

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ ВОД ТЮМЕНСКОГО РЕГИОНА

Пимнева Л.А.<sup>1</sup>, Загорская А.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Тюменский государственный архитектурно-строительный университет, Тюмень, Россия (625001, Тюмень, ул. Луначарского, 2) e-mail: [l.pimneva@mail.ru](mailto:l.pimneva@mail.ru)

В работе исследованы адсорбционные процессы очистки воды с использованием активированного угля. Рассмотрена эффективность использования углевания при отстаивании и фильтрации природных вод в условиях высокоцветных и маломутных вод Тюменского региона. Исследованы условия применения и дозы активированного угля при различной последовательности введения в воду на действующей водоочистной станции города Тюмени. Установлено, что использование активированного угля в качестве замутнителя повышает эффект очистки даже при низких температурах воды, что позволяет значительно понизить дозы коагулянта. Отмечено объективное улучшение показателей качества очищенной воды при использовании угольной суспензии. Определены оптимальные дозы реагентов, позволяющие достичь наилучших эффектов очистки. Внедрение углевания на действующих водопроводных станциях региона позволит повысить качество очищенной воды, сократить расходы коагулянта и флокулянта в холодный период года, что приведет к энерго- и ресурсосбережению.

Ключевые слова: углеродные сорбенты, адсорбция, коагулянт, изотерма адсорбции

## THE USE OF ACTIVATED CARBON FOR THE INTENSIFICATION OF THE TREATMENT OF NATURAL WATERS OF THE TYUMEN REGION

Pimneva L.A.<sup>1</sup>, Zagorskaya A.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tyumen state architectural-building University, Tyumen, Russia (625001, Tyumen, street Lunacharskogo, 2. e-mail: [l.pimneva@mail.ru](mailto:l.pimneva@mail.ru)

We have investigated the adsorption processes of water purification using activated charcoal. The efficiency of the use of plebania when settling and filtration of natural waters in conditions of high colored and low turbidity waters of the Tyumen region. The conditions of application and dose of activated charcoal at different sequence of introducing the water to the existing water treatment plant of the city of Tyumen. It is established that the use of activated carbon as the cloud increases the cleaning effect even at low water temperatures, which can significantly reduce the dose of coagulant. Marked objective improvement in the quality of treated water using coal suspension. The optimal dose of reagents to achieve the best cleaning effects. Introduction plebania at existing water treatment plants in the region will help to improve the quality of purified water, to reduce the cost of coagulant and flocculant in the cold period of the year, which will lead to energy and resource saving.

Keywords: carbon adsorbents, adsorption, coagulant, adsorption isotherm

Тюменская область существует в особых природно - климатических условиях. Характерными загрязняющими веществами для региона являются трудно- и легкоокисляемые органические вещества (по ХПК и БПК<sub>5</sub>), соединения железа, меди, цинка, марганца, нефтепродукты. Высокое содержание перечисленных поллютантов, за исключением нефтепродуктов, обусловлено природными факторами. Необходимо помнить, что загрязняющие воду металлы вступают в различные взаимодействия с образованием водорастворимых соединений, а это затрудняет очистку. Кроме того, экологическая ситуация ухудшается, тем что значительное количество загрязнений на территорию региона поставляется транзитом, крупными реками, являющихся транзитными и формирующимися на территориях, расположенных выше по течению (Свердловская, Курганская, Омская области и Республика Казахстан) [1].

В целом качество природных вод большинства поверхностных водоисточников Тюмени и Тюменской области можно охарактеризовать малой мутностью, высокой цветностью и окисляемостью, а также низкими температурами природных вод большую часть года.

Инженерно-технический анализ выявил, что существующие сооружения водоподготовки не позволяют обеспечить качество питьевой воды в полной мере соответствующее требованиям санитарных норм к качеству питьевой воды. Основными причинами являются:

- высокий износ водозаборных (до 68%) и водоочистных (до 99%) сооружений;
- устаревшие технологические схемы очистки и в то же время отсутствие методов и проектных схем очистки природной воды до нормативных требований по отдельным показателям [2].

Исходя из качества природных вод различных водоисточников в Тюменской области и вообще в бассейне реки Обь, углевание является необходимым звеном стандартной схемы очистки [3].

### **Объекты и методы**

В качестве объекта исследования была выбрана река Тура в створе Метелевского водозабора города Тюмени, имеющая значительное хозяйственно - питьевое значение. Метелевский водозабор обеспечивает 86% водопотребления города Тюмени, что в год, в среднем, составляет 62,78 млн.м<sup>3</sup>. Водопроводная станция очистки Метелевского водозабора была построена в семидесятых годах прошлого века. Состав водопроводных очистных сооружений включает в себя: горизонтальные отстойники со встроенными камерами хлопьеобразования и скорые фильтры с песчаной загрузкой.

Целью исследования стала проверка целесообразности использования углевания для интенсификации процессов очистки, для чего предстояло решить следующие задачи: определить баланс доз коагулянта и активированного угля, установить наиболее оптимальную последовательность ввода реагентов, определить изменение эффективности очистки.

Забираемая для исследования вода характеризуется следующими показателями: окисляемость - 37- 73 мгО<sub>2</sub>/л, мутность - 12-24 мг/л, цветность - 100-120<sup>0</sup>. Доза ПАА принята постоянной (1 мг/л). Дозы коагулянта - 50-70 мг/л. Исследование проводилось в холодный период года в 2 этапа при температурах 10-12<sup>0</sup>С и 2-4<sup>0</sup>С. В ходе предварительных исследований предпочтение было отдано мокрому дозированию угля, для чего использовалась 10% суспензия.

Исследовались следующие реагенты: сернокислый алюминий (СА); полиакриламид (ПАА); активированные угли (АУ), марки которых представлены в таблице 1, и смеси указанных реагентов. Показателем для контроля эффективности обработки промывных вод различными реагентами были определены перманганатная окисляемость, мутность и цветность.

Таблица 1

Характеристики и марки исследуемых углей

Марка угля	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Размер фракции, мм	Пористость	Адсорбционная емкость, кг/кг	Площадь свободной поверхности, м <sup>2</sup> /кг
АГ-3	400-500	1,5-2,8	0,8-1	0,2	680
АГ-5	450	1-1,5	0,3	0,45	3700
БАУ-А	240	1-2,5	0,82-0,98	0,6	4800
Silcarbon К300		0,7-1,4	0,8-1	1,2	1400

#### Обсуждение результатов

По существующим нормативам дозы коагулянта определяются пробным коагулированием, проводимым 2 раза в год. К примеру, на водопроводных очистных станциях Тюмени дозы коагулянта находятся в пределах 50-70 мг/л (50 мг/л - для весенне-летнего периода и 70 – для осенне-зимнего). Доза коагулянта не меняется в течение длительного периода (до следующего пробного коагулирования) и, практически, не учитывает изменение качества воды в водоисточнике. Все вышеперечисленное ведет к перерасходу коагулянта.

При низких температурах воды гидролиз алюминиевого коагулянта значительно замедляется, хлопьеобразование часто не успевает закончиться на очистных сооружениях. Такое явление характерно для очистки высокоцветных маломутных вод в зимний период. Образующиеся легкие хлопья гидроксида алюминия практически не оседают в отстойниках, поэтому основная нагрузка приходится на фильтры, которые в этих условиях не обеспечивают требуемую степень очистки воды [4].

Подбор дозы активированного угля осуществлялся пробным углеванием. В качестве испытуемой была выбрана марка угля БАУ-А. Основные результаты опытов, проводимых при температуре обрабатываемой воды 10-12<sup>0</sup>С, приведены в таблице 2.

Таблица 2

Изменение мутности, цветности и окисляемости очищенной воды в зависимости от дозы активированного угля при дозе ПАА 1 мг/л.

Доза коагулянта	Доза активированного угля	Исходные показатели качества воды			Показатели качества воды после очистки		
		Мутность, мг/л	Цветность, градусы	Окисляемость, мгО <sub>2</sub> /л	Мутность, мг/л	Цветность, градусы	Окисляемость, мгО <sub>2</sub> /л
50	0	12	100	7	2,8	30	5
	1	18	110	19	1,5	37	11
	2	24	120	30	0,9	42	18
60	0	12	100	7	2,5	28	4,9
	1	18	110	19	1,3	35	9,4
	2	24	120	30	0,86	39	15,2
70	0	12	100	7	2,2	21	3,8
	1	18	110	19	1,2	25	7,5
	2	24	120	30	0,8	29	10,7

В зимний период времени эффективность коагуляции сернокислым алюминием (СА) снижается до критических значений, что не позволяет обеспечивать санитарно-гигиенические требования к очищенной воде [5]. Совместное использование коагулянта и активированного угля для обработки воды при температуре 2-4<sup>0</sup>С позволяет снизить время хлопьеобразования и увеличить эффекты очистки: по мутности - на 35%, по цветности - на 40%, по окисляемости - на 25%. Показатели качества воды после отстаивания при введении 1-2 мг/л активированного угля приведены на рисунках 1,2.

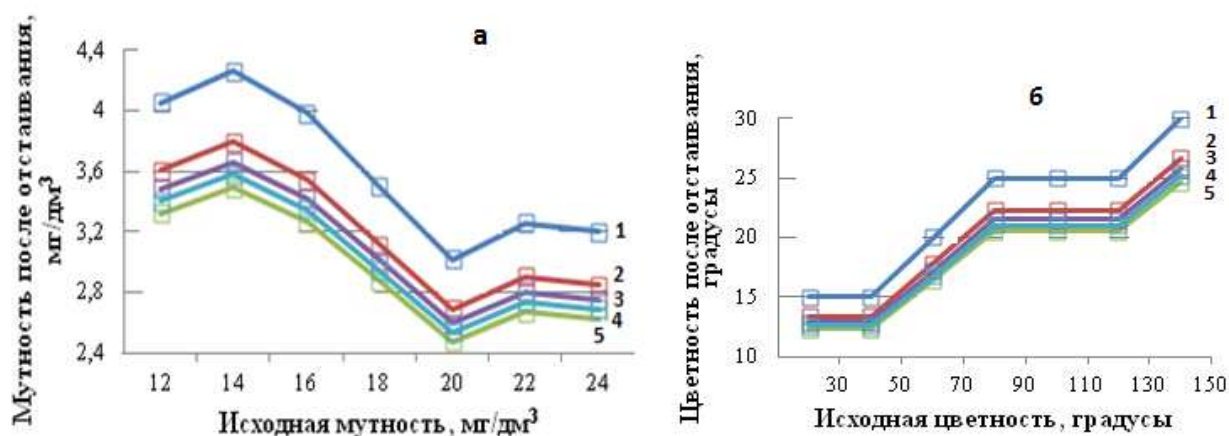


Рис.1. Влияние углевания на снижение мутности (а) и цветности (б) после отстаивания при низких температурах (доза СА – 70 мг/ дм<sup>3</sup>, доза ПАА – 1 мг/ дм<sup>3</sup>).  
1 – без углевания, 2 – АГ-3, 3 – БАУ-А, 4 – Silcarbon K300, 5 – АГ-5

Сравнение способов дозирования показало, что дозирование активированного угля в виде 10 % суспензии эффективнее по сравнению с сухим дозированием на 27-29%.

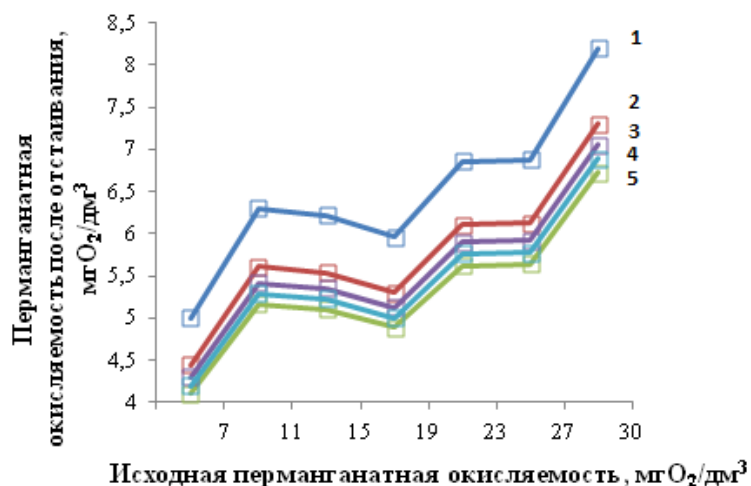


Рис. 2. Влияние углевания на снижение окисляемости после отстаивания при низких температурах (доза СА – 70 мг/ дм<sup>3</sup>, доза ПАА – 1 мг/ дм<sup>3</sup>).

1 – без углевания, 2 – АГ-3, 3 – БАУ-А, 4 – Silcarbon К300, 5 – АГ-5

Изучение влияния порядка введения активированного угля на эффекты очистки показало, что введение угольной суспензии перед коагулянтном в среднем на 16% увеличивает эффект очистки по мутности и цветности по сравнению с одновременным дозированием (применением «черного коагулянта»). Максимальное снижение окисляемости возможно при введении активированного угля после отстаивания перед фильтрованием (до 5 мгO<sub>2</sub>/л). Подача активированного угля перед коагулянтном позволяет снизить окисляемость после отстаивания и фильтрации только до 19 мг/л.

Изучение влияния порядка введения активированного угля на эффекты очистки показало, что введение угольной суспензии перед коагулянтном в среднем на 16% увеличивает эффект очистки по мутности и цветности по сравнению с одновременным дозированием (применением «черного коагулянта»). Эффекты очистки после отстаивания при использовании БАУ-А приведены на рисунках 3.

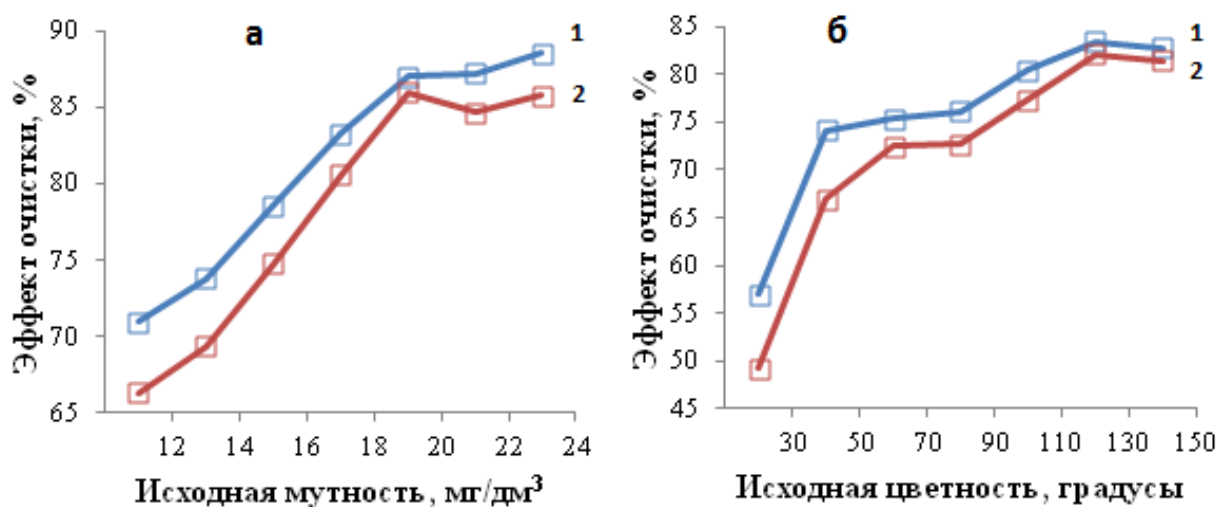


Рис. 3. Влияние порядка дозирования АУ на эффекты очистки по мутности (доза АУ – 2 мг/ дм<sup>3</sup>, доза СА – 70 мг/ дм<sup>3</sup>, доза ПАА – 1 мг/ дм<sup>3</sup>, температура воды 10<sup>0</sup>С).

1 – при введении до коагулянта, 2 – при одновременном введении («черный коагулянт»)

Максимальное снижение окисляемости наблюдалось при введении активированного угля после отстаивания перед фильтрованием (до 3,87 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>). Сравнительная оценка влияния порядка дозирования активированного угля на снижение окисляемости при использовании БАУ-У приведена на рисунке 4.

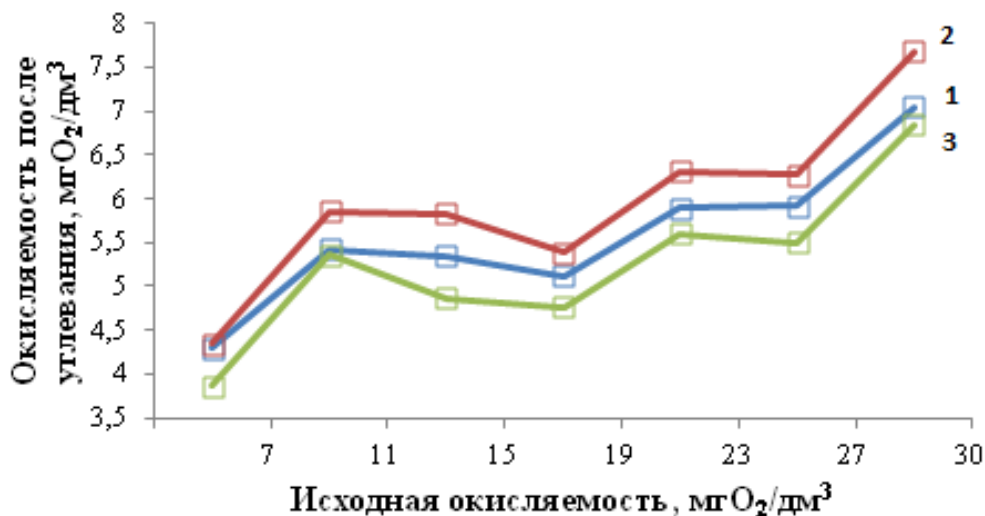


Рис.4. Снижение окисляемости при различных порядках дозирования АУ (доза АУ – 2 мг/дм<sup>3</sup>, доза СА – 70 мг/дм<sup>3</sup>, доза ПАА – 1 мг/дм<sup>3</sup>, температура воды 10<sup>0</sup>С).

1 – до коагулянта, 2 – одновременно, 3 – после отстаивания

Определение оптимальных доз реагентов проводилось путем активного эксперимента на базе квази D-оптимального плана [6]. В качестве выходных параметров статистической модели принимались значение мутности, цветности и окисляемости после отстаивания воды. Для описания процессов очистки использовалась полиномиальная модель второго порядка вида

$$Y(N) = \sum_{i=1}^N b_i \cdot X_i + \sum_{i < j} b_{ij} \cdot X_i \cdot X_j + \varepsilon$$

где N - число факторов;  $\varepsilon$  - влияние случайных факторов.

В результате была получена математическая модель, позволяющая корректировать дозы реагентов в зависимости от изменения исходных показателей качества воды без пробного коагулирования. Верификация модели проходила на действующих водопроводных очистных сооружениях Метелевского водозабора города Тюмени. Оптимальные дозы реагентов, при которых наблюдались максимальные эффекты очистки после отстаивания в холодный период года, составили: доза коагулянта - 64 мг/л, доза угля - 1,8 мг/л.

### Заключение

С использованием математического моделирования и микропроцессорной техники возможно более гибкое дозирование реагентов, учитывающее суточные и сезонные колебания качества воды в водоемах.

Применение активированного угля в качестве замутнителя позволяет не только интенсифицировать процессы осветления маломутных высокоцветных вод, но и снижать концентрации антропогенных загрязнений, обуславливающих окисляемость.

Включение углевания в состав технологических схем действующих водопроводных станций региона позволит интенсифицировать все этапы очистки, снизить расход коагулянта, что в свою очередь приводит к снижению остаточного алюминия в очищенной воде, сокращает количество образующихся осадков, все это ведет за собой улучшение качества питьевой воды.

### Список литературы

1. Драгинский В.Л., Алексеева Л.П., Гетманец С.В. Коагуляция в технологии очистки природных вод Москва, Наука, 2005 – 576 с.
2. Доклад об экологической ситуации в Тюменской области в 2013 году, Правительство Тюменской области, 2014 г.
3. МДС 40-3.2000.Методические рекомендации по обеспечению выполнения требований Санитарных правил и норм СанПиН 2.1.4.559-96 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества на водопроводных станциях при очистке природных вод, Москва, Госстрой РФ, 2000 г.
4. Программа комплексного развития систем коммунальной инфраструктуры города Тюмени, утв. Решением Тюменской городской Думы от 25 июня 2009 г. N 332
5. Севостьянов П.А. Математические методы обработки данных: учеб. пособ. для вузов /Севостьянов, П.А. - М.: МГТУ им. А.Н.Косыгина, 2004. - С. 256.
6. Химия воды: Физико-химические процессы обработки природных и сточных вод. Кульский Л. А., Накорчевекая В. Ф. — К.: Вища школа, 1983.—240 с.

### Рецензенты:

Миронов В.В., д.т.н., профессор, кафедрой водоснабжения и водоотведения ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный архитектурно-строительный университет», г. Тюмень.

Скипин Л.Н., д.с.-х.н., профессор, заведующий кафедрой техносферной безопасности ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный архитектурно-строительный университет», г. Тюмень.