

ZHITENEV B. N., ANDREYUK S. V. *Planning method a multifactorial experiment on the example of ion-exchange water purification from nitrates*

The article applies the conditions for selecting the method of a multifactor experiment on the example of ion-exchange water purification from nitrates. General information about the full factorial experiment is shown. A multifactorial process of ion-exchange purification is presented.

After conducting a three-factor experiment and processing its results, a second-order regression equation was obtained, which is an experimental statistical model of the process of ion-exchange purification of water from nitrates.

УДК 628.316

Волкова Г. А., Ануфриев В. Н.

## ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА КОАГУЛЯЦИИ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫМИ ФЛОКУЛЯНТАМИ

**Введение.** Основной и определяющей стадией очистки природных вод из поверхностных водных объектов в условиях повышения их загрязнённости остаётся коагуляция воды. В результате обработки воды коагулянтами и флокулянтами происходит образование крупных агрегатов частиц загрязнений (хлопьев), легко отделяемых механическими методами очистки. Применение флокулянтов при обработке воды позволяет ускорить в камерах хлопьеобразования и отстойниках формирование хлопьев и их осаждение, повысить эффект осветления воды и увеличить скорость ее движения в сооружениях. В осветлителях со слоем взвешенного осадка данные реагенты увеличивают концентрацию частиц во взвешенном слое и уменьшают их вынос из него при одновременном повышении скорости восходящего потока воды. Использование флокулянтов на действующих сооружениях водоподготовки позволяет увеличить их производительность, обеспечивая повышение эффективности работы водоочистного комплекса в целом. В отдельные периоды года (паводки, низкие температуры воды и др.), когда технологические сооружения обеспечивают получение воды требуемого качества лишь при пониженной производительности, использование флокулянтов позволяет достигать необходимых расходов обработанной воды.

Как известно, **коагуляционный метод применяется для извлечения из воды стабилизированных и нестабилизированных поверхностно-активными веществами коллоидных и тонкодисперсных примесей**, не удаляемых механическими методами: отстаиванием, флотацией и фильтрованием. К коллоидным и тонкодисперсным веществам относятся частицы с гидравлической крупностью ( $U_0$ ) менее 0,3 мм/с и имеющие размеры менее 100 мкм, которые могут быть представлены органическими гидрофобными примесями, в том числе нефтепродуктами, а также гидрофильными органическими веществами (гумусовые вещества, полисахариды, белки, лигнин), и минеральными веществами (глинистые частицы, оксиды, карбонаты, сульфиды металлов, и т. д.). Одновременно может происходить химическое осаждение растворённых органических и минеральных веществ, которые могут вступать в химическое взаимодействие с коагулянтами и флокулянтами с образованием нерастворимых соединений. К таким веществам относятся соли гуминовых и фульвокислот, анионные и катионные ПАВ, фосфаты, сульфаты, катионы и комплексные анионы тяжёлых металлов [1].

Коагулянты, используемые для очистки воды, делятся на неорганические (соли алюминия и железа) и органические. К неорганическим коагулянтам относится сульфат алюминия, который выпускается в виде кристаллогидратов с разным содержанием молекул воды, полиоксихлорид алюминия, хлорид железа, сульфат трех- и двухвалентного железа, которые производятся в твёрдом виде (порошкообразном, кусковом, гранулированном) или жидком виде. Органические коагулянты представляют собой водорастворимые заряженные низкомолекулярные полимеры (полиэлектролиты), которые выпуска-

ются под различными торговыми марками, в том числе NALCO[2], SNF Floerger, Stockhausen (Праестол) и др.

Флокулянты в отличие от органических коагулянтов являются высокомолекулярными заряженными или нейтральными водорастворимыми органическими полимерами. Обычно это вещества с высокой молекулярной массой до 20 млн, выпускаются в порошкообразном, эмульгированном (эмульсия полимера в органическом растворителе) и жидком виде.

В результате плавного перемешивания обрабатываемой воды с растворами коагулянта и флокулянта обеспечивается более полная агломерация мелких хлопьев, происходит образование крупных агрегатов частиц загрязнений (макрохлопьев), легко отделяемых на сооружениях механической очистки. Однако механизмы действия коагулянтов и флокулянтов различны (рис. 1).

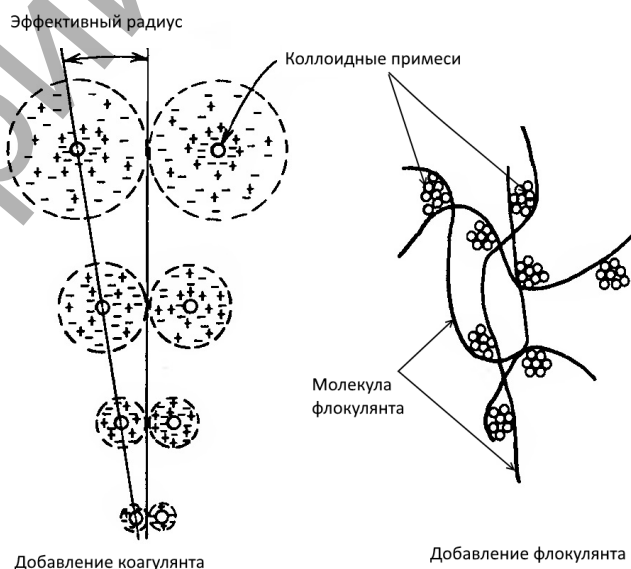


Рисунок 1 – Схема воздействия коагулянтов и флокулянтов на примеси

Содержащиеся в воде коллоидные вещества характеризуются различным гранулометрическим составом. Гидрофобные коллоиды не способны притягивать воду и не смачиваются водой в отличие от гидрофильных коллоидов, дисперсионной средой которых является вода, и которые способны притягивать воду и создавать вокруг себя гидратную оболочку в процессе так называемой гидротации коллоидов. Большинство веществ, обуславливающих мутность и цветность природных вод, является гидрофобными или слабогидрофильными коллоидами. Гидрофобными или слабогидрофильными также явля-

**Волкова Галина Александровна**, к. т. н., доцент, доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

**Ануфриев Владимир Николаевич**, к. т. н., доцент заведующий кафедрой водоснабжения и водоотведения Белорусского национального технического университета.

Беларусь, БНТУ, 220013, г. Минск, пр-т Независимости, 65.

ются коллоиды, которые образуются при очистке воды в результате гидролиза вводимых в воду коагулянтов. Поэтому полное представление о поведении коллоидов в процессе очистки природных вод можно получить лишь при учете факторов устойчивости гидрофобных и гидрофильных коллоидов. Важным аспектом при очистке воды является то, что гидрофильные коллоиды могут вступать в химическую реакцию с коагулянтом, используемым в процессе очистки. Из этого следует, что при наличии в воде гидрофильных коллоидов требуется большее количество коагулянта, чем для гидрофобных, не вступающих в химическую реакцию с коагулянтом.

На практике для характеристики коллоидной системы требуется определение природы коллоидных частиц и величины их заряда. От величины заряда коллоидной частицы зависит расстояние, на которое коллоидные частицы могут приближаться друг к другу. Мерой величины заряда является дзета-потенциал [2]. Для коллоидов, присутствующих в природных источниках воды, имеющих величину  $pH=5-8$ , дзета-потенциал обычно составляет от  $-14$  до  $-30$  мВ, чем больше его отрицательная величина, тем больше величина заряда частицы. При уменьшении дзета-потенциала расстояние между частицами может уменьшаться, что увеличивает вероятность их столкновения. Как правило, при очистке воды, имеющей величину  $pH=6-8$ , коагулянты создают положительные заряды, которые снижают отрицательную величину дзета-потенциала. Коагуляция обычно происходит при небольшой отрицательной величине дзета – потенциала, так что полная нейтрализация заряда обычно не требуется. При передозировке коагулянта поверхность частиц становится положительно заряженной (положительный дзета-потенциал), и частицы вновь переходят в дисперсную фазу. Дзета-потенциал определяется косвенным путём на основании данных, полученных при наблюдении за движением частиц под микроскопом. Для этого применяют прибор для непрерывного контроля способности частиц к перемещению в воде и измерения дзета-потенциала «Zeta –Reader» или прибор «MobilityMeter» для определения средней величины подвижности частиц [2]. Однако для выбора оптимального коагулянта недостаточно только лишь измерить значение дзета-потенциала, наилучшим способом выбора коагулянта остаются лабораторные испытания. Эффективность процесса коагуляции в значительной степени зависит от интенсивного перемешивания, при котором быстро происходит распределение коагулянта по всему объёму воды, что ускоряет столкновение частиц.

Добавление в обрабатываемую воду флокулянта способствует соединению частиц флокул, образовавшихся в результате агрегации нескольких коллоидных частиц, образуя мостиковые связи между поверхностями частиц и связывая отдельные частицы в большие агрегаты. Процесс флокуляции ускоряется при медленном перемешивании, когда соединение флокул происходит постепенно, при слишком высокой скорости перемешивания флокулы отделяются друг от друга и при повторном соединении редко достигают оптимального размера и прочности. В процессе флокуляции не только увеличивается размер частиц флокул, но и изменяются их физические свойства. Ил и шлам при флокуляции обезвоживаются на песчаных площадках и в механическом оборудовании для обезвоживания гораздо быстрее, так как флокулы имеют менее студенистую структуру. К настоящему времени разработаны принципы определения градиента скорости и скорости сдвига частиц флокул («G – фактор») и установлено, что скорость сдвига зависит от удельного расхода энергии на перемешивание, затрачиваемой на единицу объёма, эквивалентного продолжительности процесса обработки воды, а также от вязкости воды, которая оказывает непосредственное влияние на частоту столкновения частиц. Этим частично объясняется тот факт, что процессы коагуляции и флокуляции в значительной степени зависят от температуры [2].

При очистке воды флокулянтами в сочетании с коагулянтами, особенно при низких температурах воды, эффективность флокуляции зависит от промежутка времени между подачей коагулянта и флокулянта. Обычно этот интервал составляет от 30 до 120 с [3] и определяется как температурой обрабатываемой воды, так и наличием растворённых органических примесей. Чем ниже температура

воды, тем медленнее протекает реакция гидролиза коагулянта, а следовательно, и коагуляция коллоидных и растворённых примесей образующимися микрохлопьями коагулянта, и тем ниже эффект очистки воды. В этом случае необходимо увеличивать продолжительность периода времени между подачей коагулянта и флокулянта, поскольку в противном случае макромолекулы флокулянта, связывая частицы гидроксидов в макрохлопья, будут снижать их адсорбционную активность.

При добавлении в обрабатываемую воду органических и минеральных коагулянтов агрегация частиц происходит за счёт снижения заряда коллоидных и тонкодисперсных частиц противоположно заряжёнными ионами коагулянта и потери вследствие этого кинетической устойчивости частиц. При использовании минеральных коагулянтов процесс агрегации ускоряется за счёт адсорбции коллоидных и мелкодисперсных частиц продуктами гидролиза коагулянтов.

При добавлении органических флокулянтов агрегация коллоидных и мелкодисперсных частиц в крупные хлопья происходит в результате адсорбции макромолекул флокулянта одновременно на нескольких частицах и связывания их полимерными мостиками [1].

Основными факторами, которые определяют выбор и эффективность использования коагулянтов и флокулянтов, являются:

- физико-химические свойства очищаемой воды (степень дисперсности и концентрация удаляемых загрязнений, содержание растворённых солей, температура);
- физико-химические характеристики коагулянтов и флокулянтов;
- технологические параметры коагуляции.

Водные растворы высокомолекулярных флокулянтов являются истинными растворами, то есть гомогенными однофазными термодинамически устойчивыми системами. Макромолекулы флокулянтов могут находиться в воде в неионизированном состоянии или диссоциировать в той или иной степени на ионы. В соответствии с этим различают неионные (неионогенные) флокулянты и флокулянты-полиэлектролиты, которые в зависимости от природы ионогенных групп могут быть анионными и катионными. Оптимальный выбор флокулянта для любой системы возможен только на основе результатов лабораторного анализа и технологических испытаний.

В твердом состоянии флокулянты представляют собой аморфные или кристаллические вещества. Большинство из них не имеют определенной температуры плавления и при повышении температуры постепенно смягчаются, а затем разлагаются. Флокулянты легко разрушаются при механическом перемешивании и измельчении, продавливании вязких растворов через капиллярные отверстия, при освещении, а также под воздействием различных химических реагентов. Растворение высокомолекулярных веществ в воде протекает медленно. Вначале происходит набухание полимера, а затем образование одно-родного раствора в результате взаимной диффузии молекул воды и макромолекул полимера. Эти процессы можно ускорить нагреванием и неинтенсивным, во избежание деструкции, перемешиванием.

Флокулянты производятся в жидком, гелеобразном, порошкообразном виде. Недостатком порошкообразных и гелеобразных флокулянтов является сложность приготовления рабочих растворов флокулянтов с концентрацией 0,01-1%, так как для их растворения требуется специальное оборудование. Частицы порошкообразного полимера имеют свойство слипаться при смачивании. При этом полное смачивание отдельных частиц флокулянта является важнейшим требованием, поскольку при недостаточной диспергированности возможно их механическое разрушение при интенсивном перемешивании [4]. Указанные недостатки нехарактерны для эмульсионных флокулянтов, которые хорошо смешиваются с водой, несмотря на высокую молекулярную массу. Кроме того, эмульсионные флокулянты характеризуются широкой сырьевой базой для их производства.

В настоящее время ведутся интенсивные исследования по выделению из растительного сырья, синтезу и технологическому применению флокулянтов различного химического строения и назначения. Так, на основе картофельного крахмала были синтезированы эффективные катионные флокулянты, которые во многих странах применяют для очистки питьевой воды. Коммерческие названия флокулянтов на основе крахмала: Виспрофлок (США), Перфекамил

(Англия), Пермутит (Нидерланды), Флок-Эйд (Германия), Неогум, Азим (Франция), Флокгель (Нидерланды), Флокап (Чехия) [3]. К флокулянтам природного происхождения так же относятся: декстрин (получаемый обработкой крахмала кислотой), альгинат натрия (представляет собой соль полиальгиновой кислоты и производится из высушенных морских водорослей), натриевые соли карбоксиметилцеллюлозы, гуаровые смолы (получаемые при экстракционной обработке семян бобовых (*Cyathopisporaliadis*), хитозан (синтезирован на основе природного полисахарида хитина-1,4, выделяемого при переработке морских ракообразных) и др.

Производство синтетических высокомолекулярных флокулянтов (ВМФ) менее затратно, чем получение флокулянтов из природного сырья. Также в растворах синтетических флокулянтов менее интенсивно развиваются микроорганизмы, разлагающие активный компонент, чем в растворах природных соединений. В качестве флокулянтов используют органические полимеры, относящиеся к различным классам, или сополимеры с разнообразными функциональными группами.

Наиболее распространенным и эффективным неионным флокулянтом является полиэтиленоксид (ПЭО), преимуществом которого является отсутствие заметной зависимости его флокулирующей способности от pH раствора. Недостаток данного флокулянта – малая прочность флокул вследствие слабого закрепления макромолекул на поверхности большинства частиц (из-за отсутствия специфических взаимодействий) и их легкая разрушаемость при продолжительном и интенсивном перемешивании.

Наиболее известным и широко применяемым синтетическим флокулянтом является полиакриламид (ПАА). В нейтральной, слабощелочной и слабощелочной среде ПАА ведет себя как неионный полимер. Неионные ПАА представляют собой акриламидные гомополимеры, получаемые путем полимеризации мономера акриламида с нулевой плотностью заряда. Производятся в виде гранул или порошка, молекулярная масса 1–20 млн.

Анионные ПАА получают путем сополимеризации мономеров акриламида и акрилата натрия в различных пропорциях. Производятся в виде геля, гранул или порошка, молекулярная масса 1–20 млн. Имеют отрицательный заряд с плотностью от 1 до 50%. Катионные ПАА получают путем сополимеризации акриламида и катионного акрилового мономера и выпускается в виде порошков, гелей, концентрацией 7–8% и высоковязких жидкостей. К катионным флокулянтам относятся полимеры акриламида серии АК 636: слабокатионный К 1020, сильнокатионные К 555, К 580; серии АК 631: среднеанионный А 930, слабоанионный А 1510, неионный Н 150; сильнокатионный Флокотон 100, 109, 200 [6].

Диспергированные, коллоидные и взвешенные частицы примесей природных вод, промышленных сточных вод, частицы большого количества суспензий заряжены отрицательно. Поэтому наиболее эффективными регуляторами устойчивости обычно встречающихся на практике дисперсий являются катионные флокулянты. Флокулянты серий ВПК (водорастворимый полимер катионный) реагируют с гумусовыми веществами с образованием нерастворимых в воде комплексов, адсорбируются на отрицательно заряженных частицах коллоидных загрязнений воды, связывая их в крупные хлопья. Эти реагенты хорошо поглощаются также дисперсными частицами углей, оксидов, бактериальных культур и других, вызывая их агрегацию. Часто при этом с помощью ВПК удается сфлюкулировать мелкие частицы, которые не агрегируют в присутствии высокомолекулярных неионных или анионных полимеров. Флокулянты ВПК могут быть использованы для очистки оборотных вод углеобогащения, концентрирования клеточных суспензий, для очистки сточных вод нефтеперерабатывающих заводов и т. д.

Флокулянты с широким спектром физико-химических характеристик под разными торговыми марками производятся следующими фирмами: активные флокулянты серии Флокотон (Россия), финской фирмой Kemira – флокулянты серии Феннопол; японскими фирмами SanyoChem. IndustriesLtd. – флокулянты серии Sanfloc; Kurita – флокулянты серии Kurifix; французской фирмой SNF Flocserger – флокулянты серии Flopat PWG и органические коагулянты серии Floquat, американскими фирмами Cyteclnd. – флокулянты серии Superfloc,

NalcoChemical – флокулянты серии Nalco; Kem-TronTechn. Inc. – флокулянты серии Kem-Tron; Ciba – флокулянты серий Zetag и Magnafloc; немецкой компанией Соленис (Solenis) – Праестол и др. [3].

Молекулярная масса флокулянтов, производимых различными фирмами, колеблется в широких пределах – от 300 тыс. до 20 млн. Например, флокулянты серии Праестол производятся с молекулярной массой от 6 млн до 16 млн, серии Zetag и Magnafloc – до 20 млн.

Расчет реагентного хозяйства для приготовления флокулянта, его дозу и порядок введения в воду необходимо производить в соответствии с рекомендациями ТКП 45-4.01-320-2018 на основании результатов инженерных изысканий и лабораторных испытаний [5].

Приготовление раствора флокулянта следует производить в комплектных станциях заводского изготовления или в баках с механическим перемешиванием.

Комплектные станции заводского изготовления производятся в виде трехкамерных установок (проточного типа) и двухкамерных (периодического действия). Трехкамерные станции, как правило, включают три камеры с последовательной подачей раствора по ним: растворный бак, бак для созревания раствора флокулянта и расходный бак, из которого производится дозирование раствора в обрабатываемую воду. Двухкамерные станции (периодического действия), как правило, включают растворный бак и две камеры (расходных бака) для созревания и дозирования раствора флокулянта. Подача и дозирование раствора флокулянта из двух расходных баков производится периодическим переключением дозирования, после опорожнения одного бака на другой.

Производительность установки для приготовления раствора флокулянта  $Q_{\text{меш}}$ , кг/ч, определяют по формуле:

$$Q_{\text{меш}} = \frac{Q_{\text{сум}} D_{\text{фл}}}{t_{\text{фл}}}, \quad (1)$$

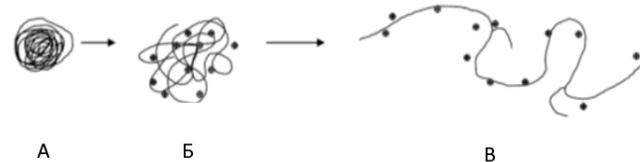
где  $Q_{\text{сум}}$  – производительность станции водоподготовки, м<sup>3</sup>/сут;

$D_{\text{фл}}$  – доза флокулянта, г/дм<sup>3</sup>;

$t_{\text{фл}}$  – продолжительность работы станции водоподготовки в течение суток, ч.

Мешалки следует принимать в зависимости от объема и формы растворного бака флокулянта.

Объем расходных баков флокулянта следует определять с учетом продолжительности созревания флокулянта и сроком пригодности раствора флокулянта после его созревания для дозирования. Продолжительность процесса созревания флокулянта, определяемая как время от момента его полного растворения до момента его готовности к дозированию, декларируется производителем флокулянта. При отсутствии указанных данных, продолжительность процесса созревания флокулянта следует принимать не менее 30 мин. Срок пригодности раствора флокулянта после его созревания для дозирования декларируется производителем флокулянта, при отсутствии указанных данных, срок пригодности раствора флокулянта следует принимать не более 4 ч.



стадия А – исходный продукт; стадия Б – набухание; стадия В – «созревший» флокулянт, готовый к использованию

Рисунок 2 – Подготовка флокулянта перед его использованием

Водные растворы флокулянтов обладают рядом особенностей, в том числе нелинейным увеличением так называемой «приведенной вязкости» водных растворов флокулянтов с разбавлением. Это связано с разворачиванием «клубков» макромолекул и увеличением их размеров при уменьшении концентрации флокулянта (рис. 2). Особенно сильно этот эффект проявляется в растворах ионных

флокулянтов-полиэлектролитов. При их разбавлении уменьшается концентрация противоионов вблизи макромолекулярного «клубка» и увеличивается электростатическое отталкивание одноимённо заряженных звеньев полимерной цепи. Это приводит к увеличению размеров макромолекул, возрастанию их эффективного заряда и, соответственно, к дополнительному набуханию полиэлектролитных «клубков». Это свойство флокулянтов является одним из факторов, определяющим их высокую флокулирующую активность при небольших дозах (0,5–10 мг/дм<sup>3</sup>), когда макромолекулы флокулянта имеют максимальные линейные размеры и наибольшую доступность ионогенных групп [3, 9]. При этом удельная вязкость растворов флокулянтов – полиэлектролитов при разбавлении уменьшается.

Определение параметров реагентного хозяйства для приготовления флокулянта следует определять с учетом продолжительности их созревания и срока пригодности его рабочего раствора.

Объем расходных баков флокулянта  $W_{расх.фл.}$ , м<sup>3</sup>, определяется по формуле:

$$W_{расх.фл.} = \frac{Q_ч D_{фл} T_{фл} 100}{b_{фл расх} \rho_{фл расх}}, \quad (2)$$

где  $Q_ч$  – производительность станции водоподготовки, м<sup>3</sup>/ч;

$D_{фл}$  – доза флокулянта, г/дм<sup>3</sup>;

$T_{фл}$  – продолжительность пребывания раствора флокулянта в расходном баке, ч;

$b_{фл расх}$  – концентрация раствора флокулянта в расходном баке, %;

$\rho_{фл расх}$  – плотность раствора флокулянта в расходном баке, кг/м<sup>3</sup>.

Объем растворного бака флокулянта  $W_{раств.фл.}$ , м<sup>3</sup>, определяется по формуле:

$$W_{раств.фл.} = W_{расх.фл.} \frac{b_{фл расх}}{b_{фл}}, \quad (3)$$

где  $b_{фл}$  – концентрация раствора флокулянта в растворном баке, %;

$b_{фл расх}$  – концентрация раствора флокулянта в расходном баке, %;

$W_{расх.фл.}$  – объем расходных баков флокулянта, м<sup>3</sup>.

Концентрацию раствора флокулянта следует принимать по ТКП 45-4.01-320-2018 (пункт 9.3.16) [5].

Перекачку рабочих растворов флокулянтов следует производить насосами, дозирование флокулянта – насосами-дозаторами.

Производительность насоса-дозатора  $q_n$ , дм<sup>3</sup>/ч, определяется по формуле:

$$q_n = \frac{q_{час} D_{фл} \cdot 10}{C_{фл} b_{расх} \rho}, \quad (4)$$

где  $q_{час}$  – расчетный расход обрабатываемой воды, м<sup>3</sup>/ч;

$D_{фл}$  – расчетная доза флокулянта, мг/дм<sup>3</sup>;

$C_{фл}$  – содержание активного вещества флокулянта в товарном продукте %;

$b_{расх}$  – концентрация раствора флокулянта в расходном баке, принимается в пределах от 0,1 % до 1,0 %;

$\rho$  – плотность раствора флокулянта, т/м<sup>3</sup>.

В последнее время вошли в практику смеси флокулянтов с коагулянтами, щелочными соединениями, сорбентами и другими веществами под названием «композиционные реагенты», такие смеси выпускаются в виде жидкостей, суспензий, порошков или гранул, они весьма удобны в приготовлении рабочих растворов и дальнейшем использовании. Композиционные реагенты изготавливают путём смешения отдельных компонентов или их растворов, или переработкой смешанного сырья или отходов производства, что позволяет дополнительно решать задачу, связанную с утилизацией отходов. По компонентному составу композиционные реагенты разделяются на:

- неорганические коагулянты;
- органические флокулянты;
- коагулирующе – флокулирующие композиции.

Композиционные органические флокулянты получают смешением флокулянтов, обладающих разными свойствами – молекулярной массой, величиной и знаком заряда, химическим строением.

Композиционные коагулирующе-флокулирующие реагенты включают в качестве компонентов неорганические коагулянты, органические флокулянты и различные активные добавки. Например, гидроксохлорсульфат алюминия получают в процессе смешения сплава сульфата алюминия и раствора гидроксохлорида алюминия, выдержки и последующей кристаллизации смеси. Алюмосиликатный коагулянт-флокулянт АКФК получают путём обработки природного алюмосиликата нефелина минеральными кислотами. Композиционный коагулянт-флокулянт на основе сульфата алюминия и полиакриламида марки СА-3Н-600 позволяет повысить эффективность очистки воды на станциях водоподготовки, не имеющих отдельного узла приготовления раствора флокулянта [6].

Основные нормируемые вредные химические вещества, которые поступают и образуются в воде в процессе её обработки коагулянтами, флокулянтами и обеззараживающими реагентами, представлены в таблице 3 СанПиН10-124 РБ 99 [7]. Для каждого вещества указан норматив по величине ПДК, которая не оказывает влияния на состояние здоровья человека. Также указывается лимитирующий показатель вредности, по которому устанавливается ПДК, и класс опасности химического вещества, который учитывается при выборе соединений, подлежащих первоочередному контролю.

В соответствии с Законом Республики Беларусь "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения" должен осуществляться производственный контроль качества питьевой воды, государственный и ведомственный санитарно-эпидемиологический надзор [8]. Производственный контроль качества питьевой воды обеспечивается организацией, осуществляющей эксплуатацию системы водоснабжения, по рабочей программе, согласованной с территориальными органами государственного санитарного надзора. Производственный контроль качества питьевой воды в соответствии с рабочей программой осуществляется лабораториями организаций, эксплуатирующих системы водоснабжения, или по договорам с ними лабораториями других организаций, аккредитованными в установленном порядке на право выполнения исследований (испытаний) качества питьевой воды [7].

В обязательном порядке осуществляется государственный санитарно-эпидемиологический надзор за использованием синтетических полиэлектролитов для очистки питьевой воды. Флокулянты, используемые для очистки воды и обработки осадка, должны иметь гигиенический сертификат с указанием веществ, которые могут поступать в воду при их применении. Так, при использовании флокулянтов, в воду могут поступать исходные мономеры. Например, при применении полиакриламида вода загрязняется акриламидом, ПДК на который в 200 раз ниже, чем на полиакриламид. Содержание же полиакриламида (ПАА) в питьевой воде не должно превышать 2 мг/дм<sup>3</sup>.

Кроме того, для каждого нового флокулянта должна быть установлена предельно-допустимая концентрация (ПДК) в системе водоснабжения при его применении в водоподготовке или в воде водных объектов при сбросе сточных вод, очищенных с использованием флокулянтов.

**Заключение.** Флокулянты интенсифицируют процесс хлопьеобразования при коагуляции взвеси солями алюминия или железа, а также позволяют улучшить работу водоочистных сооружений. В последние десятилетия появилась группа высокомолекулярных катионных флокулянтов, которые в технологии очистки воды могут применяться самостоятельно без использования солей алюминия, реагируют с гумусовыми веществами с образованием нерастворимых в воде комплексов, адсорбируются на отрицательно заряженных частицах коллоидных загрязнений воды, связывая их в крупные хлопья.

При использовании флокулянтов в системах водного хозяйства их выбор делают на основании накопленного практического опыта флокулирования в аналогичных условиях: физико-химических характеристик очищаемой воды (степень дисперсности и концентрации удаляемых загрязнений, наличием и природой растворённых веществ); физико-химическими характеристиками флокулянтов (молекулярной массой, наличием и степенью диссоциации ионогенных

групп) и технологическими параметрами флокуляции (условиями смешения и хлопьеобразования).

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гандурина, Л. В. Современные способы повышения качества питьевой воды/ Инженерное обеспечение объектов строительства: обзорная информация. – М. : ВНИИТПИ, 2003. – Вып. 4. – 59 с.
2. Книга Налко о воде / Под ред. Френка Н. Кеммера. – Нью-Йорк : Издательство McGraw – Hill Book Company, 1988. – Часть 2 : Типовые химико-технологические операции при очистке воды. – 1104 с.
3. Аксенов, В. И. Применение флокулянтов в системах водного хозяйства : учебное пособие / В. И. Аксенов, Ю. В. Аникин, Ю. А. Галкин, И. И. Ничкова, Л. И. Ушакова, Н. С. Царев. – Екатеринбург : УГТУ – УПИ, 2008. – 92 с.
4. Драгинский, В. Л. Коагуляция в технологии очистки природных вод / В. Л. Драгинский, Л. П. Алексеева, С. В. Гетманцев. – М. : Науч. изд., 2005. – 576 с.
5. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-4.01-320-2018 (33020).
6. Журба, М. Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений / М. Г. Журба, Л. И. Соколов, Ж. М. Говорова. – М. : Издательство АСВ, 2010. – Том 2. – 552 с.
7. Санитарные правила и нормы Республики Беларусь СанПиН 10-124 РБ 99 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.
8. О санитарно-эпидемическом благополучии населения : закон Республики Беларусь. – 7 января 2012 г. № 340-3.
9. Справочник химика 21 / Химия и химическая технология / Под редакцией Б. П. Никольского.

Материал поступил в редакцию 10.03.2019

#### VOLKOVA G. A., ANUFRIYEV V. N. Intensification of the process of biological treatment of waste waters of milk processing enterprises

The article deals with the intensification of the coagulation process by high-molecular flocculants in the purification of natural waters from surface water bodies. The use of flocculants in water treatment allows to speed up the cameras globeop education and lagoons, the formation of flakes and their deposition, increasing the effect of aswet-tion of water and increase the speed of its movement in structures.

УДК 628.196

Пропольский Д. Э., Романовский В. И., Романовская Е. В.

### МОДИФИЦИРОВАННЫЙ АКТИВИРОВАННЫЙ УГОЛЬ ДЛЯ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Основным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения населения Республики Беларусь являются подземные воды. Водоснабжение из подземных источников зависит от ряда факторов, таких как повышенная концентрация железа и марганца [1], высокий бактериологический индекс, повышенная минерализация. Допустимая концентрация ионов железа в питьевой воде регламентируется требованием стандартов. Примером таковых являются требования Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) и составляют 0,2 мг/дм<sup>3</sup>. Для ряда других стран этот показатель составляет 0,3 мг/дм<sup>3</sup>.

Целью работы является подготовка новых эффективных модифицированных каталитических материалов, имеющих ряд преимуществ в виде высокой каталитической активности, простоты изготовления и низкой стоимости.

Для нормальной работы фильтров важным является подбор правильных параметров фильтрующих материалов. По своим свойствам загрузку можно разделить на каталитическую и фильтрующую в зависимости от их химических и физических свойств [1].

Важными характеристиками при выборе фильтрующего материала являются:

- химическая стойкость материалов к обрабатываемой воде;
- устойчивость к истиранию (износу);
- равномерное распределение зерна по размеру;
- соблюдение правильного фракционного состава материала;
- отсутствие различных примесей;
- экономическая выгода использования;
- возможность получения материала в зоне фильтрующего комплекса.

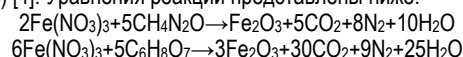
Наиболее распространёнными фильтрующими материалами являются кварцевый песок, антрацит, гранитная крошка, керамзит, и активированный уголь. В качестве каталитической загрузки могут быть использованы различные материалы: абсолютно новые (за-

грузка на основе пластмасс, природного цеолита [2]) и модифицированные материалы (антрациты [3], мезопористые материалы на основе кремнезёма [4], нано-абсорбенты на основе оксида меди [5]). В статье [2] был выполнен сравнительный анализ использования таких материалов.

Среди методов очистки воды от различных химических элементов можно выделить нанесение на поверхность фильтрующего материала эффективных окислителей [6–8]. Для целей обезжелезивания воды используют покрытия из оксида таких металлов как железо [3, 9–14], марганец [14–20] или медь [19, 21–23]. Для придания дополнительных свойств фильтрующей загрузке, таких как обеззараживающий эффект на микроорганизмы и профилактика биообрастания, может использоваться оксид цинка [24, 25].

В данной статье производилась модификация активированного угля (activated coal – АС) на кокосовой основе с покрытием из оксида железа. Размер гранул материала составил 0,5–2,5 мм, а насыпная плотность 0,49–0,53 г/см<sup>3</sup>. АС обладает устойчивостью к воздействию нейтральных, кислых и щелочных сред, а также к истощению и дроблению во время фильтрации. Пористость материала составила 0,65 см<sup>3</sup>/г. Выбор материала был обусловлен его доступностью. Также изготовление активированного угля может осуществляться из различных недорогих материалов или сельхоз отходов [26], что является положительным фактором с точки зрения экономики и доступности.

**Описание метода модификации.** Для осуществления модификации АС был выбран метод экзотермического горения в растворе (solution combustion synthesis – SCS) в водных растворах с использованием стехиометрической смеси нитрата железа (окислитель) и лимонной кислоты (citric acid – СА) или мочевины (urea – U) (восстановитель) [4]. Уравнения реакции представлены ниже:



Пропольский Дмитрий Эдуардович, аспирант Учреждения образования «Белорусский национальный технический университет». Беларусь, 220013, г. Минск, пр. Независимости, 65.

Романовский Валентин Иванович, к. т. н., старший преподаватель Учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».

Романовская Елена Владимировна, к. х. н., ассистент Учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».

Беларусь, 220050, г. Минск, ул. Свердлова, 13а.