

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОДЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ НА РЕАГЕНТНУЮ ВОДОПОДГОТОВКУ

*В. Н. Ануфриев, к. т. н., доцент кафедры водоснабжения и водоотведения,  
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь,  
e-mail: vladimir.anufriev@bntu.by*

*Г. А. Волкова, к. т. н., доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны  
водных ресурсов, Брестский государственный технический университет,  
Брест, Беларусь, e-mail: volga-brest@mail.ru*

### Реферат

Примеси, обуславливающие мутность и цветность природных вод, а также диспергированные и коллоидные частицы могут быть удалены из воды только путем реагентной обработки коагулянтами.

В данной статье рассмотрены процессы коагулирования примесей природных вод. Проведен анализ показателей качества воды (мутность, цветность, перманганатная окисляемость, биомасса фитопланктона) из поверхностного источника водоснабжения, осветленной воды с добавленными алюминий-содержащими коагулянтами по этапам очистки и очищенной воды по периодам года.

В зависимости от показателей качества поверхностной воды, поступающей на водоочистные сооружения, рекомендуется принимать постоянную подачу коагулянта или периодическую подачу (дробную) в холодное время года, что дает возможность значительно сократить потребность в коагулянте и увеличить длительность фильтроциклов при работе скорых фильтров.

**Ключевые слова:** водоподготовка, коагулирование, примеси воды, показатели качества воды, режим дозирования, дозы реагентов, мутность, цветность, перманганатная окисляемость.

## INFLUENCE OF WATER PARAMETERS OF SURFACE WATER SUPPLY SOURCES ON REAGENT WATER TREATMENT

**V. N. Anoufriev, H. A. Volkova**

### Abstract

Impurities that cause turbidity and color in natural waters, as well as dispersed and colloidal particles, can be removed from water only by reagent treatment with coagulants.

This article discusses the processes of coagulation of impurities in natural waters. An analysis of water quality indicators (turbidity, color, permanganate oxidation, phytoplankton biomass) from a surface water supply source, clarified water with added aluminum-containing coagulants by stages of purification, and purified water by periods of the year was carried out.

Depending on the quality indicators of surface water entering the water treatment plant, it is recommended to use a constant supply of coagulant or periodic supply (fractional) in the cold season, which makes it possible to significantly reduce the need for coagulant and increase the duration of filter cycles when operating rapid filters.

**Keywords:** water treatment, coagulation, water impurities, water quality indicators, dosage regimen, reagent doses, turbidity, chromaticity, permanganate oxidability.

## **Введение**

Состав поверхностных вод, в том числе водохранилищ, зависит от условий формирования (подготовка ложа, поступление взвешенных и влекомых наносов) и источников питания. Как правило, вода водохранилищ характеризуется значительным содержанием органических веществ, наличием планктона и повышенной минерализацией в придонных слоях. Массовое развитие, отмирание клеток фитопланктона в поверхностных источниках водоснабжения ухудшает качество воды, приводит к появлению интенсивного запаха, повышению мутности и цветности воды, увеличению концентрации органических веществ, способствует выносу водорослей с водой на водопроводные очистные сооружения и увеличению взвешенных веществ на сооружения. Сине-зеленые водоросли, широко представленные в водохранилищах, генерируют цианотоксины, концентрация которых возрастает в период интенсивного размножения водорослей. Некоторые виды микроводорослей в результате своей жизнедеятельности, а также при отмирании и разложении придают воде неприятный запах.

Во время паводка происходит разбавление воды поверхностных источников талыми водами с одновременным увеличением содержания примесей. С июля по ноябрь (летне-осенний период) в поверхностных источниках водоснабжения (реках, водохранилищах, озерах) наблюдается максимальное развитие фитопланктона – цветение.

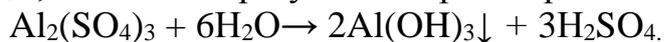
## **Влияние параметров воды поверхностных источников водоснабжения на реагентную водоподготовку**

Качество очищенной воды, подаваемой в систему питьевого водоснабжения, должно соответствовать показателям безопасности воды централизованных систем питьевого водоснабжения, установленным гигиеническим нормативом [1]. Для эффективной очистки воды на станциях водоподготовки проводят исследования по совершенствованию реагентной обработки (выбор коагулянтов и флокулянтов, определение их доз, порядок и место ввода в обрабатываемую воду) и по основным технологическим процессам и методам очистки воды, принятым на станциях.

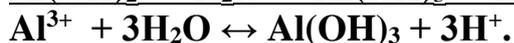
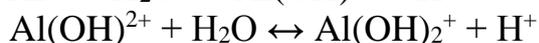
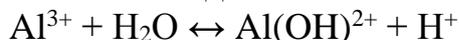
Методы реагентной обработки, в частности, коагулирование, применяют, как правило, для очистки воды из поверхностных водоисточников. Коагулирование применяется для ускорения выпадения взвеси, осуществляется путем добавления в обрабатываемую воду химических реагентов (коагулянтов), образующих хлопья, которые, оседая, увлекают за собой взвесь, содержащуюся в воде поверхностного источника водоснабжения.

Коагулянты, используемые в технологии водоподготовки, являются солями слабых оснований и сильных кислот (сульфат алюминия  $Al_2(SO_4)_3$ , сульфат железа (III)  $FeCl_3$ , алюминат натрия  $NaAlO_2$ , оксихлорид алюминия  $Al_2(OH)_5Cl$  и др.).

При их растворении происходит гидролиз. Взаимодействуя с гидроксильными ионами  $\text{OH}^-$ , образовавшимися в результате электролитической диссоциации воды, эти соли образуют малорастворимые основания  $\text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow$ :



Гидролиз солей алюминия, используемых в качестве коагулянтов, протекает в несколько стадий:



В воде накапливаются ионы  $\text{H}^+$ , и раствор приобретает кислую реакцию. Полнота гидролиза имеет большое значение как для самой коагуляции, так и для качества очищаемой воды, поскольку наличие ионов алюминия в очищенной питьевой воде не должно превышать  $0,5 \text{ мг/дм}^3$  в соответствии с требованиями [1]. Степень гидролиза повышается с разбавлением раствора, с увеличением температуры раствора и с увеличением рН.  $\text{Al}(\text{OH})_3$  является амфотерным соединением, т. е. обладает как кислотными, так и основными свойствами. Растворимость гидроксида алюминия  $\text{Al}(\text{OH})_3$  в кислой среде пропорциональна 3-й степени концентрации ионов  $[\text{H}^+]$ , а в щелочной среде – обратно пропорциональна концентрации ионов  $[\text{H}^+]$ .

В настоящее время для подготовки питьевой воды используют алюминий содержащие коагулянты: полиоксихлорид алюминия марки «АКВА-АУРАТ™», коагулянт для очистки воды ПОЛВАК марки 68, гидроксихлорид алюминия – «Pro-AQUA» марки «Pro-AQUA SB», полиалюминий гидроксид марки «БОПАК-Е» и др. Эти реагенты требуют меньших доз, при этом не изменяют рН обрабатываемой воды, хорошо срабатывают при низких температурах воды (от  $0^\circ\text{C}$  до минус  $4^\circ\text{C}$ ), образуют меньший объем осадка, который легко обезвреживается.

Флокулянты добавляют в воду после коагулянта с временным интервалом от 30 до 120 с. В качестве флокулянтов используют высокомолекулярные органические и минеральные соединения, хорошо растворимые в воде. Наиболее распространенными неорганическими флокулянтами являются активированный силикат натрия (активная кремневая кислота) и активный диоксид кремния ( $x\text{SiO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ ). Из синтетических флокулянтов применяют органический полимер полиакриламид (ПАА), который является анионным флокулянтом. Выпускают также флокулянты катионного типа (ВА-2, ВА-3), которые, в отличие от флокулянта анионного типа ПАА, вызывают образование крупных хлопьев без обработки воды коагулянтами. Использование флокулянтов позволяет снизить дозы коагулянтов, уменьшить продолжительность процесса коагулирования, повысить скорость осаждения образующихся хлопьев.

Наличие достаточного щелочного резерва имеет важное значение при рассмотрении условий протекания процесса коагулирования примесей воды. Если щелочной резерв недостаточен, то в воду дополнительно вводят подщелачивающие реагенты – известь или соду.

В целом на процесс коагуляции примесей воды оказывают влияние следующие факторы:

- количество взвешенных и коллоидных веществ, степень их дисперсности;
- концентрация растворенных органических соединений;
- концентрация ионов  $H^+$  в воде;
- щелочность воды;
- анионный состав воды;
- температура воды, при низкой температуре воды повышается вязкость дисперсионной среды, снижается интенсивность теплового движения молекул и агрегатов и уменьшается степень гидролиза коагулянта;
- активная реакция воды ( $pH = -\lg [H^+]$ ), в паводок при осветлении холодной воды с высокой цветностью и мутностью, с низкой щелочностью поддерживают значения pH в интервале от 6,5 до 7,5;
- доза коагулянта и доза флокулянта, в том числе – при использовании полимерных высокомолекулярных флокулянтов, интенсифицирующих процесс хлопьеобразования;
- условия перемешивания и быстрота смешения воды с реагентами, для этого применяют эффективные конструкции смесителей и камер хлопьеобразования и регулируют режим их работы;
- содержание в воде естественных взвесей [2].

Показатели качества (мутность, цветность, перманганатная окисляемость, pH, запах, привкус, общая минерализация, щелочность, солевой состав, биомасса фитопланктона и др.) поверхностной воды, поступающей на станцию водоподготовки, изменяются в зависимости от сезонов года. При этом зависимости между содержанием примесей в исходной воде и в очищенной воде имеют не линейный характер. Также установлено существенное влияние гидрологического режима водоема на содержание примесей в исходной воде из поверхностного источника.

В связи с этим, расчетные дозы реагентов устанавливаются на основании инженерных изысканий для различных периодов года и корректируются в период наладки и эксплуатации сооружений, согласно строительным нормам [3]. Оптимальную дозу коагулянта определяют на основании результатов пробного коагулирования воды, выполняемого на водоочистных станциях.

На рисунке 1 показана кинетика изменения по сезонам года показателя мутности исходной воды, осветленной воды после горизонтальных отстойников и очищенной воды.

Из графика (рисунок 1) видно, что в холодное время года в декабре – апреле мутность поверхностной исходной воды составляла 0,69–1,64 мг/дм<sup>3</sup>, происходит снижение показателя мутности в очищенной воде до 0,44–0,62 мг/дм<sup>3</sup>, что не превышает норматива, равного 1,5 мг/дм<sup>3</sup>. Эффект очистки составил 62%. При этом за период с января до середины февраля обработка поверхностной воды коагулянтом не производилась. В остальное время производилась обработка воды алюминийсодержащими коагулянтами дозой от 3,0 до 5,5 мг/дм<sup>3</sup>.

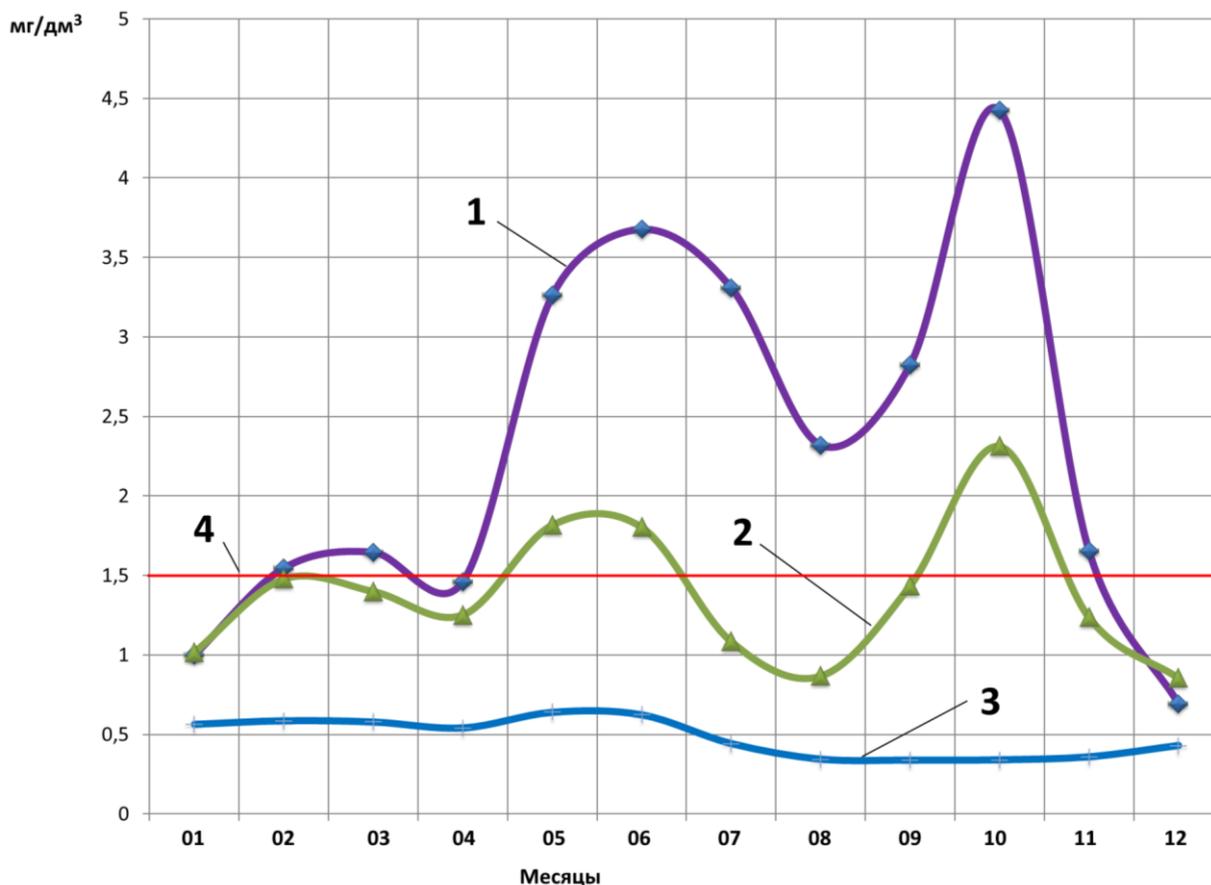
За период июнь – октябрь при максимальной мутности исходной воды, равной 2,32–4,43 мг/дм<sup>3</sup>, происходит снижение показателя до 0,34–0,63 мг/дм<sup>3</sup> в очищенной воде (эффект очистки – 86 %).

На рисунке 2 показана кинетика изменения показателя цветности исходной воды из поверхностного источника, осветленной воды с добавленными алюминийсодержащими коагулянтами после отстойника и очищенной воды.

На графиках (рисунок 2) показано, что цветность поверхностной воды колеблется в течение года от 15,5 до 17,8 градусов. При этом максимальные значения в очищенной воде наблюдались в холодный период года и составили до 11–12 градусов, а эффект очистки по значению цветности – порядка 33%.

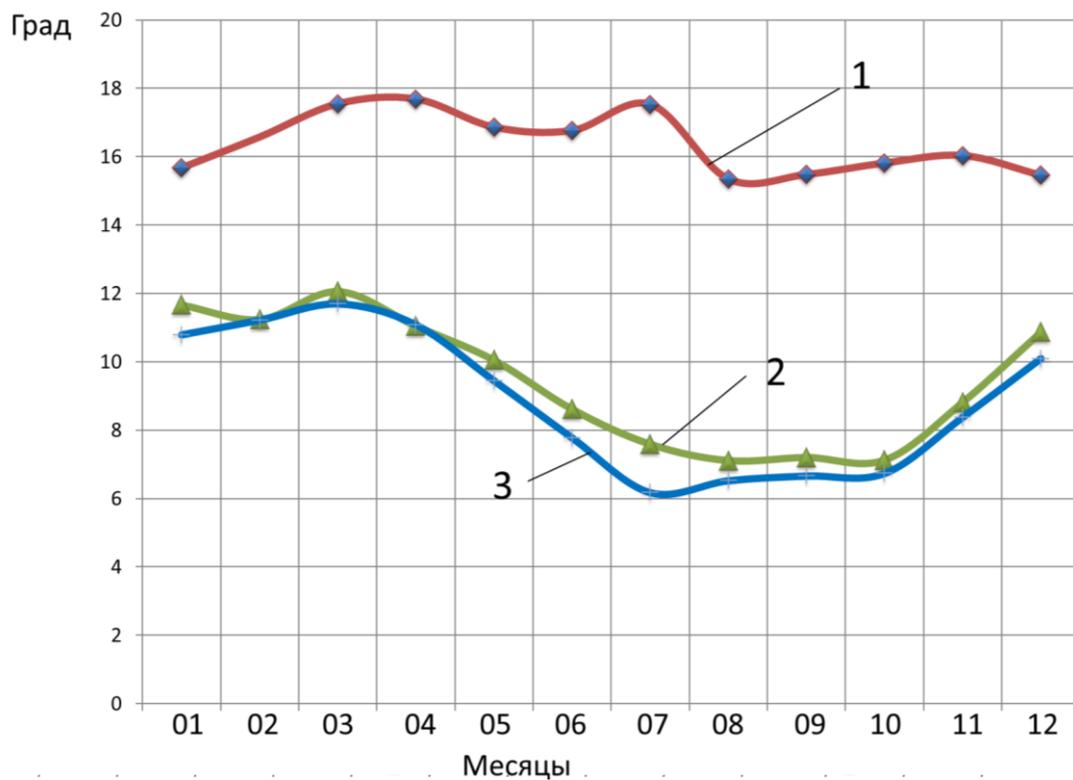
Для сравнения, эффект по этапам очистки за период январь – март 2018 г. при максимальных значениях показателя цветности, равных 25–30 градусов, составил 57 %; в 2019 г. за период январь – апрель при максимальной цветности 18–19 градусов – 32 %.

Таким образом, прослеживается закономерность: эффект снижения по значениям показателя цветности ниже, чем по значениям показателя мутности. При низких температурах в зимнее время очистка воды солями алюминия протекает неудовлетворительно: процессы хлопьеобразования и осаждения замедляются, хлопья образуются очень мелкие, осаждаются неравномерно, в результате в воде остается большое количество мелких хлопьев, поступающих на фильтр, в очищенной воде может появляться некоторое количество остаточного алюминия. Это объясняется изменением вязкости воды. Вязкость воды при 1°С примерно в два раза больше, чем при 30°С. Во столько же раз замедляется и скорость осаждения взвешенных в ней частиц [2].



1 – исходная вода; 2 – вода после отстаивания; 3 – очищенная вода;  
4 – норматив питьевой воды

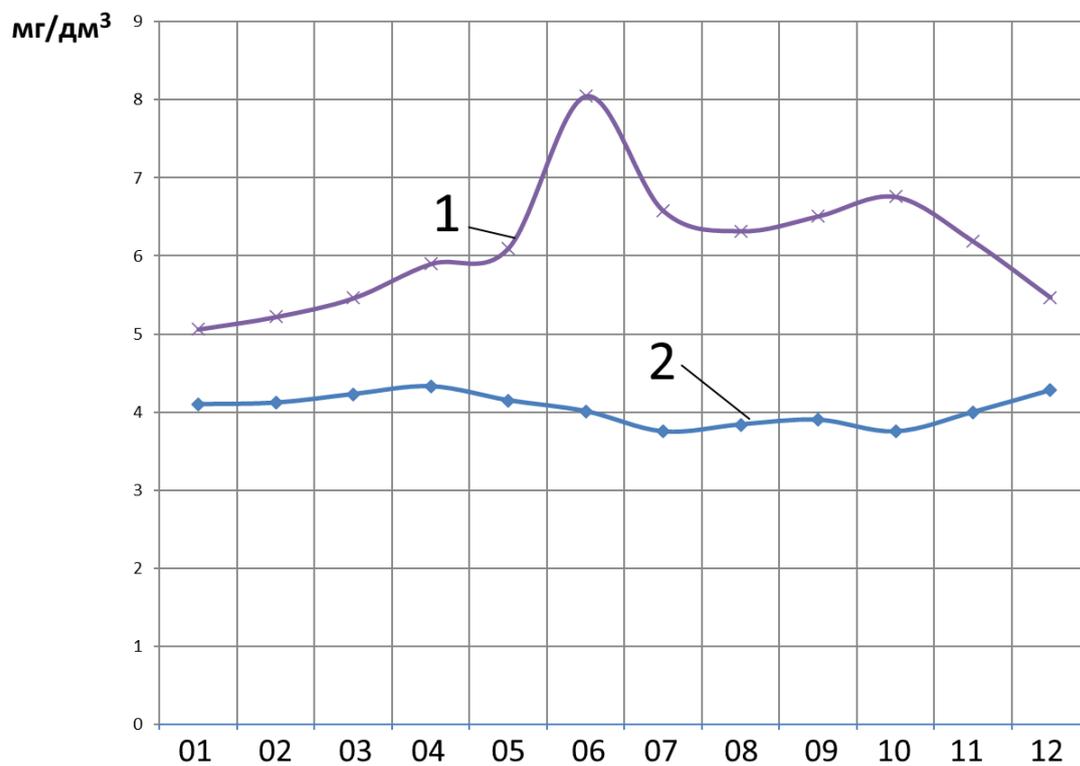
Рисунок 1 – Кинетика изменения мутности воды, мг/дм<sup>3</sup>, по этапам очистки в 2020 г.



1 – исходная вода; 2 – вода после отстаивания; 3 – очищенная вода

**Рисунок 2 – Кинетика изменения цветности воды, град. цветности, по этапам очистки в 2020 г.**

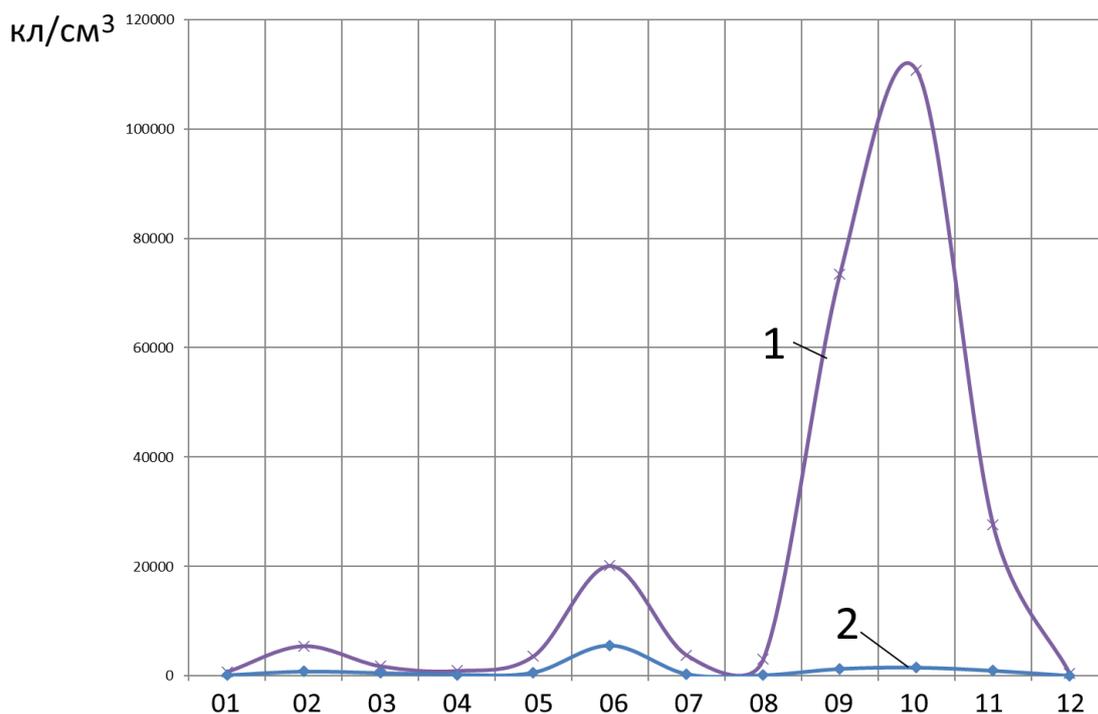
На рисунке 3 показана кинетика изменения показателя перманганатной окисляемости исходной воды и очищенной воды.



1 – исходная вода; 2 – очищенная вода

**Рисунок 3 – Кинетика изменения перманганатной окисляемости воды, мг/дм³**

Из приведенных на рисунке 3 графиков видно, что максимальные значения перманганатной окисляемости исходной воды фиксировались в период июнь – июль и составили 6,55–8,05 мг/дм<sup>3</sup>. Значение перманганатной окисляемости в очищенной воде поддерживалось в пределах от 3,75 до 4,20 мг/дм<sup>3</sup>, и происходило снижение этого показателя до 50 %. В этот же период (июнь – июль) количество клеток фитопланктона в исходной воде возрастает с 3820 кл/см<sup>3</sup> в июне до 20142 кл/см<sup>3</sup> в июле, что характеризует первую «волну» размножения водорослей под воздействием температуры воды и содержания биогенных веществ. Эффект очистки воды составил 90 % при снижении количества клеток фитопланктона в очищенной воде до 331,0–5610,0 кл/см<sup>3</sup> (см. рисунок 4).



1 – исходная вода, 2 – очищенная вода

**Рисунок 4 – Кинетика изменения количества клеток фитопланктона, кл/см<sup>3</sup>**

В течение августа – ноября проходит вторая «волна» роста и интенсивности размножения водорослей, с максимумом в октябре с количеством клеток фитопланктона в исходной воде 110705 кл/см<sup>3</sup>. При этом с августа по ноябрь удаление биомассы фитопланктона относительно стабильно производилось с эффектом 99 %, со снижением в очищенной воде количества клеток фитопланктона до 132,0–1529,0 кл/см<sup>3</sup>.

В процессе работы сооружений водоподготовки выделяют весенний период, когда повышается температура исходной воды и наступают условия, благоприятные для размножения фитопланктона, и, как следствие, увеличиваются перманганатная окисляемость и мутность, которые сильно влияют на эффективность очистки воды. Дозы коагулянтов также зависят от биомассы фитопланктона и перманганатной окисляемости воды. В холодное время года (декабрь – апрель) замедляется развитие фитопланктона, снижается перманганатная окисляемость и мутность исходной поверхностной воды в источнике водоснабжения, соответственно снижаются и дозы коагулянтов.

## **Заключение**

Взаимное влияние всех факторов, влияющих на процесс коагулирования, невозможно точно рассчитать, поэтому для достижения эффективного управления процесса водоподготовки требуется постоянный мониторинг показателей качества воды по этапам очистки.

Режим дозирования коагулянта выбирается с учетом совокупности полученных данных. Периодическая подача коагулянта целесообразна в холодный период года при температуре обрабатываемой воды, ориентировочно, менее 8° С, когда снижается мутность поверхностной исходной воды, но сохраняются более высокие значения показателей цветности, перманганатной окисляемости, количества клеток и биомассы фитопланктона. Также следует учитывать результаты пробного коагулирования воды, по результатам которого на данный момент времени устанавливается целесообразность постоянной или периодической подачи коагулянта.

## **Список цитированных источников**

1. Показатели безопасности питьевой воды : Гигиенический норматив ; введ. 05.03.21. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100037> (дата обращения: 24.10.2024).
2. Драгинский, В. Л. Коагуляция в технологии очистки природных вод / В. Л. Драгинский, Л. П. Алексеева, С. В. Гетманцев. – М. : Наука, 2005. – 576 с.
3. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения : СН 4.01.01-2019 ; введ. 09.04.2020. – Минск : Стройтехнорм. – 2020. – 68 с.

## **References**

1. Hygienic standard «Drinking water safety indicators». Approved by Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus on January 25, 2021. – № 37.
2. Draginsky, V. L. Coagulation in natural water purification technology / V. L. Draginsky, L. P. Alekseeva, S. V. Getmantsev. – Moscow: Science, 2005 – 576 p.
3. SN 4.01.01-2019 «Water supply. External networks and structures» Construction standards of the Republic of Belarus. – Minsk. – 2020, 68 p.

УДК 627.8.064.3.046.3+627.41.064.3(476)

## **ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ТИПА КРЕПЛЕНИЯ ОТКОСОВ ПОДПОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ И БЕРЕГОВ ВОДОЕМОВ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

*А. А. Артемчик, м. т. н., ассистент кафедры водоснабжения и водоотведения,  
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь,  
e-mail: artemchik.aliaksandr@gmail.com*

*В. Е. Левкевич, д. т. н., профессор, профессор кафедры водоснабжения  
и водоотведения, Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Беларусь, e-mail: v.lev2014@mail.ru*

## **Реферат**

Воздействие абразии и эрозии на откосы подпорных сооружений и берегов может приводить к негативным последствиям, таким, как размывы и разрушения. Для предотвращения пагубных последствий важно правильно подобрать