

УДК 628.3

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КРИОКОНЦЕНТРИРОВАНИЯ В
ПРОЦЕССАХ ОЧИСТКИ ВОДЫ****Си Дэтянь,**

студент, магистр (Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет) E-mail: 1216467182@qq.com

Аннотация

Технология криоконцентрирования - это эффективная технология обработки воды, основанная на теории физико-химического фазового равновесия в низкотемпературной среде, которая позволяет одновременно концентрировать загрязняющие вещества и получать очищенную воду. В статье приводится краткое описание исследований и примеры применения данной технологии в области очистки промышленных сточных вод и восстановления водной экологии в стране и за рубежом, а также сравниваются преимущества этой технологии перед традиционными методами очистки воды. Применение метода концентрирования примесей в низкотемпературной среде позволит повысить эффективность систем водоподготовки и очистки сточных вод, обеспечивая экономию ресурсов и снижая негативные воздействия на окружающую природную среду.

Ключевые слова: криоконцентрирование, загрязняющие вещества, очистка воды.**APPLICATION OF CRYOCONCENTRATION TECHNOLOGY IN WATER
TREATMENT PROCESSES****Xi Detian,**student, master (Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: 1216467182@qq.com**ABSTRACT**

Cryoconcentration technology is an effective water treatment technology based on the theory of physical and chemical phase equilibrium in a low temperature environment which allows simultaneously concentrating pollutants and obtaining purified water. The article gives a brief description of the research and examples of the application of this technology in the field of industrial wastewater treatment and water ecology restoration in the country and abroad, and compares the advantages of this technology over traditional water treatment methods. The application of the method of concentrating impurities in a low-temperature environment will increase the efficiency of water and wastewater treatment systems, ensuring resource saving and reducing the negative impact on the environment.

Keywords: cryoconcentration, pollutants, water purification.

Замораживание водных растворов использует принцип равновесия твердой и жидкой фаз, пользуясь тем, что точка замерзания растворенного вещества в растворе ниже, чем у воды. Когда температура понижается и сначала достигает точки замерзания, то вода выпадает из раствора в виде кристаллов льда, а растворенное вещество переходит в оставшийся раствор, увеличивая концентрацию раствора. В зависимости от используемой энергии, методы замораживания можно разделить на два типа, а именно: естественное и искусственное замораживание. Искусственное замораживание, в зависимости от способа кристаллизации, можно разделить на два вида: постепенное замораживание и суспензионное замораживание[1].

Криоконцентрация - это метод с долгой историей, он был задокументирован в методах опреснения еще в середине 17-го века, но по техническим причинам он не получил широкого применения. Только в середине 20-го века сублимационная концентрация действительно стала предметом экспериментальных исследований, и все больше ученых занялись ее изучением и продвижением. Методы сублимационной концентрации стали широко применяться в пищевой промышленности, медицине, биологии и так далее. С 1990-х годов, в контексте энергетического кризиса и повышения требований по защите окружающей природной среды, метод сублимационной концентрации, который характеризуется малым потреблением энергии, низким уровнем воздействия на окружающую среду, был применен для очистки сточных вод и в настоящее время активно исследуется [2,3].

Одним из перспективных направлений использования методов сублимационной концентрации является очистка промышленных стоков.

Промышленные сточные воды разнообразны и сложны по составу. В работе Сюй Цзянь [4], рассматриваются особенности использовали технологии сублимационной концентрации для очистки стоков от соединений серы. Проведенные эксперименты показали, что объем стоков сероочистки сократился до 1/3 путем замораживания при температуре от -13 до -16°C в течение 4 ч, а содержание солей достигло 500 г/л. Также было установлено, что повторная обработка концентрата, полученного путем сублимационной концентрации, может сэкономить около 60% потребляемой энергии. Разбавленный раствор может быть возвращен в систему десульфуризации для повторного использования, что позволяет экономить большое количество технической воды. Ву Эрфэй [5] и др. исследовали очистку сточных вод газификации угля по методу Техасо и Lurgi с помощью технологии сублимационного концентрирования. Результаты исследований показывают, что органические и неорганические вещества в сточных водах могут быть эффективно удалены. Остаточные концентрации по ХПК в очищенной воде не превышают 10 мг/л, а электропроводность соответствует стандарту качества для циркуляционной охлаждающей воды, и на них не влияет содержание ионов кальция в исходной воде. Выход воды при очистке сточных вод газификации Техасо и Lurgi превышает 90% и 95% соответственно, что позволяет значительно повысить коэффициент повторного использования сточных вод и сократить объем очистки сточных вод.

В настоящее время, в Китайской Народной Республике технологии криоконцентрирования успешно применяется для решения задач охраны водоемов от загрязнений. Экспериментальные исследования по сублимационной концентрации загрязнений в морской воде, проведенные Мао Сяомин [6], показали, что после замораживания раствора в течение 60 часов при температурах от -15 до -25°C, толщина

образовавшегося льда имеет выраженное разделение на чистый, переходный и концентрированный слои. Кроме того, было установлено что концентрация загрязняющих веществ в чистом слое уменьшается с понижением температуры, тогда как в переходном слое изменений фактически не наблюдалось. В концентрированном слое с понижением температуры происходило увеличение количества загрязняющих веществ, что указывает на активизацию процессов миграции загрязнений из чистого слоя в концентрированный слой, при намерзании ледяного покрова.

Аналогичные исследования были проведены Чжан Янь [7] на воде озера Хулун. Контроль изменения загрязнённости проводился по содержанию соединений азота, фосфора и ХПК в исходной воде и ледяном слое.

Усредненные показатели концентраций представлены на рис. 1.



Рис. 1 Усредненные показатели концентраций загрязнений в воде и ледяном слое

Из диаграммы видно, что средние значения N, P и ХПК в замороженном слое снизились более чем в два раза, что указывает на концентрационный эффект процесса криогенного замораживания на загрязняющие вещества в растворе воды. Эти выводы подтверждаются исследованиями Чжан Янь [8], установившем взаимосвязь эффективности снижения концентраций тяжелых металлов из вод Желтой реки, от изменения температуры замораживания. Результаты исследований показывают, что процесс замораживания оказывает определенный эффект удаления каждого из металлов и скорость удаления постепенно снижается с уменьшением температуры замораживания. Оптимальная температура замораживания может быть определена с учетом различных интервалов времени замораживания (в течение определенного промежутка времени слой льда постепенно утолщается, и скорость удаления тяжелых металлов увеличивается). Делается вывод, что замораживание может быть простым методом удаления тяжелых металлов из воды Желтой реки, и может полностью использовать естественную энергию холода в холодных районах для снижения стоимости очистки воды.

В исследованиях, проведенных И.А. Коротким [9] в качестве исходной воды использовали воду из водопроводной сети города Кемерово. Исследования процессов очистки воды проводились разделительным вымораживанием в кристаллизаторе емкостного типа. На основе полученных экспериментальных данных, установлено, что наименьшим удельным затратам энергии соответствует работа холодильной установки при температуре хладоносителя от -7 до -10°C . Энергетически оптимальная толщина льда,

намораживаемого в емкостном кристаллизаторе, составляет 13-16 мм. Отмечено значительное улучшение показателей вымороженной воды по сравнению с исходной водой из водопроводной сети. Наилучшие показатели имела вода полученная, длительным намораживанием при температуре -2°C . Во многом это объясняется тем, что процесс разделительного вымораживания при данной температуре идет более медленно, и разделение примесей протекает более эффективно.

Выводы

Технология криоконцентрирования является эффективным методом обработки воды, применяемой в различных областях водоподготовки и очистки сточных вод.

По сравнению с традиционными технологиями, сублимационная концентрация имеет много преимуществ, таких как простота и эффективность технологического процесса, низкое энергопотребление, низкие эксплуатационные расходы, широкий диапазон применения и высокая экологичность.

С каждым годом технология сублимационной концентрации получает все более широкое применение, но большинство текущих исследований в этой области недостаточно проработаны и требуют дополнительных исследований.

Список литературы:

1. Ma Yanli. (2013). Research and Analysis of Factors Influencing Solute Migration in Aqueous Solution Freezing Process (Master's Thesis, Northeastern University). <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbname=CMFD201501&filename=1015556193.nh>
2. Zhang Chunya, Zhang Jun, Wang Shusheng, Zhang Meiling & Gao Nianfa. (2007). Research and Application of Wine Freezing Concentration Technology. *Wine Technology* (02), 55-57+61. doi:CNKI:SUN:NJKJ.0.2007-02-014.
3. Li Fengmei & Guo Yiru. (2009). The effect of fruit juice freezing and concentration technology on the quality of fruit wine. *Preservation and Processing* (01), 44-46. doi:CNKI:SUN:BXJG.0.2009-01-026.
4. Xu Jian & Zhu Weichang. (2015). Research on freeze concentration treatment of coking desulfurization waste liquid. *Anhui Chemical Industry* (03), 59-61. doi:CNKI:SUN:AHHG.0.2015-03-025.
5. Wu Erfei, Gao Lin, Geng Chunyu, Xie Yongbing, Hao Xu & Yang Yong. (2019). Research on freeze concentration treatment technology of coal gasification wastewater. *Water Treatment Technology* (10), 106-109. doi:10.16796/j.cnki.1000-3770.2019.10.022.
6. Mao Xiaoming. (2015). Laboratory Experimental Research on Removal of Water Pollutants in Wuliangsu Sea by Freeze Concentration (Master's Thesis, Inner Mongolia Agricultural University). <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbname=CMFD201502&filename=1015428163.nh>
7. Zhang Yan, Li Changyou, Zhang Sheng, Shi Xiaohong & Li Weiping. (2011). Analysis of the pollution characteristics of Hulun Lake during the freezing period and its significance to water treatment. *Journal of Ecological Environment* (Z2), 1289-1294. doi: 10.16258/j.cnki.1674-5906.2011.z2.022.
8. Zhang Yan, Pei Guoxia & Qiao Lingmin. (2014). Removal of heavy metal elements in Yellow River water by freeze concentration. *Water Treatment Technology* (06), 58-61. doi:10.16796/j.cnki.1000-3770.2014.06.018 .

9. Короткий, И.А. Исследование процессов очистки воды разделительным вымораживанием / И.А. Короткий, Е.В. Короткая, А.В. Учайкин // Техника и технология пищевых производств. – 2015. – Т. 38. – № 3. – С. 88-93.