:vodcom@mail.cnt.ru)

Драгинский Виктор Львович, Алексеева Любовь Павловна

Чистая вода — здоровье нации

«АКВА-АУРАТ»

чистить Вашу Воду рад!

ОАО "АУРАТ" — самый крупный в России производитель коагулянтов различных видов и марок:

- полиоксихлориды алюминия торговых марок:  
«АКВА-АУРАТ™10» — водный раствор  
«АКВА-АУРАТ™18» — водный раствор  
«АКВА-АУРАТ™30» — порошок
- алюминия сульфат

*Применение:*

- очистка и кондиционирование питьевой воды
- очистка промышленных, сельскохозяйственных и бытовых сточных вод
- для водоподготовки ТЭЦ, ГРЭС, котельных
- для проклеивания бумаги и других целей.

Наши координаты: ОАО «АУРАТ»

Генеральный директор *Гетманцев Степан Викторович*

125438, Москва, 4-й Лихачевский пер., 6

Факс: (095) 234-25-06.

Тел.: (095) 154-70-91, 153-10-10, 153-26-10.

E-mail: [office@aurat.ru](mailto:office@aurat.ru) [www.aurat.ru](http://www.aurat.ru)

*С пожеланиями добра, здоровья,  
благополучия и надежных партнеров*



**География  
региональных представителей  
ОАО «АУРАТ»**

**Открытое акционерное общество «АУРАТ»**

125438, Москва, 4-й Лихачевский пер., 6.

Факс: (095) 234-25-06.

Тел.: (095) 154-70-91, 153-10-10, 153-26-10.

Генеральный директор — *Гетманцев Степан Викторович*

E-mail: office@aurat.ru; сайт: www.aurat.ru

**Общество с ограниченной ответственностью «СИНТЕЗ»**

*Бурыгина Татьяна Альбертовна*

Тел. (0942) 34-80-51

**ЗАО «ПП "ТАУРАТ"»**

*Базин Сергей Вячеславович*

Тел. (8432) 70-04-17, дистрибьютор по Приволжскому  
федеральному округу

**ООО «РАУРАТ»**

*Кудинов Иван Александрович*

Тел. (8432) 92-65-30, дистрибьютор по Южному  
федеральному округу

**ООО «СибАурат»**

*Белова Елена Викторовна*

Тел. (39151) 65-301, дистрибьютор по Сибирскому  
федеральному округу

*Предприятия осуществляют поставку  
полиоксихлоридов алюминия под торговой маркой «АКВА-АУРАТ™»  
и алюминия сульфат. Предоставляют широкий перечень услуг  
по водоснабжению и водоотведению.*

