

Научная статья

Original article

УДК 628.31

doi: 10.55186/2413046X_2022_7_11_643

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ХЛОРИДОВ
ANALYSIS OF CHLORIDE REMOVAL METHODS FROM
WASTEWATERS



Работа выполнена в рамках КНТП полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в области разведки и добычи твердых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения» распоряжение правительства от 11.05.2022, N1144-р, № соглашения 075-15-2022-1201

Михайлова Екатерина Сергеевна, канд. хим. наук, начальник управления по реализации КНТП, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кемеровский государственный университет», e_s_mihaylova@mail.ru

Константинова Ольга Борисовна, канд. с.-х. наук, доцент высшей аграрной школы, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия», olykk@mail.ru

Mikhailova Ekaterina Sergeevna, Ph.D. chem. Sci., Head of the Department for the Implementation of the ISTEP, Kemerovo State University, e_s_mihaylova@mail.ru

Konstantinova Olga Borisovna, Ph.D. Agricul. Sci., Associate Professor of Higher Agrarian School, Kuzbass state agricultural academy, olykk@mail.ru

Аннотация. Хлориды – это природные вещества, которые в малых количествах содержатся в водоемах. Однако промышленные, бытовые и сельскохозяйственные сточные воды, которые производятся человеком, могут содержать большое количество хлоридов, которые вызывают значительное нарушение экологического баланса. Цель данной работы состояла в проведении анализа методов очистки сточных вод от хлоридов. Объектами исследования являлись научные публикации российских и зарубежных авторов, касающиеся методов очистки сточных вод от хлоридов. В системе PubMed был проведен поиск исследований, опубликованных в период 1990–2022 гг. по изучаемой теме. Основным методом исследований служило обобщение. В результате проведенных исследований установлено, что существует несколько методов снижения количества хлоридов в сточных водах: деминерализация, обратный осмос, коагуляция, осаждение, электродиализ, биосорбция и другие. Использование биологических методов очистки сточных вод от хлоридов позволяет снизить содержание хлоридов до 40%. Концентрация хлоридов в сточных водах после применения химических, физико-химических и биологических методов очистки считается нетоксичной для сбрасывания в водоемы.

Abstract. Chlorides are natural substances that are found in small quantities in water bodies. However, human-produced industrial, domestic and agricultural wastewater can contain large amounts of chlorides, which cause significant ecological imbalance. The purpose of this work was to analyze the methods of chloride removal from wastewater. The objects of the study were scientific publications of Russian and foreign authors concerning methods of chloride removal from wastewater. PubMed was searched for studies published between 1990 and 2022 on the topic under study. Generalization served as the main research method. As a result of the research, it was found that there are several methods for reducing the amount of chlorides in wastewater: demineralization,

reverse osmosis, coagulation, sedimentation, electro dialysis, biosorption and others. The use of biological methods of chloride removal from wastewaters can reduce the chloride content by up to 40%. The concentration of chlorides in wastewater after the application of chemical, physicochemical and biological removal methods is considered non-toxic for discharge into water bodies.

Ключевые слова: сточные воды, очистка, хлориды, деминерализация, обратный осмос, коагуляция, осаждение, электролиз, биосорбция

Keywords: wastewater, purification, chlorides, demineralization, reverse osmosis, coagulation, sedimentation, electro dialysis, biosorption

Введение

Хлорид представляет собой солевое соединение, образующееся в результате реакции газообразного хлора с металлами [1, 2]. Общие хлориды сточных вод включают хлорид натрия (NaCl), хлорид калия (KCl) и хлорид магния (MgCl_2). Такие промышленные процессы, как производство аккумуляторов, производство целлюлозы, обогащение полезных ископаемых, гальванические процессы, производство пестицидов и т.д. являются основными источниками хлоридов в сточных водах [3, 4]. В большинстве этих отраслей, значительное количество хлоридов попадает в сточные воды из-за использования извести ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) или гидроксида натрия (NaOH) для нейтрализации кислых стоков [5]. Различные реагенты, такие как соляная кислота (HCl) или гидроксид натрия (NaOH), используемые во многих производственных процессах для удаления масляной пленки материалах и жидкостях [6]. Они способствуют существенному повышению содержания хлоридов в сточных водах [7-9].

При утилизации стоков, содержащих хлориды, со временем образуются соли на поверхности почвы, что приводит к увеличению щелочности почвы, и, следовательно, к потере плодородия. В растениях хлориды накапливаются, в основном, в листьях. Ионы хлора очень подвижны и транспортируются в реки, моря и океаны [10].

Антропогенные источники хлоридов, такие как сточные воды, содержащие дорожные противогололедные соли, остатки неорганических удобрений, фильтраты свалок, антисептики, корма для животных, промышленные стоки, ирригационный дренаж пагубно влияют на флору и фауну планеты [11-15].

Хлориды, попадающие в водоемы со сточными водами, играют отрицательную роль в синаптическом торможении, регуляции рН клеток человека и животных, а также во многих невропатологических процессах, набухании клеток, регуляции размера межтканевого пространства, модуляции синхронизированной активности нейронов, восприимчивости организма к судорогам или развитию депрессивных состояний [16-18].

В некоторых странах, в результате развития промышленности и урбанизации, увеличился сброс промышленных сточных вод и хозяйственно-бытовых стоков, что привело к серьезной нехватке питьевой воды, что угрожает развитию экономики, здоровью людей и благополучию экосистем [19-21].

Очистные сооружения играют жизненно важную роль в снижении загрязнения воды за счет снижения концентрации хлоридов в сточных водах и других источниках с помощью специальных процессов обработки [6]. Очистные сооружения потребляют большое количество энергии и ресурсов для очистки сточных вод в процессе эксплуатации. Для очистных сооружений важна их конфигурация, скорость нагрузки сооружений, высокие затраты на обработку выделенных хлоридов, низкое качество фильтрации и чрезмерное потребление энергии [22-24].

Следовательно, необходимо изучить методы очистки сточных вод от хлоридов, влияние процесса очистки сточных вод на окружающую среду и создавать системы с высокой эффективностью удаления хлоридов и низкой стоимостью [25-27].

Целью данной работы являлся анализ методов очистки сточных вод от хлоридов. Научная новизна заключается в том, что впервые были обобщены

научные практические и обзорные исследования на русском и английском языках, описывающие методы очистки сточных вод предприятий различных отраслей промышленности от хлоридов, приведены их преимущества и недостатки и представлены перспективы их использования.

Объекты и методы исследований

Объектами данного исследования являлись научные публикации и патенты российских и зарубежных авторов, касающиеся методов очистки сточных вод различных производств от хлоридов. Для поиска информации были использованы базы данных Scopus, Web of Science, PubMed, Elibrary за период с начала 1990-х годов до 01.11.2022 г. Отобраны и проанализированы доступные обзорные и исследовательские статьи по анализу методов очистки сточных вод от хлоридов, преимуществах и недостатках данных методов, и отдельные статьи, связанные с обоснованием актуальности темы, пониманием свойств и механизмов очистки сточных вод от хлоридов, определением перспективных направлений исследований в этой области, на английском и русском языках. Основное внимание уделялось статьям, опубликованным в научных рецензируемых журналах с высоким индексом цитирования за последние пять лет. При проведении анализа использовали также материалы конференций и главы из книг. В системе PubMed был проведен поиск исследований, опубликованных в период 1990–2022 гг., с использованием следующих комбинаций ключевых слов: сточные воды, хлориды, методы очистки, химическая очистка, физико-химическая очистка, биологическая очистка. При этом были исключены статьи, доступные только в виде рефератов, а также библиографии, редакционные материалы и статьи, опубликованные не на английском и русском языках. Основным методом служило обобщение [28]. Были проанализированы статистические и исследовательские данные, относящиеся к исследованию различных методов очистки сточных вод от хлоридов. Авторами были рассмотрены аргументы на основе гипотез ведущих ученых о преимуществах и недостатках методов, сформировано собственное мнение на основе доказательства данных гипотез.

Результаты и их обсуждение

Удаление хлоридов методом ионного обмена

Ионный обмен работает по основному принципу зарядового транспорта ионов. В лабораторных условиях на целлюлозно-бумажном комбинате было испытано несколько смол для удаления хлоридов [3, 26]. Ионообменные смолы представляли собой свободные основные формы или гидроксидные основные формы. Исследователи пришли к выводу, что использование ионообменных смол на основе гидроксид-ионов позволяет удалить от 50% до 70% хлоридов при дозе 10 г/л, и могут являться потенциальными ионообменными смолами, которые могут быть использованы для снижения содержания хлоридов в сточных водах целлюлозно-бумажных комбинатов [29].

Удаление хлоридов известью с алюминием

Для удаления хлоридов из сточных вод используются расширенные методы, такие, как обратный осмос, электродиализ, но умягчение известью является самым дешевым и доступным альтернативным методом для очистки сточных вод от хлоридов. Кроме того, такой процесс, как обратный осмос не только дорог, но и сложен в исполнении [30]. Возникают проблемы с загрязнением мембран при очистке стоков и создаются проблемы с утилизацией рассола. С использованием извести, полученное рН и содержание кальция позволяет получить осадки хлоридов в виде хлоралюмината кальция ($\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Cl}_2(\text{OH})_{12}$). Данный процесс экономичен, т.к. снижает капитальные затраты при многократном использовании одного и того же оборудования [7]. Эксплуатационные расходы осаждения хлоридов с использованием извести несколько выше из-за постоянной потребности в добавлении алюминия [31].

Удаление хлоридов адсорбцией

На основе эффекта адсорбции с образованием двойного электрического слоя возможна ассимиляция ионов хлора из водного раствора [16].

Исследователи пришли к выводу, что адсорбция ионов хлора происходит согласно моделям Ленгмюра и Фрейндлиха [31, 32].

Электрохимический метод удаления хлоридов

Электрофоретический способ удаления хлоридов - электрохимический процесс, который состоит в использовании основного принципа миграция ионов к противоположно заряженным полюсам. Электрофоретический аппарат содержит анод, помещенный в среду электролита [33]. Анод и стальная пластина соединены двумя клеммами с источником постоянного тока так, чтобы анод был заряжен положительно. Из-за заряда на аноде, происходит миграция ионов хлора из сточных вод в анодное поле, что приводит к снижению содержания хлоридов в стоках [20]. Данный процесс движения заряженных ионов в электрическом поле помогает не только очистить сточные воды от хлоридов, но и предотвратить коррозию металлов [13]. Показано, что из-за удаления свободных хлоридов, связанные хлориды растворяются для того, чтобы восстановить равновесие между связанными и свободными хлоридами в сточных водах [34].

Удаление хлоридов биосорбцией

Биологическая очистка сточных вод от хлоридов является малозатратным и эффективным методом очистки [35].

Известно, что процесс биосорбции регулируется рН раствора. В связи с этим рН – главный оптимальный параметр очистки, который необходимо поддерживать на всех этапах очистки [9]. Установлено, что максимальная биосорбция происходила при оптимальном диапазоне рН 7,0-7,5. Поддержание кислотности сточных вод необходимо не только для постоянного контроля процессов очистки сточных вод от хлоридов, но и из-за экономической составляющей процессов, так как нет необходимости постоянно менять микроорганизмы [36].

При слишком высокой концентрации хлоридов в стоках, скорость очистки может значительно снижаться [16]. Для изучения воздействия концентрации хлоридов на эффективность биосорбции, проводили

эксперимент при различных концентрациях хлоридов и сохранении постоянными остальных параметров очистки. Установлено, что эффективность очистки снижается с увеличением концентрации хлоридов, а при концентрации 100 %, эффективность биосорбции хлоридов находилась в диапазоне 30-35% [37].

Доказано, что время контакта микроорганизмов со сточными водами должно составлять не менее 60 минут. Показано, что после определенного периода времени, в данном случае 120 минут/2 часа, скорость биосорбции остается постоянной [8]. Очистку сточных вод от хлоридов проводят для того, чтобы сделать очищенную воду пригодной для утилизации или для повторного использования на технические цели. Однако, необходимо так же учитывать скорость регенерации биосорбента, пределы его использования и производительность биомассы микроорганизмов в биосорбенте [1, 38].

Удаление хлоридов комбинированными методами

Перед очисткой сточных вод от хлоридов с помощью активного ила, взвешенные вещества, жир и крупные неорганические частицы удаляются механическим способом, что снижает воздействие на биологические очистные сооружения с активным илом [39]. После этого сточные воды попадают в анаэробный реактор с перегородками, в котором органические вещества разлагается до CO_2 и CH_4 путем анаэробного брожения, гидролиза и метанирования, а большая часть оставшихся органических веществ превращается в растворимые низкомолекулярные органические вещества, которые легко усваиваются и трансформируются микроорганизмами активного ила. Одновременно в аэробный резервуар вносится известь для связывания хлоридов [30]. После завершения разделения твердой и жидкой фаз при связывании хлоридов, надосадочная жидкость поступает в бак с активным ил для доочистки, а обеззараженные стоки сбрасываются в принимающий водоем. В соответствии с требованиями к воде высокого качества, дополнительно добавлен песчаный фильтр и вторичный отстойник

для удаления загрязняющих веществ, если сточные воды не соответствуют стандартам [15].

Данный способ очистки сточных вод от хлоридов имеет большое практическое значение из-за высокого энергосбережения и сокращения времени прохождения стоков через очистные сооружения [40].

Выводы

Хлориды в сточных водах представляют собой серьезную озабоченность в эпоху водосбережения и повторного использования. Необходимо разрабатывать и использовать различные методы очистки сточных вод от хлоридов, которые отличаются низкой стоимостью и высокой эффективностью. Одним из таких методов является биосорбция. При использовании данного метода, может быть достигнуто удаление 30-34% хлоридов. Необходимый диапазон pH для этого процесса 7,0 – 7,5, требуемое время контакта биосорбента со сточными водами 120 минут. Эффективность биосорбции снижается с повышением концентрации хлоридов. Использование комбинированных методов очистки сточных вод от хлоридов позволяет повысить степень очистки до 40%. Однако, необходимо продолжать исследования по поиску дешевых и эффективных методов очистки сточных вод от хлоридов с целью возможности их утилизации, повторного использования или сброса в природные водоемы без нарушения экологического баланса жизнедеятельности человека, флоры и фауны планеты.

Список источников

1. Zhang, S., Chen, W., Liu, Y., Luo, P. and Gu, H. (2018) A Modified Method for the Accurate Determination of Chemical Oxygen Demand (COD) in High Chloride Oilfield Wastewater. *Open Journal of Yangtze Oil and Gas*, 3, 263-277. doi: 10.4236/ojogas.2018.34023.
2. Ma, J. (2017) Determination of Chemical Oxygen Demand in Aqueous Samples with Non-Electrochemical Methods. *Trends in Environmental Analytical Chemistry*, 14, 37-43. <https://doi.org/10.1016/j.teac.2017.05.002>.

3. Li, J., Luo, G., He, L., Xu, J. and Lyu, J. (2018) Analytical Approaches for Determining Chemical Oxygen Demand in Water Bodies: A Review. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 48, 47-65. <https://doi.org/10.1080/10408347.2017.1370670>.
4. Chen, P., Zhang, S.H., Lin, N.X. and Chen, W. (2016) Determination of COD in Wastewater Discharged from the Softener in Produced Water of an Oilfield in Xinjiang. *Journal of Yangtze University (Natural Section Edition)*, 13, 1-6.
5. Geerdink, R.B., van den Hurk, R.S. and Epema, O.J. (2017) Chemical Oxygen Demand: Historical Perspectives and Future Challenges. *Analytica Chimica Acta*, 961, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2017.01.009>.
6. Azam, F. and Ifzal, M. (2006): Microbial populations immobilizing NH_4^+ - N and NO_3^- -N differ in the sensitivity to sodium chloride salinity in soil, *Soil Biology and Biochemistry*, 38(8):2491 – 2494.
7. Wang, C.; Liu, H.J.; Yu, L.E.; Wang, H.Y. Study on the sustainability evaluation method of logistics parks based on emergy. *Processes* 2020, 8, 1247.
8. Cleserl S. L., Greenberg E. A., Eaton D.A. (1999): *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*, American Public Health Association, 20th Edn.
9. Elsener, B. and Angst, U. (2007): Mechanism of electrochemical chloride removal, *Corrosion Science*, 49(12):4504 – 4522.
10. Giyeon, Y., Buchanan, I.D. (2006): *Project Report on Colour and Chloride Removal from Pulp Mill Effluent Using Ion – Exchange*, Sustainable Forest and Management Network Publication, University of Alberta, Edmonton, Alberta, T6G 2E9.
11. Wang, H., Xu, X.L., Han, Y., Le, C. and Zhang, H.Y. (2017) Determination of COD in Effluent with High Chloride from Nanofiltration Membrane for Landfill Leachate Treatment by Chlorine Emendation Method. *China Water & Wastewater*, 33, 115-117.

12. Ma, Y.Y., He, H.J., Yuan, H.Y., Zhang, X.G. and Zhang, X. (2013) Low Concentration COD Analysis Method for Low Concentration of High Chloride Ion Drilling Wastewater in Oil and Gas Field. *Henan Chemical Industry*, 30, 57-59.
13. Apte, Sagar & Shruti, Apte & S, Kore & Kore, Sunanda. (2011). Chloride Removal from Wastewater by Biosorption with the Plant Biomass 1. *Universal Journal of Environmental Research and Technology* 2249 0256. 1. 416-422.
14. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). *The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water*; UNESCO: Paris, France, 2018; Volume 3.
15. Cai, W.; Lai, K.H.; Liu, C.; Wei, F.; Ma, M.; Jia, S.; Jiang, Z.G.; Lv, L. Promoting sustainability of manufacturing industry through the lean energy-saving and emission-reduction strategy. *Sci. Total Environ.* 2019, 665, 23–32.
16. Liu, C.H.; Gao, M.D.; Zhu, G.; Zhang, C.X.; Zhang, P.; Chen, J.Q.; Cai, W. Data driven eco-efficiency evaluation and optimization in industrial production. *Energy* 2021, 224, 120170.
17. Ji, M.; Liu, Z.; Sun, K.; Li, Z.; Fan, X.; Li, Q. Bacteriophages in water pollution control: Advantages and limitations. *Front. Environ. Sci. Eng.* 2021, 15, 84.
18. Rice, J.; Westerhoff, P. High levels of endocrine pollutants in US streams during low flow due to insufficient wastewater dilution. *Nat. Geosci.* 2017, 10, 587–591.
19. Dong, X.; Zhang, X.; Zeng, S. Measuring and explaining eco-efficiencies of wastewater treatment plants in China: An uncertainty analysis perspective. *Water Res.* 2017, 112, 195–207.
20. An, D.; Xi, B.D.; Ren, J.Z.; Ren, X.S.; Zhang, W.S.; Wang, Y.; Dong, L.C. Multi-criteria sustainability assessment of urban sludge treatment technologies: Method and case study. *Resour. Convers. Recycl.* 2018, 128, 546–554.
21. Jang, J.; Park, S.; Park, J.; Kim, H.; Kim, J.; Lee, H. Energy assessment and savings for the sewage treatment plant using EUAT and tool-kit in Korea. *Desalin. Water Treat.* 2019, 154, 132–140.

22. Molinos-Senante, M.; Gemar, G.; Gomez, T.; Caballero, R.; Sala-Garrido, R. Eco-efficiency assessment of wastewater treatment plants using a weighted Russell directional distance model. *J. Clean. Prod.* 2016, 137, 1066–1075.
23. Mayer, F.; Bhandari, R.; Gath, S.A. Life cycle assessment of prospective sewage sludge treatment paths in Germany. *J. Environ. Manag.* 2021, 290, 112557.
24. Gallego-Schmid, A.; Tarpani, R.R.Z. Life cycle assessment of wastewater treatment in developing countries: A review. *Water Res.* 2019, 53, 63–79.
25. Amiri, Z.; Asgharipour, M.R.; Campbell, D.E. Conservation agriculture, a selective model based on energy analysis for sustainable production of shallot as a medicinal-industrial plant. *J. Clean Prod.* 2021, 292, 126000.
26. Artuzo, F.D.; Allegretti, G.; Santos, O.I.B.; da Silva, L.X.; Talamini, E. Emergy unsustainability index for agricultural systems assessment: A proposal based on the laws of thermodynamics. *Sci. Total Environ.* 2021, 759, 143524.
27. Liu, C.H.; Cai, W.; Dinolov, O.; Zhang, C.X.; Rao, W.Z.; Jia, S.; Li, L.; Chan, F.T.S. Emergy based sustainability evaluation of re-manufacturing machining systems. *Energy* 2018, 150, 670–680.
28. Moher, D.; Liberati, A.; Tetzlaff, J. PRISMA Group Preferred reporting items for systematic re-views and meta-analyses: The PRISMA statement. *Public Library of Science Medicine* 2009, 6(7), e1000097. <https://doi.org/10.1136/bmj.b2535>
29. Cai, W.; Liu, C.H.; Zhang, C.X.; Ma, M.D.; Rao, W.Z.; Li, W.Y.; He, K.; Gao, M.D. Developing the ecological compensation criterion of industrial solid waste based on emergy for sustainable development. *Energy* 2018, 157, 940–948.
30. Wang, C.; Zhang, Y.; Liu, C.; Hu, F.; Zhou, S.; Zhu, J. Emergy-based assessment and suggestions for sustainable development of regional ecological economy: A case study of Anhui Province, China. *Sustainability* 2021, 13, 2988.
31. Sun, L.; Li, H.; Dong, L.; Fang, K.; Ren, J.Z.; Geng, Y.; Fujii, M.; Zhang, W.; Zhang, N.; Liu, Z. Eco-benefits assessment on urban industrial symbiosis based on material flows analysis and emergy evaluation approach: A case of Liuzhou city, China. *Resour. Convers. Recycl.* 2017, 119, 78–88.

32. Liu, C.H.; Cai, W.; Zhai, M.Y.; Zhu, G.; Zhang, C.X.; Jiang, Z.G. Decoupling of wastewater eco-environmental damage and China's economic development. *Sci. Total Environ.* 2021, 789, 147980.
33. Zhang, J.X.; Ma, L. Environmental sustainability assessment of a new sewage treatment plant in China based on infrastructure construction and operation phases energy analysis. *Water* 2020, 12, 484.
34. Alizadeh, S.; Zafari-koloukhi, H.; Rostami, F.; Rouhbakhsh, M.; Avami, A. The eco-efficiency assessment of wastewater treatment plants in the city of Mashhad using energy and life cycle analyses. *J. Clean. Prod.* 2020, 249, 119327.
35. Zhang, J.X.; Ma, L.; Yan, Y.Y. A dynamic comparison sustainability study of standard wastewater treatment system in the straw pulp papermaking process and printing & dyeing papermaking process based on the hybrid neural network and energy framework. *Water* 2020, 12, 1781.
36. Londono, N.A.; Suarez, D.G.; Velasquez, H.I.; Ruiz-Mercado, G.J. Energy analysis for the sustainable utilization of biosolids generated in a municipal wastewater treatment plant. *J. Clean. Prod.* 2017, 141, 182–193.
37. Shao, S.; Mu, H.; Yang, F.; Zhang, Y.; Li, J. Application of energy analysis to the sustainability evaluation of municipal wastewater treatment plants. *Sustainability* 2017, 9, 8.
38. Gronlund, E.; Billgren, C.; Tonderski, K.S.; Raburu, P.O. Energy assessment of a wastewater treatment pond system in the Lake Victoria Basin. *J. Environ. Account. Manag.* 2017, 5, 11–26.
39. Brown, M.T.; Ulgiati, S. Energy-based indices and ratios to evaluate sustainability: Monitoring economics and technology toward environmentally sound innovation. *Ecol. Eng.* 1997, 5, 51–69.
40. Geng, Z.Q.; Song, G.L.; Han, Y.M.; Chu, C. Static and dynamic energy structure analysis in the world for resource optimization using total factor productivity method based on slacks-based measure integrating data envelopment analysis. *Energy Convers. Manag.* 2021, 228, 113713.

Московский экономический журнал. № 11. 2022

Moscow economic journal. № 11. 2022

Для цитирования: Михайлова Е.С., Константинова О.Б. Анализ методов очистки сточных вод от хлоридов // Московский экономический журнал. 2022. № 11. URL: <https://qje.su/rekreacia-i-turizm/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-11-2022-13/>

© Михайлова Е.С., Константинова О.Б., 2022. Московский экономический журнал, 2022, № 11.