



ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА КОНЦЕНТРИРОВАННОГО КОАГУЛИРОВАНИЯ

Т. И. Степаненко

*ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.
E-mail: t.i.stepanenko@donnasa.ru*

Получена 12 мая 2022; принята 27 мая 2022.

Аннотация. Большую роль в коммунальном хозяйстве города играет безопасность снабжения населения водой. Состояние окружающей среды и здоровье человека зависит от качества употребляемой воды. В ряде случаев процесс коагуляционной очистки природных и возвратных вод, наиболее часто реализуемый на практике, сопровождается проблемами ухудшения качества очищенной воды, которые вызваны повышенным содержанием в ней соединений металлов и алюминия. С целью повышения экологической безопасности используемой воды в работе были проведены исследования влияния распределения потоков очищаемой воды между основным и байпасным каналами при концентрированном коагулировании. Экспериментальным путем получены зависимости содержания соединений алюминия в очищенной воде в периоды: холодный, в период цветения водоемов. Также проведение процесса коагулирования исследовалось в период паводков в связи с тем, что в такие периоды возникает необходимость использовать повышенные дозы коагулянтов и, как следствие, увеличивается остаточное содержание соединений металлов и алюминия.

Ключевые слова: коагулянт, байпасный канал, соединения алюминия, концентрация, концентрированное коагулирование.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДУ КОНЦЕНТРОВАНОВОГО КОАГУЛЮВАННЯ

Т. І. Степаненко

*ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.
E-mail: t.i.stepanenko@donnasa.ru*

Отримана 12 травня 2022; прийнята 27 травня 2022.

Анотація. Велику роль в комунальному господарстві міста відіграє безпека постачання населення водою. Стан довкілля та здоров'я людини залежить від якості води, що вживається. У ряді випадків процес коагуляційного очищення природних і зворотних вод, що найчастіше реалізується на практиці, супроводжується проблемами погіршення якості очищеної води, які викликані підвищенням вмісту у ній сполук металів та алюмінію. З метою підвищення екологічної безпеки води, що використовується, в роботі були проведені дослідження впливу розподілу потоків очищуваної води між основним і байпасним каналами при концентрованому коагулюванні. Експериментальним шляхом отримано залежності вмісту сполук алюмінію в очищеній воді в періоди: холодний, у період цвітіння водоймищ. Також проведення процесу коагулювання досліджувалося в період паводків у зв'язку з тим, що у такі періоди виникає необхідність використовувати підвищені дози коагулянтів і, як наслідок, збільшується залишковий вміст сполук металів та алюмінію.

Ключові слова: коагулянт, байпасний канал, сполуки алюмінію, концентрація, концентроване коагулювання.

STUDY OF THE EFFICIENCY OF THE SURFACE WATER TREATMENT PROCESS USING THE CONCENTRATED COAGULATION METHOD

Tatiana Stepanenko

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavin Str., Makeevka, DPR, 83123.*

E-mail: t.i.stepanenko@dommasa.ru

Received 12 May 2022; accepted 27 May 2022.

Abstract. The safety of water supply to the population plays an important role in the public utilities of the city. The state of the environment and human health depends on the quality of the water used. The most commonly used in practice is the process of coagulation treatment of natural and waste waters. In some cases, it is accompanied by problems of deterioration in the quality of treated water. These problems are caused by the increased content of metal and aluminum compounds in purified water. In order to improve the environmental safety of the water used in the work, studies were carried out on the influence of the distribution of flows of purified water between the main and bypass channels during concentrated coagulation. Experimentally, the dependences of the content of aluminum compounds in purified water were obtained during the periods: cold, during the period of flowering of reservoirs. Also, the coagulation process was studied during the flood period due to the fact that during such periods it becomes necessary to use increased doses of coagulants. As a result, the residual content of metal and aluminum compounds in purified water increases.

Keywords: coagulant, bypass channel, aluminum compounds, concentration, concentrated coagulation.

Постановка проблеми

Экологическая ситуация в Донецком регионе характеризуется постоянно растущими техногенными нагрузками на окружающую среду, в том числе на водные объекты. Водные ресурсы Донбасса в основном формируются за счет поверхностных вод, возвратных, сбрасываемых предприятиями в гидрографическую сеть водотоков, а также за счет дренирования подземных вод [1].

Большая часть использованной в промышленности пресной воды поступает обратно в реки и озера в виде возвратных вод, которые затем от водосборной территории по руслам рек стекают в моря и океаны. Загрязненные возвратные воды, в конечном итоге, через притоки рек попадают в водные объекты, которые служат источником централизованного водоснабжения. В результа-

те сброса на протяжении многих лет производственных и коммунальных сточных вод, ухудшилось качество воды в большинстве рек Донбасса, водохранилищ и прудов [2].

Наиболее существенным фактором, оказывающим влияние на качество воды в поверхностных водоемах, является качественный и количественный состав поступающих в них возвратных вод. По официальным данным (по состоянию на 2021 г.) основная масса возвратных вод (около 81 %) в регионе поступает в поверхностные водные объекты по ряду показателей, несоответствующих нормативным требованиям [3].

К основным загрязняющим веществам, содержащимся в воде поверхностных водоемов Донецкого региона и представляющим опасность для окружающей среды, относятся соединения металлов и алюминия, содержание которых в

водоемах культурно-бытового и рыбохозяйственного назначения превышает ПДК.

На рис. 1 приведены валовые объемы поступления (т/год) соединений металлов в поверхностные водные объекты Донецкой Народной Республики с возвратными водами по состоянию на 2018 г. [4].

В технологическом процессе очистки поверхностных и сточных вод в настоящее время в качестве коагулянтов широко используются соединения алюминия и железа. Преимуществами использования таких реагентов является их сравнительно невысокая стоимость, доступность, изученность, большой промышленный опыт применения. Однако при высоких уровнях загрязнения водных источников содержащие алюминий коагулянты требуют повышенных дозировок. Это неизбежно приводит к увеличению уже в очищенной воде ионов алюминия или его соединений [5]. При этом процесс коагуляционной очистки в ряде случаев сопровождается ухудшением качества очищенной воды.

Анализ последних исследований и публикаций

Проблемам эффективности коагуляционной очистки природных и сточных вод посвящены работы Е. Д. Бабенкова [6], С. П. Высоцкого [7], В. Л. Драгинского, С. В. Гетманцева, Л. П. Алексеевой [8], П. П. Строкача, Л. А. Кульского [9], Б. М. Гришина [10], G. D. Lester [11], E. Grunwald [12], A. W. Thomas [13], W. Steinert, D. Meissner [14] и др. [15]. Данные, представленные в литературе, посвящены вопросам изучения и приме-

нения способов усовершенствования процесса коагуляционной очистки воды с использованием добавок-утяжелителей, а также с применением безреагентных методов интенсификации процесса. Применение концентрированного коагулирования для снижения остаточного содержания соединений металлов в очищенной воде комплексно не изучено, отдельные имеющиеся сведения относятся к конкретным водным источникам. Опыт практического применения этого способа интенсификации процесса коагулирования, при очистке природных и возвратных вод практически отсутствует.

Опыт использования реагентной обработки воды показывает, что на многих водопроводных станциях применялись и применяются различные способы введения коагулянта, позволяющие уменьшить расход реагента, и соответственно, уменьшить эксплуатационные расходы на его приобретение [10]. К таким способам относятся [10]: фракционное введение реагента; концентрированное коагулирование; прерывистое коагулирование; работа на дефицитных дозах коагулянта и пр.

Известно, что ранее на многих водоочистных станциях проводилось периодическое коагулирование воды или применялся один из перечисленных выше способов. Все эти предлагаемые способы не нашли широкого применения на практике. Это связано с тем, что они не всегда дают положительные результаты и существенно зависят от pH воды [8].

Концентрированное коагулирование заключается в дозировании всего количества коагулянта

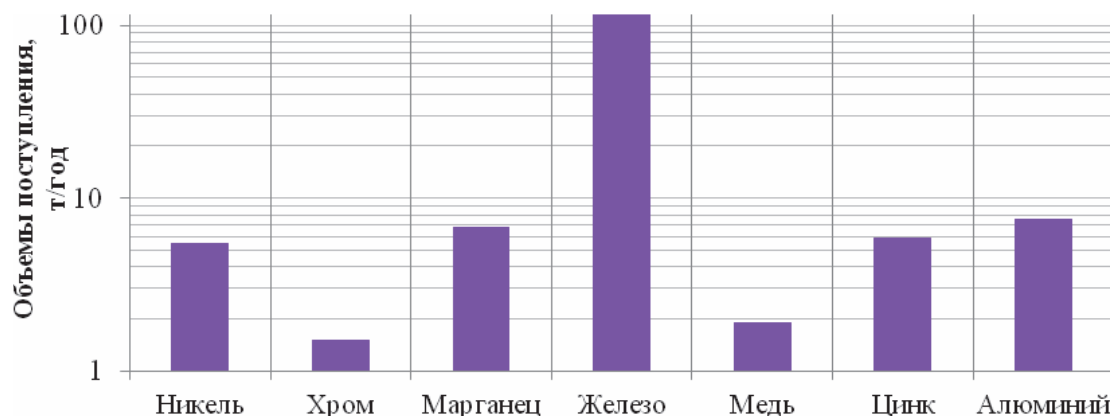


Рисунок 1. Объемы поступления некоторых соединений металлов в реки Донбасса с возвратными водами, т/год.

лишь в часть обрабатываемой воды. После мешения с коагулянтом поток обработанной воды объединяют с потоком остальной очищаемой воды [8]. Применялся данный метод с целью экономии коагулянта. Эффективность метода определяется полнотой и скоростью перемешивания раствора коагулянта с потоком очищаемой воды.

При современном уровне развития технологий отказаться от очистки воды с применением в качестве коагулянта соединений железа или алюминия экономически и технически невозможно в условиях Донбасса.

Цель работы

Состоит в снижении содержания соединений алюминия в очищенной воде за счет применения метода концентрированного коагулирования.

Результаты исследований

Анализ применяемых в настоящее время схем реагентной очистки воды позволил определить наиболее существенные недостатки, которые могут вызвать вторичное загрязнение воды. При коагуляционной обработке в очищенной воде наблюдается повышенное содержание соединений алюминия.

Установлено, что при использовании в качестве коагулянта сульфата железа остаточная концентрация железа в очищенной воде (по сравнению с показателями в исходной воде) возрастает в 4,5 раза. Следует отметить, что при использовании в качестве коагулянта полиоксихлорида алюминия содержание остаточного алюминия (по сравнению с его концентрацией в исходной воде) увеличивается в 5,25 раз [16].

Для устранения причин повторного загрязнения воды были проведены теоретические исследования и выделены факторы, влияющие на эффективность очистки. Такими факторами являются: эффект «проскальзывания», гидродинамический режим работы очистного сооружения, водородный показатель среды рН, доза коагулянта, степень гидролиза коагулянта, концентрация взвешенных частиц.

На рис. 2 представлены среднемесячные значения концентрации остаточного алюминия в очищенной воде канала Северский Донец-Донбасс в течение года за период 2010–2018 гг.

Из данных, представленных на рисунке 2, видно, что наибольшие значения остаточного алюминия в очищенной воде канала Северский Донец–Донбасс наблюдаются в холодный период (ноябрь), а также в период цветения водоемов (август).

В паводковые периоды и периоды цветения водоемов возникает необходимость использовать

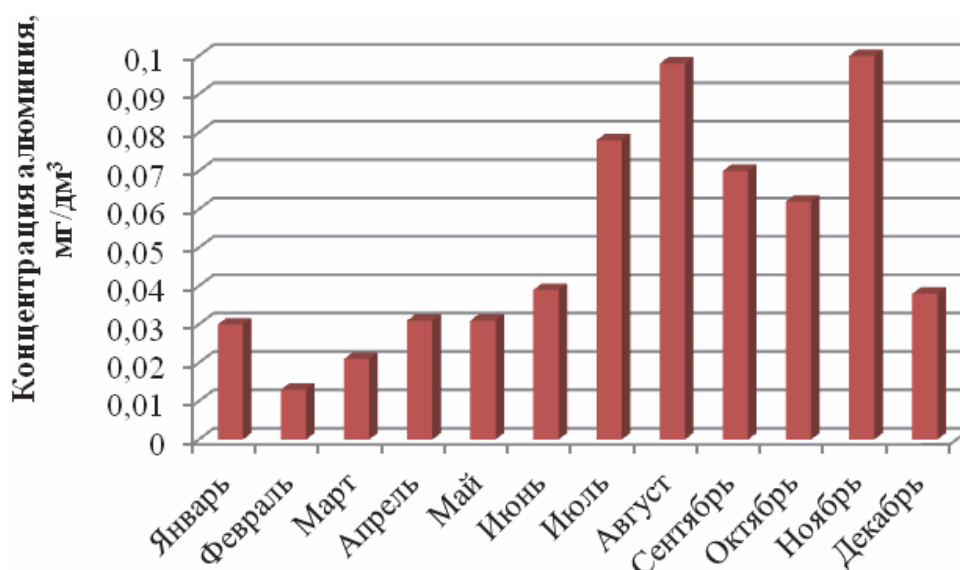


Рисунок 2. Среднемесячные значения концентрации остаточного алюминия в очищенной воде канала Северский Донец–Донбасс.

повышенные дозы коагулянтов. При этом содержание соединений алюминия в очищенной воде увеличивается в 2,0–4,5 раза. Увеличение содержания в используемом растворе коагулянта повышает степень гидролиза, что приводит к значительному уменьшению «проскальзывания» раствора реагента в зону очищенной воды. Увеличение содержания реагента в применяемом растворе приводит к ухудшению условий его перемешивания с обрабатываемой водой, неэффективному использованию коагулянта и, как следствие, повышению остаточных концентраций соединений алюминия в очищенной воде.

Экспериментальным путем установлено влияние концентрированного коагулирования и дозы коагулянта на остаточное содержание соединений металлов в очищенной воде после обработки исходной воды сульфатом алюминия.

Программа лабораторных исследований по очистке воды с использованием метода концентрированного коагулирования предусматривала коагуляционную обработку объема исходной воды с подачей раствора коагулянта в байпасный канал, смешение данного объема с остальной частью необработанной исходной воды и её последующую очистку, а также дальнейшее

определение остаточного содержания алюминия в очищаемой воде (рис. 3).

В работе изучалось содержание остаточного алюминия в воде канала Северский Донец–Донбасс при следующих значениях коэффициента соотношения распределения потоков между основным и байпасным каналом, соответственно: 100 : 0 (вся обрабатываемая вода проходит через основной канал, $K=0$); 10 : 90 ($K=0,1$); 20 : 80 ($K=0,2$); 30 : 70 ($K=0,3$); 40 : 60 ($K=0,4$). Изменение соотношения расходов между основным и байпасным каналами осуществлялись путем выбора положений клапанов $K1$ и $K2$ (рис. 3).

На рис. 4 представлены результаты исследований по установлению влияния метода интенсификации процесса реагентной очистки (метода концентрированного коагулирования) и дозы коагулянта на остаточное содержание соединений алюминия в воде канала Северский Донец–Донбасс после ее обработки при различных соотношениях расходов между основным и байпасным каналами.

Представленные на рис. 4 данные свидетельствуют о снижении концентрации соединений алюминия в очищенной воде при использовании концентрированного коагулирования. Максимальное снижение остаточных концентраций

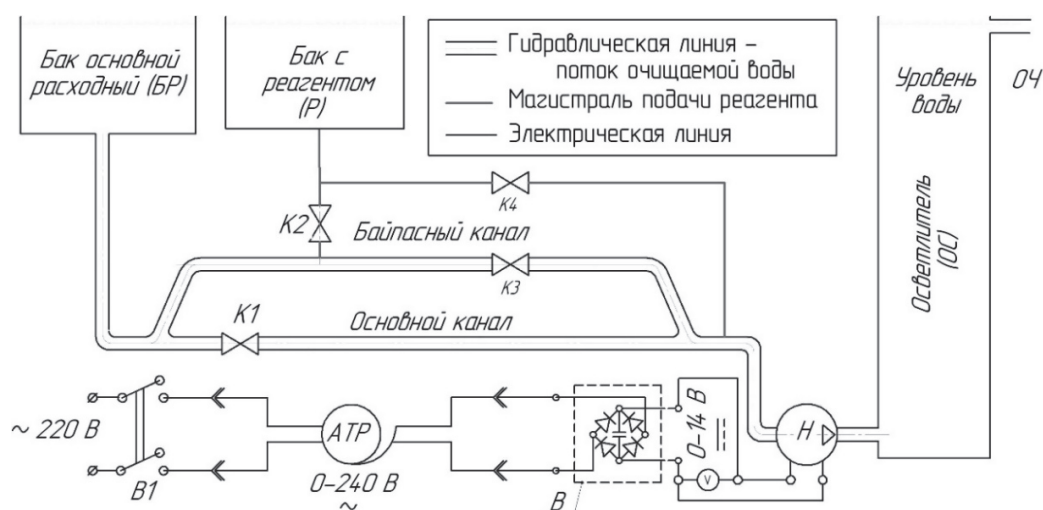


Рисунок 3. Структурная схема лабораторной установки для выбора рациональной схемы очистки поверхностных и сточных вод: БР - бак основной расходный (вода, подлежащая очистке); Р - бак с реагентом; ОС - осветлитель; $K1$ - клапан распределительный - предназначен для установления баланса расхода очищаемой воды в основном и байпасном каналах; $K2$ - клапан регулировки подачи реагента в байпасный канал; $K3$ - клапан перекрытия байпасного канала; $K4$ - клапан прямой подачи реагента в основной канал; Н - насос; $B1$ - выключатель подачи питания на насос; АТР - автотрансформатор; В - выпрямитель КВРС-35; ОЧ - патрубок отвода очищенной воды.

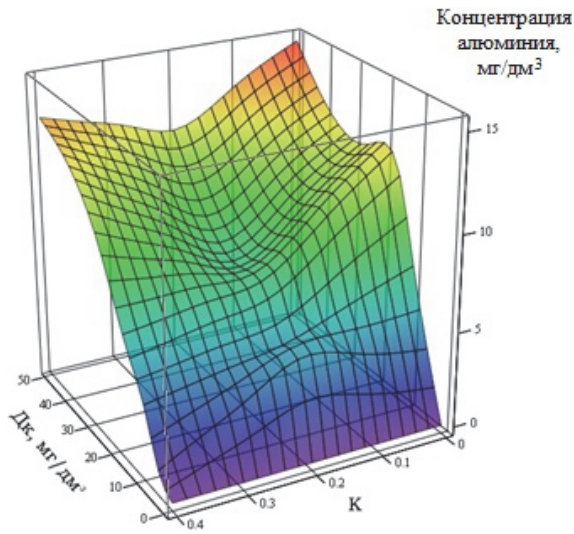


Рисунок 4. Зависимость относительной концентрации алюминия в очищаемой воде от дозы коагулянта (сульфата алюминия) и соотношения потоков воды в основном и байпасном каналах.

загрязняющих веществ на 22 % наблюдается при соотношении потоков обрабатываемой воды, равное 80 : 20 ($K = 0,2$).

Исследования эффективности протекания процесса коагулирования проводились в период паводков. В такие периоды увеличивается содержание загрязняющих веществ (соединений алюминия) в очищенной воде. На рис. 5 приведены результаты экспериментальных данных по установлению влияния концентрированного коагули-

рования на остаточное содержание алюминия в очищенной воде в паводковый период. Доза коагулянта подбиралась в зависимости от параметров цветности и мутности исходной воды согласно СП 31.13330.2012. «Свод правил. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» и была постоянной при различных значениях K [17].

Таким образом, при распределении потоков между основным и байпасным каналами 80 : 20 ($K = 0,2$) наблюдается минимальное значение остаточной концентрации соединений алюминия в обработанной воде ($0,19 \text{ мг/дм}^3$), что не превышает установленного значения ПДК = $0,2 \text{ мг/дм}^3$. При увеличении коэффициента распределения потоков обрабатываемой воды до значения $K = 0,4$ остаточные концентрации соединений алюминия в обработанной возрастают до $0,31 \text{ мг/дм}^3$.

Выводы

1. Полученные экспериментальным путем данные свидетельствуют о снижении концентрации соединений алюминия в очищенной воде на 22 % при применении метода концентрированного коагулирования.
2. Исследования содержания соединений алюминия в очищенной воде в паводковый период позволили установить, что распределение потоков в соотношении 80 : 20 между основным и байпасным каналами ($K = 0,2$), соответственно, является наиболее рациональным, так как позволяет улучшить условия

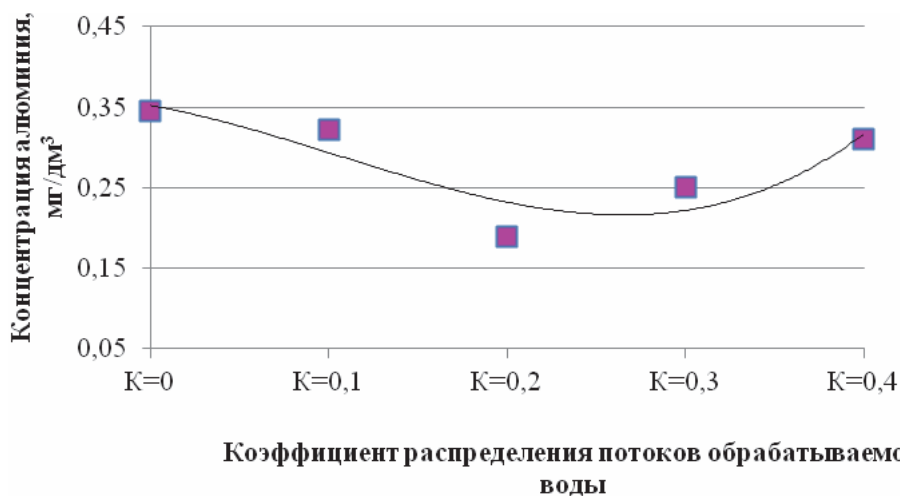


Рисунок 5. Зависимость остаточной концентрации алюминия в очищаемой воде от распределения потоков воды при концентрированном коагулировании в паводковый период.

перемешивания реагента с очищаемой водой без увеличения дозы применяемого коагулянта. При этом наблюдается снижение концентрации алюминия в очищенной воде в 1,8 раз, что соответствует нормативному значению ПДК.

3. При внедрении способа интенсификации процесса очистки с применением концентрированного коагулирования повышается экологическая безопасность очищенной воды с минимальными экономическими затратами.

Литература

1. Антоненко, В. Е. Водные ресурсы бассейна р. Северский Донец: бассейновый принцип управления водными ресурсами / В. Е. Антоненко, С. И Трофанчук, Н. А. Белоцерковская. – Текст : электронный // Водное хозяйство и интегрированное управление водными ресурсами в странах ВЕКЦА: проблемы и решения : сборник научных трудов. – Ташкент : НИЦ МКВК, 2012. – С. 58–64. – URL: http://www.cawater-info.net/library/rus/carewib/eecsa_papers_collection_vol_4_2012.pdf#4. (дата обращения: 06.05.2022.)
2. Эколого-гигиеническая оценка состояния водных ресурсов Луганской области / С. В. Витришчак, Е. В. Санина, Е. В. Сичанова [и др.]. – Текст : непосредственный // Український журнал клінічної та лабораторної медицини. – 2012. – Том 7, № 3. – С. 149–152.
3. Информация о состоянии и рациональном использовании водных ресурсов на территории ДНР. – Текст : электронный // Администрация города Донецка : официальный сайт. – 2022. – URL: <http://gorod-donetsk.com/novosti/21283-informatsiya-o-sostoyanii-i-ratsionalnom-ispolzovanii-vodnykh-resursov-na-territorii-g-donetska-2>. (дата обращения: 27.04.2022.)
4. Трякина, А. С. Обоснование расчетных показателей качества воды при выборе рациональной схемы водоочистных сооружений : специальность 05.23.04 «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Трякина Алена Сергеевна ; Донбасская национальная академия строительства и архитектуры. – Макеевка, 2018. – 318 с. – Текст : непосредственный.
5. Рафф, П. А. Технология контактного осветления воды в условиях Волжского водозабора г. Казани / П. А. Рафф, А. В. Селоков, И. С. Байкова. – Текст : непосредственный // Водоснабжение и санитарная техника. – 2011. – № 6. – С. 25–34.
6. Бабенков, Е. Д. Очистка воды коагулянтами / Е. Д. Бабенков. – Москва : Наука, 1977. – 365 с. – Текст : непосредственный.
7. Высоцкий, С. П. Совершенствование технологий очистки воды от взвешенных веществ / С. П. Высоцкий, И. Е. Голуб. – Текст : непосредственный // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту. – 2009. – № 1(8). – С. 174–180.

Reference

1. Antonenko, V. Ye.; Trofanchuk, S. I.; Belotserkovskaya, N. A. Water resources of the river basin. Seversky Donets: basin principle of water resources management. – Text : electronic. – In: *Water management and integrated water resources management in the countries of Eastern Europe, the Caucasus and Central Asia: problems and solutions : a collection of scientific papers*. – Tashkent : Scientific Information Center of the Interstate Coordinating Water Commission of Central Asia, 2012. – P. 58–64. – URL: http://www.cawater-info.net/library/rus/carewib/eecsa_papers_collection_vol_4_2012.pdf#4. (date of the application: 06.05.2022.) (in Russian)
2. Vitrishchak, S. V.; Sanina, Ye. V.; Sichanova, Ye. V. [et. al.]. Ecological and hygienic assessment of the state of water resources in the Luhansk region. – Text : direct. – In: *Ukrainian Journal of Clinical and Laboratory Medicine*. – 2012. – Volume 7, № 3. – P.149–152. (in Russian)
3. Information on the state and rational use of water resources on the territory of the DPR. – Text : electronic. – In: *Administration of the city of Donetsk* : official site. – 2022. – URL: <http://gorod-donetsk.com/novosti/21283-informatsiya-o-sostoyanii-i-ratsionalnom-ispolzovanii-vodnykh-resursov-na-territorii-g-donetska-2>. (date of the application: 27.04.2022.) (in Russian)
4. Tryakina, A. S. Substantiation of calculated indicators of water quality when choosing a rational scheme of water treatment facilities : Thesis of Ph. D. in Engineering ; Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. – Makeevka, 2018. – 318 p. – Text : direct. (in Russian)
5. Raff, P. A.; Selyukov, A. V.; Baykova, I. S. Technology of contact clarification of water in the conditions of the Volga water intake of Kazan. – Text : direct. – In: *Water supply and sanitary engineering*. – 2011. – № 6. – P. 25–34. (in Russian)
6. Babenkov, Ye. D. Water purification with coagulants. – Moscow : Science, 1977. – 365 p. – Text : direct. (in Russian)
7. Vysotsky, S. P.; Golub, I. Ye. Improving technologies for water purification from suspended solids. – Text : direct. – In: *Proceedings of the Automobile and Road Institute*. – 2009. – № 1(8). – P. 174–180. (in Russian)
8. Draginsky, V. L.; Alekseyeva, L. P.; Getmantsev, S. V. Coagulation in natural water treatment technology :

8. Драгинский, В. Л. Коагуляция в технологии очистки природных вод : научное издание / В. Л. Драгинский, Л. П. Алексеева, С. В. Гетманцев. – Москва : [Б. и.], 2005. – 576 с. – Текст : непосредственный.
9. Кульский, Л. А. Технология очистки природных вод : учебник для студентов ВУЗов / Л. А. Кульский, П. П. Строкач. – 2-е издание, переработанное и дополненное. – Киев : Вища школа, 1986. – 352 с. – Текст : непосредственный.
10. Реагентная обработка поверхностных природных вод алюмосодержащими коагулянтами : монография / Б. М. Гришин, М. В. Бикунова, М. А. Сафронов, Е. А. Титов. – Пенза : ПГУАС, 2016. – 140 с. – Текст : непосредственный.
11. Akitt, J. W. Hydrolysis and dimerisation of aqueous aluminium salt solutions / J. W. Akitt, N. N. Greenwood, G. D. Lester. – Текст : непосредственный // *Chemical Communications*. – 1999. – № 17. – P. 988.
12. Grunwald, E. Acidity and association of aluminium ion in dilute aqueous acid / E. Grunwald, Fong Dodd-Wing. – Текст : непосредственный // *Journal of Physical Chemistry*. – 1999. – Volume 73, № 3. – P. 650.
13. Thomas, A. W. The nature of «aluminium oxide» hydrosols / A. W. Thomas, A. P. Tai. – Текст : непосредственный // *Journal of the American Chemical Society*. – 1932. – Volume 54. – P. 841.
14. Pohl, K. Über die Bildung definierter Aluminiumhydroxid – Gemische und deren röntgenographische Mengenanalyse / K. Pohl, D. Meissner, W. Steinert. – Текст : непосредственный // *Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie*. – 2006. – Band 343, № 1-2. – S. 39.
15. Fripiat, J. J. Structure of aluminium cations in aqueous solutions / J. J. Fripiat, F. Van Gauwelaert, H. Bosmans. – Текст : непосредственный // *Journal of Physical Chemistry A*. – 2015. – Volume 69, № 7. – P. 2458.
16. Высоцкий, С. П. Проблемы очистки питьевой воды от соединений алюминия методом коагулирования / С. П. Высоцкий, Т. И. Степаненко. – Текст : непосредственный // *Вестник Луганского национального университета им. Владимира Даля : научный журнал*. – 2017. – Выпуск 3(5), Часть 2. – С. 165–168.
17. СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения = Water supply. Pipelines and portable water treatment plants : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 29 декабря 2011 г. № 635/14 : актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84* : дата введения 2013-01-01 / разработан ООО «РОСЭКОСТРОЙ», ОАО «НИЦ «Строительство». – Москва : Минрегион России, 2012. – 124 с. – Текст : непосредственный.
- scientific publication. – Moscow : [S. n.], 2005. – 576 с. – Текст : direct. (in Russian)
9. Kulsky, L. A.; Strokach, P. P. Technology of natural water purification : a textbook for university students. – 2-nd edition, revised and enlarged. – Kyiv : Higher school, 1986. – 352 p. – Text : direct. (in Russian)
10. Grishin, B. M.; Bikunova, M. V.; Safronov, M. A.; Titov, Ye. A. Reagent treatment of surface natural waters with aluminum-containing coagulants : monograph. – Penza : PSUAC, 2016. – 140 p. – Text : direct. (in Russian)
11. Akitt, J. W.; Greenwood, N. N.; Lester, G. D. Hydrolysis and dimerisation of aqueous aluminium salt solutions. – Text : direct. – In: *Chemical Communications*. – 1999. – № 17. – P. 988. (in English)
12. Grunwald, E.; Fong Dodd-Wing. Acidity and association of aluminium ion in dilute aqueous acid. – Text : direct. – In: *Journal of Physical Chemistry*. – 1999. – Volume 73, № 3. – P. 650. (in English)
13. Thomas, A. W.; Tai, A. P. The nature of «aluminium oxide» hydrosols. – Text : direct. – In: *Journal of the American Chemical Society*. – 1932. – Volume 54. – P. 841. (in English)
14. Pohl, K.; Meissner, D.; Steinert, W. Über die Bildung definierter Aluminiumhydroxid – Gemische und deren röntgenographische Mengenanalyse. – Text : direct. – In: *Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie*. – 2006. – Band 343, № 1-2. – S. 39. (in German)
15. Fripiat, J. J.; Van Gauwelaert, F.; Bosmans, H. Structure of aluminium cations in aqueous solutions. – Text : direct. – In: *Journal of Physical Chemistry A*. – 2015. – Volume 69, № 7. – P. 2458. (in English)
16. Vysotsky, S. P.; Stepanenko, T. I. Problems of purification of drinking water from aluminum compounds by coagulation. – Text : direct. – In: *Bulletin of the Luhansk National University named after Vladimir Dahl : scientific journal*. – 2017. – Issue 3(5), Part 2. – P. 165–168. (in Russian)
17. SP 31.13330.2012. Water supply. Pipelines and portable water treatment plants. – Moscow : Ministry of Regional Development of Russia, 2012. – 124 p. – Text : direct. (in Russian)

Степаненко Татьяна Ивановна – кандидат технических наук, доцент кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: снижение негативного воздействия на окружающую среду и здоровье человека.

Степаненко Тетяна Іванівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри техносферної безпеки ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: зниження негативного впливу на довкілля та здоров'я людини.

Stepanenko Tatiana – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: reducing the negative impact on the environment and human health.