

УДК 628.16:628.345.9

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ КОАГУЛЯНТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИОКСИХЛОРИДА АЛЮМИНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ В РАЗЛИЧНЫЕ СЕЗОНЫ ГОДА

Мальцева Е.Ю., Скрыпник Л.Н.

ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», Калининград,
e-mail: LSkrypnik@kantiana.ru

Природные воды представляют собой сложную многокомпонентную динамическую систему. Воду поверхностных источников перед подачей ее потребителю очищают от механических примесей, обычно с предварительной обработкой воды реагентами – коагулированием, флокулированием и фильтрованием, а также обеззараживанием. Для ускорения процессов осаждения и фильтрования и для повышения эффекта осветления и обесцвечивания применяют химическую обработку воды. В связи с этим технология осветления и обесцвечивания дополняется рядом вспомогательных технологических процессов, которые в совокупности называются коагулированием воды. В данной работе проводилось исследование эффективности различных коагулянтов при подготовке питьевой воды. В качестве объекта исследования использовалась вода из р. Старая Преголя и питьевого водохранилища. В работе использовались стандартные методы исследования мутности, цветности, перманганатной окисляемости и концентрации алюминия. Для выбора наиболее эффективных реагентов были проведены исследования с применением таких коагулянтов на основе полиоксихлорида алюминия различных марок: «ЭПОХА», $Al_2O_3 = 22,3\%$; «ЭПОХА», $Al_2O_3 = 23,8\%$; «ЭПОХА», $Al_2O_3 = 24,1\%$; «ЭПОХА», $Al_2O_3 = 24,6\%$; и гидроксихлорида алюминия марки Б (ГХА), $Al_2O_3 = 44,1\%$ с разным химическим составом и содержанием действующего вещества. В ходе изучения сезонных изменений качества воды из р. Старая Преголя и питьевого водохранилища установлено, что наиболее проблемным периодом для обработки воды являются октябрь – ноябрь. Проведенные исследования показали, что наиболее эффективным коагулянтом является «ЭПОХА» ($Al_2O_3 = 24,1\%$). Результаты проведенных исследований могут носить рекомендательный характер для выбора реагента и определения оптимальной дозы на водочистных станциях, работающих на речной воде со схожими показателями качества.

Ключевые слова: питьевая вода, водоподготовка, коагуляция, алюминия полиоксихлорид

EFFICIENCY OF VARIOUS ALUMINUM POLYOXYCHLORIDE BASED COAGULANTS AT THE PREPARATION OF DRINKING WATER IN VARIOUS SEASONS OF THE YEAR

Maltseva E.Yu., Skrypnik L.N.

Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, e-mail: LSkrypnik@kantiana.ru

Natural water is a complex multi-component dynamic system. The water of surface sources prior to feeding it to the consumer is purified of mechanical additives, usually with pre-treatment of water with reagents during coagulation, flocculation, and filtration, as well as disinfection. To enhance the efficiency of processes of precipitation and filtration and to increase the effect of clarification and discoloration chemical treatment of water is used. In this regard, the technology of clarification and discoloration is supplemented by a number of auxiliary technological processes, which collectively are called coagulation. In this paper, a study of the effectiveness of various coagulants in the preparation of drinking water was carried out. The object of the study was water from the river Staraya Pregolya and the drinking reservoir. Standard methods for determination of turbidity, chromaticity, permanganate index, and aluminum concentration were used. To select the most effective coagulant the following reagents based on aluminum polyoxochloride of various grades were studied: «ЕРОСНА» ($Al_2O_3 = 22.3\%$); «ЕРОСНА» ($Al_2O_3 = 23.8\%$); «ЕРОСНА» ($Al_2O_3 = 24.1\%$); «ЕРОСНА» ($Al_2O_3 = 24.6\%$); and aluminum hydroxochloride grade B (HCA), $Al_2O_3 = 44.1\%$ with different chemical composition and content of the active substance. During the study of the seasonal changes of water quality from the Staraya Pregolya River and the drinking reservoir, it was found that the most problematic period for water treatment is October-November. The studies have shown that the most effective coagulant is «ЕРОСНА» with concentration of $Al_2O_3 24.1\%$. The results of this study can be used by choosing a reagent and determining the optimum dose at water treatment plants working with river water characterized by similar quality parameters.

Keywords: drinking water, water treatment, coagulation, aluminum polyoxochloride

Водоснабжение является одной из важнейших отраслей техники, направленной на повышение уровня жизни людей, благоустройство населенных пунктов, развитие промышленности и сельского хозяйства. Качество воды природных источников, так же как и требования, предъявляемые к качеству воды, используемой различными потребителями, весьма разнообразны. Вода

может быть использована для хозяйственно-бытовых целей, нужд пищевой промышленности, охлаждения, нужд паросилового хозяйства, технологических нужд промышленности, сельского хозяйства. Качество питьевой воды в коммунальных водопроводах нормируется Санитарно-эпидемиологическими правилами и нормами СанПиН 2.1.4.1074-01. «Питьевая вода. Гигиениче-

ские требования к качеству воды централизованных систем водоснабжения. Контроль качества» [1].

Природные воды представляют собой сложную многокомпонентную динамическую систему, в состав которой входят: соли, органические вещества, газы, диспергированные примеси, гидробионты, бактерии и вирусы [2]. Все используемые для целей водоснабжения природные источники воды могут быть отнесены к двум основным группам:

а) поверхностные источники – реки и озера;
б) подземные источники – грунтовые и артезианские воды и родники [3].

Характерными качествами речной воды являются ее относительно большая мутность, высокое содержание органических веществ, бактерий, значительная цветность воды. Вода озер обычно обладает весьма малым содержанием взвешенных веществ, кроме прибрежной зоны, где мутность воды возникает в результате волнения. Поверхностные источники характеризуются большими колебаниями качества воды и количества загрязнений в отдельные периоды года [3].

Воду поверхностных источников перед подачей ее потребителю очищают от механических примесей, обычно с предварительной обработкой воды реагентами – коагулированием и флокулированием и фильтрованием, а также обеззараживанием. Для осветления и обесцвечивания воды используют два основных технологических процесса: осаждение и фильтрование. Для ускорения процессов осаждения и фильтрования и для повышения эффекта осветления и обесцвечивания применяют химическую обработку воды [4]. В связи с этим технология осветления и обесцвечивания дополняется рядом вспомогательных технологических процессов, которые в совокупности называются коагулированием воды.

Процесс коагуляции взвешенных и коллоидных примесей может быть осуществлен как самостоятельная ступень в технологической обработке воды, а может сочетаться с процессом осаждения или с процессом фильтрования.

Целью данной работы явилось исследование эффективности различных коагулянтов при подготовке питьевой воды. Для реализации этой цели поставлены следующие задачи:

1) исследовать исходную воду из р. Старая Преголя и питьевого водохранилища по показателям: мутность, цветность, перманганатная окисляемость в различные сезоны года;

2) изучить эффективность водоподготовки при использовании различных коагулянтов.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились на пилотном испытательном комплексе, который представляет собой модель стандартной водопроводной станции.

Для оценки сезонных изменений показателей цветности, мутности, перманганатной окисляемости проводились исследования на воде различных источников. В качестве объекта исследования использовалась вода из р. Старая Преголя и питьевого водохранилища в течение 2016 г. Водохранилище – искусственный резервуар, пополняемый из р. Старая Преголя. Исследования по выбору наиболее эффективных реагентов проводились на воде из питьевого водохранилища, имеющей температуру 1°C , цветность – 90 ± 5 град., мутность – $3,76 \pm 1,50$ мг/л, перманганатную окисляемость – $13,8 \pm 0,7$ мгО/л.

Для выбора наиболее эффективных реагентов и их оптимальных доз были проведены исследования с применением таких коагулянтов на основе полиоксихлорида алюминия различных марок: «ЭПОХА», $\text{Al}_2\text{O}_3 = 22,3\%$; «ЭПОХА», $\text{Al}_2\text{O}_3 = 23,8\%$; «ЭПОХА», $\text{Al}_2\text{O}_3 = 24,1\%$; «ЭПОХА», $\text{Al}_2\text{O}_3 = 24,6\%$; и гидроксохлорид алюминия марки Б (ГХА), $\text{Al}_2\text{O}_3 = 44,1\%$. с разным химическим составом и содержанием основного действующего вещества. При проведении пробной коагуляции во все пробы добавлялся в равных количествах полиоксихлорид алюминия марки АКВА-АУРАТ 18 с концентрацией действующего вещества (Al_2O_3) 9 мг/л, гипохлорит натрия марки А на стадии первичного хлорирования в количестве 6 мг/л, флокулянт анионного типа Суперфлок по 0,30 мг/л.

В процессе эксперимента определялось количество образующегося осадка, условия его уплотнения в режиме седиментации, также проводились анализы по определению показателей: остаточный алюминий с использованием алюминона (метод Б) согласно ГОСТ 18165-2014 [5], цветность согласно ГОСТ 31868-2012 [6], перманганатная окисляемость по ПНД Ф 14.1.2:4.154-99 [7]. Содержание остаточного алюминия после использования коагулянтов рассчитывали по градуировочному графику.

Каждый эксперимент проводился в пяти повторностях. На графиках и в таблице

представлены средние значения с указанием стандартного отклонения. Для выявления статистически достоверных различий между вариантами эксперимента данные обрабатывались с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA). В качестве критерия достоверности различий использовался тест Тьюки (Tukey's HSD test) при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе проведенных исследований изучалось сезонное изменение цветности, мутности и перманганатной окисляемости в р. Старая Преголя и питьевом водохранилище. Результаты исследований сезонных изменений мутности представлены на рис. 1.

На представленном графике четко прослеживаются относительно незначительные изменения мутности в питьевом водохранилище в разные сезоны года в отличие от реки. Мутность воды, забираемой для водоснабжения из реки, значительно больше мутности воды, забираемой из водохранилища, особенно в паводочный период. Так мутность в р. старая Преголя в паводочный период может достигать 11,9 мг/л, при этом в водохранилище она не превышает 4,2 мг/л. В период паводков (весной и при сильных дождях) мутность воды в реках и водохранилищах повышается, что вызывает затруднения в водоснабжении и заиливание водохранилища [8]. При этом, помимо уменьшения объема водохранилища вследствие отложения на дне его осадка, заиливание вызывает также омертвление значительной части объема воды в водохрани-

лище вследствие загрязнения ее придонного слоя, находящегося в непосредственном контакте с илом [9].

Цветность, как в р. Старая Преголя, так и в питьевом водохранилище, связана с сезонными изменениями и имеет схожую динамику (рис. 2). Цветность, так же как и мутность, в паводковый период повышается. В водохранилище эта тенденция более плавная. Из графиков видно, при относительно невысокой мутности цветность повышается от 44 град. в июне до 96 град. в ноябре. В реке летом в воде увеличивается содержание органических веществ, а в водохранилище в этот период наблюдается цветение воды; соответственно изменяется и цветность воды. Цветение воды обуславливается массовым развитием растительных и животных организмов – планктона. Причинами, обуславливающими изменение цветности воды, могут быть и коллоидные соединения железа, гуминовые вещества, взвешенные вещества [8].

Окисляемость воды измеряется количеством кислорода, которое необходимо для окисления содержащихся в воде органических веществ. На рис. 3 приведено сезонное изменение перманганатной окисляемости исходной воды из р. Старая Преголя и питьевого водохранилища. Из представленных на рисунке данных видно, что перманганатная окисляемость повышается в октябре – ноябре до 15,85 мгО/л, при этом наименьший уровень отмечается в июле – сентябре. Окисляемость природных вод колеблется в весьма широких пределах; наименьшая она в грунтовых водах, в речных водах величина окисляемости может колебаться от 1 до 60 мгО/л [3].

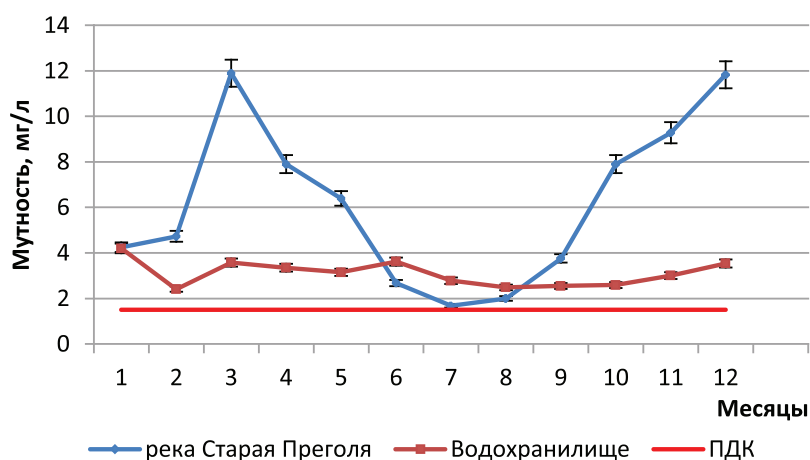


Рис. 1. Сезонные изменения мутности в р. Старая Преголя и питьевом водохранилище

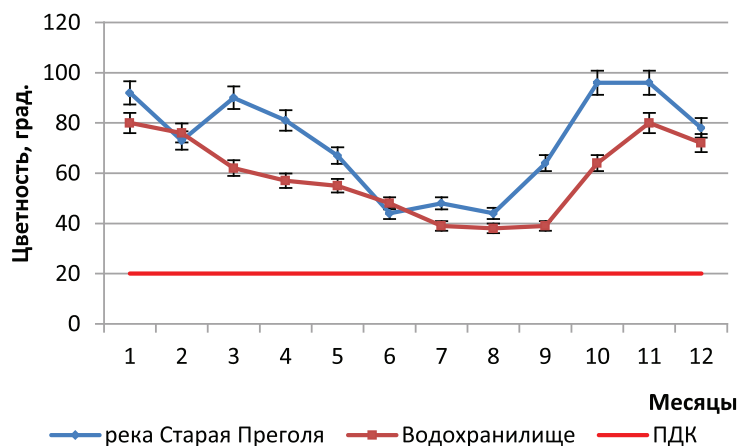


Рис. 2. Сезонные изменения цветности в р. Старая Преголя и питьевом водохранилище

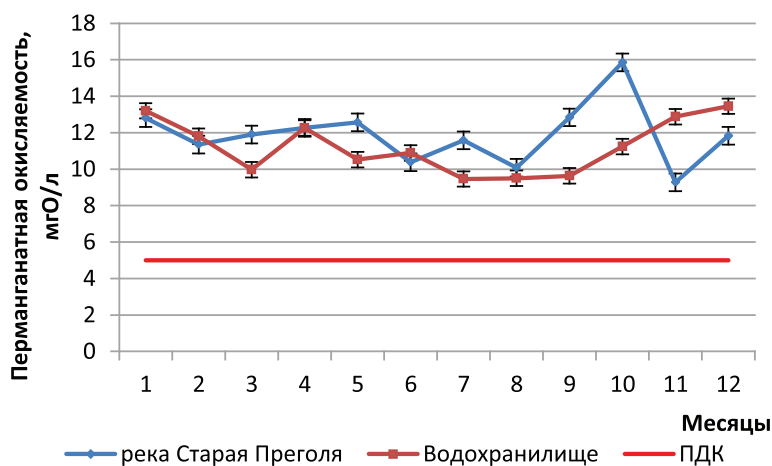


Рис. 3. Сезонные изменения перманганатной окисляемости в р. Старая Преголя и питьевом водохранилище

Природная вода, мутная и цветная, сама по себе содержит вещества различной природы: коллоидный гумус и минеральные вещества. Но, кроме того, при химической обработке воды, ее состав обогащается еще одним коллоидным веществом – оксид алюминия. Все эти вещества различной природы одновременно участвуют в процессе коагуляции [10]. В период паводков и нагонных ветров исходная вода характеризуется вялым протеканием процесса коагуляции, что связано с низкой температурой воды, малой мутностью и высокой цветностью [11].

Для того чтобы подобрать наиболее эффективные реагенты для очистки воды, а также для определения их оптимальных доз, использовался метод пробного коагулирования [12]. Исследование проводилось

на различных коагулянтах на основе полиоксихлорида алюминия различных марок: «АКВА-АУРАТ 18», $Al_2O_3 = 16,7\%$; «ЭПОХА», $Al_2O_3 = 22,3\%$; «ЭПОХА», $Al_2O_3 = 23,8\%$; «ЭПОХА», $Al_2O_3 = 24,1\%$; «ЭПОХА», $Al_2O_3 = 24,6\%$; и гидроксохлорида алюминия марки Б (ГХА), $Al_2O_3 = 44,1\%$. с разным химическим составом и содержанием основного действующего вещества.

На основании эксперимента установлено, что наибольший эффект очистки по всем показателям достигается при использовании ГХА ($Al_2O_3 = 44,1\%$) и «ЭПОХА» ($Al_2O_3 = 24,1\%$). Результаты представлены на рис. 4–5. Важным показателем при проведении пробного коагулирования является цветность. В пробах с применением коагулянта «ЭПОХА» (24,1%) и ГХА (44,1%) она

самая низкая и составила 7 и 9 градусов соответственно. Перманганатная окисляемость была в норме 4,5 мгО/л и 4,72 мгО/л с применением «ЭПОХА» (24,1%) и ГХА (44,1%).

По результатам содержания остаточного алюминия в воде можно говорить о качестве процесса коагуляции, как видно из диаграммы (рис. 5), наименьшая концентрация алюминия

была в пробах водах, обработанных коагулянтами «ЭПОХА» (24,1%) и ГХА (44,1%) и составляла 0,04 мг/л и 0,06 мг/л соответственно.

В таблице представлены обобщённые данные по показателям цветности, перманганатной окисляемости и содержанию остаточного алюминия в воде при использовании различных коагулянтов.

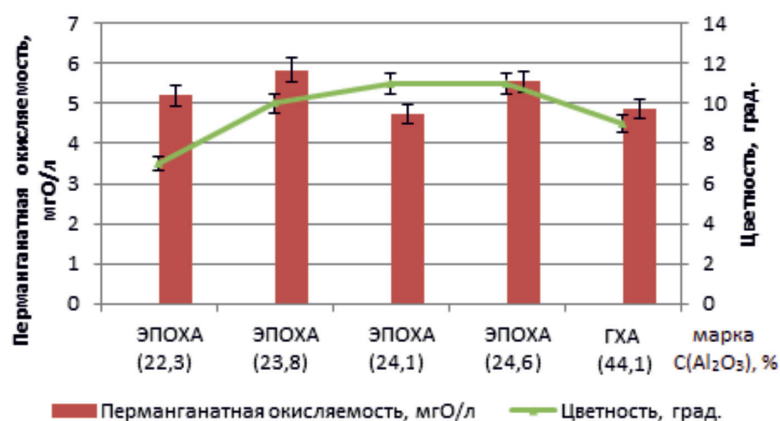


Рис. 4. Зависимость перманганатной окисляемости и цветности от вида коагулянта

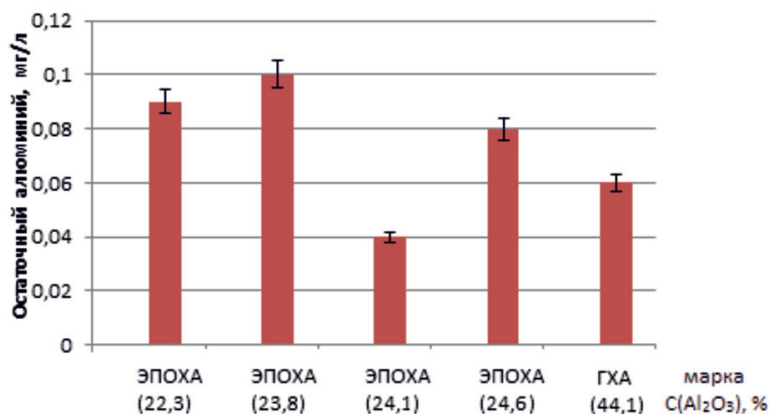


Рис. 5. Зависимость содержания остаточного алюминия от вида коагулянта

Эффективность различных коагулянтов на основе полиоксихлорида алюминия при подготовке питьевой воды

Марка коагулянта C(Al ₂ O ₃), %	Цветность, град.	Перманганатная окисляемость, мгО/л	Остаточный алюминий, мг/л
«ЭПОХА» (Al ₂ O ₃ = 22,3%)	7,2 ± 0,4 ^{c*}	5,21 ± 0,27 ^{bc}	0,09 ± 0,005 ^b
«ЭПОХА» (Al ₂ O ₃ = 23,8%)	10,3 ± 0,5 ^{ab}	5,84 ± 0,30 ^a	0,10 ± 0,005 ^a
«ЭПОХА» (Al ₂ O ₃ = 24,1%)	11,0 ± 0,6 ^a	4,72 ± 0,25 ^d	0,04 ± 0,002 ^e
«ЭПОХА» (Al ₂ O ₃ = 24,6%)	11,2 ± 0,4 ^a	5,54 ± 0,29 ^{ab}	0,08 ± 0,004 ^c
ГХА (Al ₂ O ₃ = 44,1%)	9,3 ± 0,5 ^b	4,88 ± 0,25 ^{cd}	0,06 ± 0,003 ^d

Примечание. * различными латинскими буквами обозначены достоверно различные средние значения согласно тесту Тьюки при p < 0,05.

Заключение

В ходе изучения сезонных изменений р. Старая Преголя и питьевого водохранилища установлено, что наиболее проблемным периодом для обработки воды являются октябрь – ноябрь. Проведенные исследования показали, что наиболее эффективным коагулянтом является «ЭПОХА» ($Al_2O_3 = 24,1\%$).

Результаты проведенных исследований могут носить рекомендательный характер для выбора реагента и определения оптимальной дозы на водоочистных станциях, работающих на речной воде со схожими показателями качества.

Список литературы

1. СанПиН 2.1.4.1074-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. – М., 2001. – 40 с.
2. О проблеме безопасности реагентов, применяемых для водоподготовки и водоочистки / А.В. Иванов и [др.] // Гигиена и санитария. – 2014. – № 5. – С. 58–61.
3. Хохрякова Е.А., Резник Я.Е. Водоподготовка / Под ред. д.т.н. С.Е. Беликова. – М.: Издательский Дом «Аква-Терм», 2007. – 240 с.
4. Миркина Е.Н. Проблемы очистки воды в системах хозяйственно-питьевого водоснабжения / Е.Н. Миркина, М.П. Горбачева // Современные тенденции в образовании и науке. – Тамбов: Бизнес – Наука – Общество, 2013. – С. 43–45.
5. ГОСТ 18165-2014 Вода. Методы определения содержания алюминия. – М.: Стандартинформ, 2015. – 49 с.
6. ГОСТ 31868-2012. Вода. Методы определения цветности. – М.: Стандартинформ, 2014. – 12 с.
7. ПНД Ф 14.1:2.4.154-99 Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений перманганатной окисляемости в пробах питьевых, природных и сточных вод. – М.: ЗАО «РОСА», 2012. – 14 с.
8. Любимова О.Е. Оценка риска штормовых наводнений и их геоэкологических последствий в устьевой области реки Преголи (Калининградская область): дис.... канд. геогр. наук. – Калининград, 2012. – 166 с.
9. Алексеева Л.П. Основные методы интенсификации процессов очистки воды на водопроводных станциях / Л.П. Алексеева, Г.В. Дружинина // Водоснабжение и канализация. – 2009. – № 3. – С. 62–70.
10. Войтов Е.Л. Очистка маломутных высокоцветных природных вод в реакторе-осветлителе / Е.Л. Войтов,

Ю.Л. Сколубович, А.Ю. Сколубович // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2008. – № 6. – С. 126–130.

11. Великанов Н.Л. Изменчивость качества воды реки Преголя / Н.Л. Великанов, В.А. Наумов, Л.В. Маркова // Вода: химия и экология. – 2016. – № 8. – С. 82–88.

12. ГОСТ Р 51642-2000. Коагулянты для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Общие требования и метод определения эффективности. – М.: Госстандарт России, 2000. – 15 с.

References

1. SanPiN 2.1.4.1074-01 Pit'evaya voda. Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody` centralizovanny`x sistem pit'evogo vodosnabzheniya. Kontrol` kachestva. – М., 2001. – 40 p.
2. O probleme bezopasnosti reagentov, primenyaemy`x dlya vodopodgotovki i vodoochistki / A.V. Ivanov i [dr.] // Gigena i sanitariya. – 2014. – № 5. – P. 58–61.
3. Hoxryakova E.A., Reznik Ya.E. Vodopodgotovka / Pod red. d.t.n. S.E. Belikova. – М.: Izdatel'skij Dom «Akva-Term», 2007. – 240 p.
4. Mirkina E.N. Problemy` ochistki vody` v sistemax hozyajstvenno-pit'evogo vodosnabzheniya / E.N. Mirkina, M.P. Gorbacheva // Sovremennye tendencii v obrazovanii i nauke. – Tambov: Biznes-Nauka-Obshhestvo, 2013. – P. 43–45.
5. GOST 18165-2014 Voda. Metody` opredeleniya sodержaniya alyuminiya. – М.: Standartinform, 2015. – 49 p.
6. GOST 31868-2012. Voda. Metody` opredeleniya cvetnosti. – М.: Standartinform, 2014. – 12 p.
7. PND F 14.1:2.4.154-99 Kolichestvenny`j ximicheskij analiz vod. Metodika vy`polneniya izmerenij permanganatnoj oksislyaemosti v probax pit'evy`x, prirodny`x i stochny`x vod. – М.: ЗАО «РОСА», 2012. – 14 p.
8. Lyubimova O.E. Ocenka riska shtormovy`x navodnenij i ix geoe`kologicheskix posledstvij v ust'evoj oblasti reki Pregoli (Kaliningradskaya oblast`): dis.... kand. geogr. nauk. – Kaliningrad, 2012. – 166 p.
9. Alekseeva L.P. Osnovny`e metody` intensifikacii processov ochistki vody` na vodoprovodny`x stanciyax / L.P. Alekseeva, G.V. Druzhinina // Vodosnabzhenie i kanalizaciya. – 2009. – № 3. – P. 62–70.
10. Vojtov E.L. Ochistka malomutny`x vy`sokocvetny`x prirodny`x vod v reaktore-osvetlitеле / E.L. Vojtov, Yu.L. Skolubovich, A.Yu. Skolubovich // Izvestiya vy`sishx uchebny`x zavedenij. Stroitel'stvo. – 2008. – № 6. – P. 126–130.
11. Velikanov N.L. Izmenchivost` kachestva vody` reki Pregolya / N.L. Velikanov, V.A. Naumov, L.V. Markova // Voda: ximiya i e`kologiya. – 2016. – № 8. – P. 82–88.
12. GOST R 51642-2000. Koagulyanty` dlya hozyajstvenno-pit'evogo vodosnabzheniya. Obshhie trebovaniya i metod opredeleniya e`ffektivnosti. – М.: Gosstandart Rossii, 2000. – 15 p.