

ТЕХНОЛОГИЯ СОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ КАДМИЯ, СВИНЦА И МЕДИ ГРАНУЛИРОВАННЫМ ТОРФОМ

Б. Н. Житенёв¹, А. Д. Гуринович², Д. Д. Сенчук³

¹ К. т. н., профессор кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета, г. Брест, Республика Беларусь, e-mail: gitenev@tut.by

² Д. т. н., профессор кафедры водоснабжения и канализации

Белостокского технического университета, Белосток, Польша, e-mail: a.giurinovicz@pd.edu.pl

³ Магистр технических наук, ассистент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета, г. Брест, Республика Беларусь, e-mail: senchuk.d.d@mail.ru

Реферат

Рассмотрены вопросы загрязнения пресных водоемов производственными сточными водами содержащими ионы кадмия Cd^{+2} , свинца Pb^{+2} и меди Cu^{+2} , на основании проведенных исследований установлено: эффективность сорбции снижается с увеличением крупности зерен брикетированного торфа. Наиболее эффективно процесс сорбции ионов брикетированным торфом протекает в течении 5 минут контакта, затем он замедляется. В течении 5 минут удаляется до 91 % ионов Cd^{+2} , 98 % ионов Pb^{+2} , 90 % ионов меди Cu^{+2} , сорбционная емкость при насыщении составила: по Cd^{+2} – 0,0778 ммоль/г (8,75 мг/г), по Pb^{+2} – 0,8205 ммоль/г (170,00 мг/г), по Cu^{+2} – 2,707 ммоль/г (172 мг/г). Полученные результаты исследований свидетельствуют о возможности использования брикетированного торфа в качестве эффективного сорбента для очистки сточных. На основании проведенных исследований разработана технология очистки воды от ионов кадмия, свинца, меди.

Ключевые слова: очистка производственных сточных вод, ионы Cd^{+2} , Pb^{+2} , Cu^{+2} , сорбция, гранулированный торф, фильтр.

TECHNOLOGY OF SORPTION PURIFICATION OF WASTE WATER FROM CADMIUM IONS, LEAD AND COPPER WITH GRANULATED PEAT

B. N. Zhytsianiou, A. D. Hurynovich, D. D. Sianchuk

Abstract

The issues of pollution of fresh water bodies with industrial wastewater containing cadmium ions Cd^{+2} , lead Pb^{+2} and copper Cu^{+2} are considered, on the basis of the studies it has been established: the sorption efficiency decreases with an increase in the grain size of briquetted peat; The most efficient process of sorption of ions by briquetted peat proceeds within 5 minutes of contact, then it slows down. Within 5 minutes, up to 91% of Cd^{+2} ions, 98% of Pb^{+2} ions, 90% of copper ions Cu^{+2} are removed, the sorption capacity at saturation was: for Cd^{+2} - 0.0778 mMol / g (8.75 mg / g), for Pb^{+2} - 0.8205 mMol / g (170.00 mg / g), for Cu^{+2} - 2.707 mMol / g (172 mg / g). The obtained research results indicate the possibility of using briquetted peat as an effective sorbent for wastewater treatment. On the basis of the research carried out, a technology has been developed for water purification from cadmium, lead, and copper ions.

Keywords: industrial wastewater treatment, ions Cd^{+2} , Pb^{+2} , Cu^{+2} , sorption, granular peat, filter.

Введение

В настоящее время ведутся активные исследования по методам очистки сточных вод от таких токсичных металлов, как кадмий, свинец, медь и др. Соединения кадмия в воде считаются высокотоксичными веществами. Им присвоен 2 класс опасности. При попадании в организм человека кадмий связывает серосодержащие аминокислоты и ферменты. Его растворимые соединения при проникновении в кровь оказывают влияние на ЦНС, почки и печень, нарушают обмен кальция. Хроническое отравление кадмием приводит к разрушению костной ткани и малокровию. Большая часть соединений этого металла рассеяна в сульфидах цинка, меди и ртути. Минерал с наиболее высоким содержанием кадмия (от 0,3 до 5 %) – сфалерит, или цинковая обманка. Сфалерит, медные и полиметаллические руды – основной природный источник кадмия в воде. Его растворимые соединения попадают в подземные и поверхностные воды в результате выщелачивания горных пород и разложения тканей живых организмов. Грибы, некоторые виды бактерий, морские животные и растения способны накапливать кадмий в больших количествах.

Загрязнение питьевой воды кадмием наносит непоправимый вред всей экосистеме. Элемент относится к кумулятивным ядам, то есть имеет свойство накапливаться в организме. Период его полувыведения составляет 13–40 лет. Скорость выведения снижается при недостатке кальция, железа, селена и цинка [1].

Свинец – один из важнейших видов минерального сырья и в то же время – глобальный загрязнитель окружающей среды. В природе самородный металл встречается редко, однако содержится в большом количестве минеральных отложений и руд. В естественные водоёмы соединения свинца попадают с атмосферными осадками, из-за вымывания пород и почв. Но самый большой вклад в загрязнение водных источников вносит деятельность человека. Огромное

количество свинца поступает в воду со стоками промышленных и горно-обогатительных предприятий. Использование тетраэтилсвинца в автомобильном топливе, бытовые отходы, сжигание угля – также одни из самых распространённых способов попадания тяжёлых металлов в грунтовые и открытые воды. Нередки случаи присутствия свинца в централизованном водоснабжении. Во многих домах старого образца ещё остались свинцовые трубы или элементы трубопровода, частицы которых в процессе коррозии их поверхности попадают прямо в квартиры. По требованиям СанПиН концентрация соединений свинца в питьевой воде не должна превышать 0,03 мг/л. Однако это вещество крайне токсично и имеет свойство накапливаться в организме, что при регулярном употреблении даже микроскопических доз способно вызывать тяжёлые отравления как в острой, так и в хронической формах [2].

Методы очистки

Для извлечения из водных растворов кадмия, меди, никеля, цинка [3] использовался композиционный сорбент. Приготовление проводилось по методике, сутью которой являлось образование в порах катионита Dowex Marathon C в Na-форме (аналог универсального катионита КУ-2х8) сорбционно активной фазы гидроксида железа. Тем самым достигалось создание высокоразвитой поверхности сорбента. В качестве исходных для сорбции служили 0,01 н. растворы $CuSO_4$, $NiSO_4$, $CdSO_4$, $ZnSO_4$. По возрастанию сорбируемости в растворах с pH 5,4–5,7 металлы расположены в ряд: Cd, Zn, Ni, Cu. В [4] отмечается, что методы сорбции тяжелых металлов на ионообменных смолах широко используются в технологиях водоподготовки. В [5] констатируется, что кадмий находит применение в различных изделиях, например, он используется в производстве аккумуляторов и в различных технологиях, при этом образуются хлорсодержащие системы, в состав которых входит также

кадмий, в приводимом примере это $CdCl_2$, данные комплексы отличаются высокой стойкостью. Предлагается экстрагировать из этих систем кадмий с использованием гидрофобных никотинамидов, в данном случае это N,N-дигексилпиридин-3-карбоксамид (I). В приводимом примере содержание (I) составляло 1-50 ммоль и HCl 0,1-2,5 моль, в оптимальном варианте содержание Cd^{2+} в органической фазе достигало 640 мг/моль. В работе [6] предлагается метод осаждения кадмия, железа, урана, меди, хрома, никеля, цинка, кобальта, который состоит в том, что в воду дозируют органическое соединение никотинамидадениндинуклеотид в качестве донора электронов, при его участии сульфатредуцирующие бактерии восстанавливают сульфаты до сульфидов, далее в последовательности реакций происходит образование нерастворимых сульфидов металлов, например, это CdS. Сообщается об успешном применении метода. В лабораторных условиях [7] исследовалась возможность удаления из донных отложений (ДО) тяжелых металлов методом электролиза. Реальные ДО содержали медь, цинк, свинец и кадмий в концентрациях 634, 1192, 478 и 16,6 мг/кг сухой массы. В оптимальном варианте эффективность удаления по этим компонентам составила 88, 98, 94 и 99 % соответственно. В ходе экспериментов [8] исследовалась возможность сорбционного удаления ТМ (свинец 3,8-4,9 мг/л, кадмий 5,0-5,3 мг/л, цинк 47,5-49,1 мг/л, железо до 600 мг/л и кальций до 448 мг/л) из дренажных шахтных вод с использованием природных цеолитов (ЦЛ), обладавших ионообменными свойствами, этот выбор обусловлен в том числе устойчивостью ЦЛ в кислых средах, их разрушение наблюдается только при pH ниже 2. В лабораторных экспериментах при pH 2,24 и дозе ЦЛ 20 г/л (гранулят 1-2,5 мм) свинец удалялся полностью, с наименьшей эффективностью удалялось железо, присутствие ионов кальция ингибировало процессы сорбции ТМ. В [9] приведены результаты лабораторных экспериментов по удалению из СВ ионов кадмия путем перевода их в форму оксалата кадмия в ходе воздействия на модельные СВ щавелевой кислотой. Сообщается, что оксалат кадмия обладает чрезвычайно низкой растворимостью, в экспериментах содержание Cd^{2+} в СВ составляло 5-6 г/л, при дозе щавелевой кислоты, в 2 раза превышающей концентрацию насыщения, кадмий удалялся с эффективностью более 99 % при pH не ниже 4,5. В работе [10] сообщается, что при производстве сахара с использованием в качестве сырья сахарной свеклы на стадии варки пульпы выделялись СВ, содержавшие галактуроновую кислоту 20 %, соединения, включавшие карбоновые группы 0,466 мг/л, также тяжелые металлы. Для первичной обработки этих СВ применялся дешевый сорбент, изготовленный из отходов от производства сахара, основной целью являлось удаление тяжелых металлов. Установлено, что при сорбции тяжелых металлов их сорбство к сорбенту уменьшалось в следующем порядке: Pb^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , для приведенного порядка металлов сорбционная емкость сорбента изменялась от 0,202 до 0,356 ммоль/г. СВ с сорбентами находились в реакторе 1 л, включенном в контур циркуляции с мембраной для микрофльтрации, тяжелые металлы удалялись с эффективностью не ниже 90 %, кадмий и свинец на 100 % в течение 10 ч. Для удаления тяжелых металлов чаще всего применяются сорбенты, коммерческие марки которых имеют весьма высокую стоимость. В лабораторных экспериментах в качестве альтернативных сорбентов применялась зола от сжигания древесины (ЗД) и известь. Модельными ТМ являлись Cd, Cu, Pb и Zn в концентрациях от 25 до 1500 мг/л. Установлено, что ЗД как сорбент более эффективна, чем известь, с ее применением наиболее эффективно удаляется свинец (сорбционная емкость 101 мг Pb/г ЗД), затем следуют медь (6,92 мг/г), кадмий (5,03 мг/г) и цинк (4,12 мг/г). При дозе ЗД 20 г/л и содержании ТМ 100 мг/л эффективность их удаления составляла от 92 до 100 % [11]. В исследованиях [12] указывается, что при обработке осадков и СВ, содержащих тяжелые металлы, достаточно широко используются методы биосорбции, при которых удаление тяжелых металлов осуществляется аккумуляцией биомассой растений, при этом известны виды растений, способных к так называемой гипераккумуляции. Проблемой при этом является накопление биомассы, загрязненной тяжелыми металлами, в лабораторных экспериментах исследовалась возможность сжигания массы растений с переводом металлов в золу. Использовались растения 4 видов, определен вид, обладающий наибольшей эффективностью, при этом зола от его сжигания содержала цинк 9326 мг/кг сухой массы, свинец 18 мг/кг, кадмий 224 мг/кг и т. д.

Таким образом, исследования по удалению из сточных вод таких токсичных металлов, как кадмий, свинец, медь и др., ведутся

в следующих направлениях: разработка новых композиционных сорбентов, совершенствовании ионообменной очистки, осаждение, например, в виде сульфидов или оксалатов, сорбция золой от сжигания древесины, биосорбция растениями [3-12]. В работах [13-31] приведены результаты исследований по очистке сточных вод от ионов тяжелых металлов путем использования модификаций природного торфа.

Обзор литературных данных позволяет сделать вывод о том, что разработка усовершенствованных технологий сорбционной очистки сточных вод с использованием торфа является весьма перспективным направлением. В литературе отсутствуют достаточно полные данные об использовании брикетированного торфа в качестве сорбента таких токсичных металлов как кадмий, свинец, медь. В Республике Беларусь имеются значительные запасы торфа, масштабные производства торфобрикетов, это создает реальные предпосылки для выпуска дешевых, экологически безопасных сорбентов на основе модифицированного брикетированного торфа. Настоящая работа посвящена разработке технологии очистки производственных сточных вод ионов кадмия, свинца и меди гранулированным брикетированным торфом.

Экспериментальная часть

Материалы и методы исследований

В процессе исследований использовались физико-химические, технологические, математические методы. Эксперименты производились с использованием торфобрикетов производства торфобрикетного завода "Гатча-Осовское", расположенного в Жабинковском районе Брестской области. Брикет механическим способом гранулировали, затем рассеивали через набор сит калибром 1,00-2,00-3,25-3,75-4,50-5,50 мм. В результате были получены образцы крупностью < 1 мм, 1,00-2,00 мм, 2,00-3,25 мм, 3,25-3,75 мм, 3,75-4,50 мм, 4,50-5,50 мм. Исследовалось сорбция ионов кадмия Cd^{2+} , свинца Pb^{2+} , меди Cu^{2+} . В стакан помещали 100 мл раствора и добавляли 10 г гранул торфа. Затем суспензию перемешивали с помощью механических мешалок в течении 3, 5, 10, 20, 40, 60 минут. Растворы фильтровали через бумажный фильтр и определяли остаточное содержание ионов кадмия Cd^{2+} , свинца Pb^{2+} , меди Cu^{2+} . Анализ пробы модельного раствора на содержание Cd^{2+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} выполняли с помощью анализатора вольтамперометрического АВА-3 (рисунок 1). На рисунке 2 приведен пример анодных вольтамперных кривых, зарегистрированных на индикаторном электроде при анализе пробы модельного раствора на содержание Cd^{2+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} .

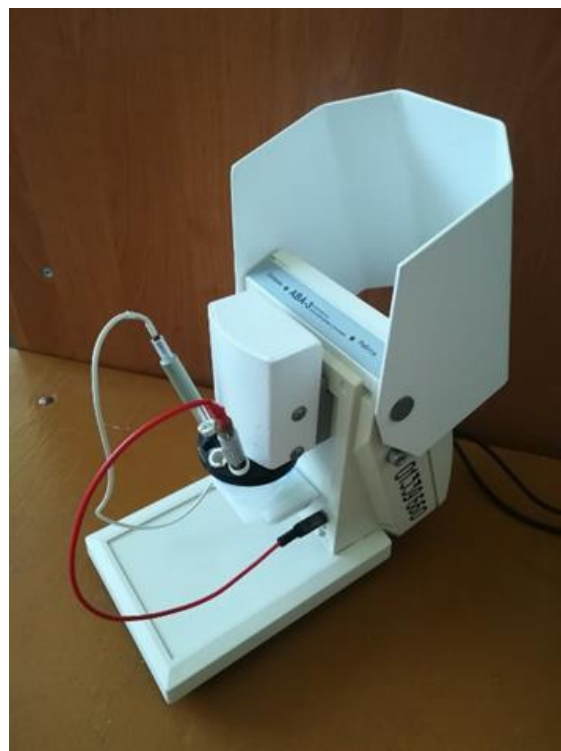
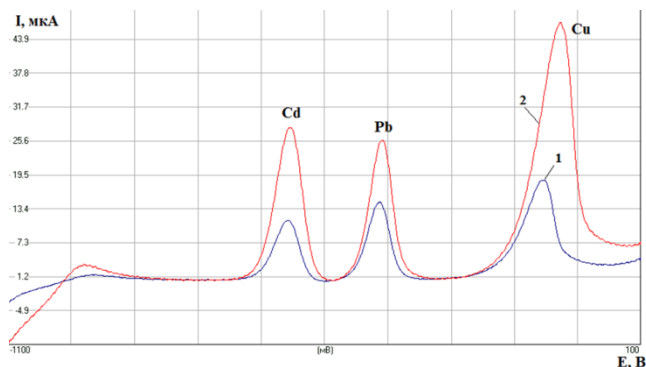


Рисунок 1 – Анализатор вольтамперометрический АВА-3



1 – пробы модельного раствора и фонового электролита (фон хлоридный), 2 – пробы модельного раствора с добавкой стандартного раствора, содержащего 2мг/дм3 Cd+2, Pb+2, Cu+2 и фонового электролита

Рисунок 2 – Анодные вольтамперные кривые разности

Результаты и их обсуждение

Эффект очистки воды от ионов Cd²⁺, Pb²⁺, Cu²⁺ рассчитывался по формуле:

$$\Xi = ((C_1 - C_2) / C_1) \cdot 100, \% \quad (1)$$

где C₁, C₂ – соответственно массовая концентрация ионов до и после опыта.



Рисунок 3 – Зависимость эффекта сорбции ионов Cd²⁺ от продолжительности контакта, мин



Рисунок 4 – Зависимость эффекта сорбции ионов Pb²⁺ от продолжительности контакта

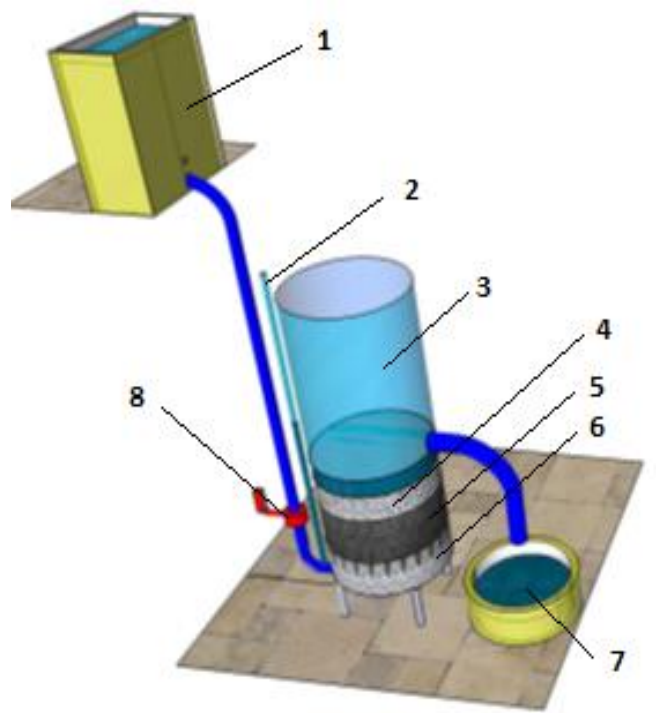


Рисунок 5 – Зависимость эффекта сорбции ионов Cu²⁺ от продолжительности контакта

Наиболее эффективно процесс сорбции ионов брикетированным торфом протекает в течении 5 минут контакта, затем он замедляется. В течении 5 минут удаляется до 91 % ионов Cd²⁺, 98 % ионов Pb²⁺, 90 % ионов меди Cu²⁺ (рис. 3, 4, 5) [31]. Исследования сорбции ионов в процессе динамического фильтрования выполнялись на установке, состоящей из емкости с имитатором сточной воды, пьезометра, фильтровальной колонки, верхнего слоя щебня, гранул торфобрикета, нижний слой гравия, приемной емкости, крана для регулировки расхода (рисунки 6, 7).

Имитатор сточной воды готовился на водопроводной воде путем добавления солей. Содержаний ионов определялось с помощью анализатора АВА-3. Скорость фильтрования (время пребывания) имитатора в загрузке фильтра регулировалось краном. Для измерения потерь напора в загрузке использовался пьезометр. На основании проведенных исследований разработана технология очистки воды от ионов кадмия, свинца, меди, включающая следующие операции (рисунок 8):

1. Грануляция торфобрикетов:
 - измельчение в молотковой дробилке;
 - рассевание на фракции во вращающихся барабанных ситах.
2. Подготовка фильтрующих кассет:
 - загрузка гранул в кассеты (фильтрующие мешки, помещенные в сетчатые цилиндры);
 - замачивание кассет.
3. Загрузка кассет в фильтры.
4. Фильтр-цикл до достижения в фильтрате ПДК, установленной для извлекаемого иона.
5. Извлечение кассет из фильтров, транспортировка на площадки для подсушивания.
6. Сжигание торфа (способ сжигания должен исключать улетучивание извлеченных загрязнений).
7. Утилизация золы с извлечением металлов.



1 – емкость с имитатором сточной воды; 2 – пьезометр; 3 – фильтровальная колонка; 4 – верхний слой щебня; 5 – гранулы торфобрикета; 6 – нижний слой гравия; 7 – приемная емкость; 8 – кран для регулировки расхода

Рисунок 6 – Схема установки для исследования сорбционной емкости брикетированного торфа в динамических условиях



Рисунок 7 – Общий вид установки для исследования сорбционной емкости брикетированного торфа в динамических условиях

Заключение

Проведенные исследования процессов сорбции брикетированным торфом ионов кадмия Cd^{+2} , свинца Pb^{+2} и меди Cu^{+2} позволили установить следующее:

1. Эффективность сорбции снижается с увеличением крупности зерен брикетированного торфа.
2. Сорбционная емкость при насыщении составляет:
 - по Cd^{+2} – 0,0778 мМоль/г (8,75 мг/г);
 - по Pb^{+2} – 0,8205 мМоль/г (170,00 мг/г);
 - по Cu^{+2} – 2,707 мМоль/г (172 мг/г).
3. Полученные результаты исследований свидетельствуют о возможности использования брикетированного торфа в качестве эффективного сорбента для очистки сточных вод от ионов Cd^{+2} , Pb^{+2} и Cu^{+2} .
4. На основании проведенных исследований разработана технология очистки воды от ионов кадмия, свинца, меди гранулами из брикетированного торфа.

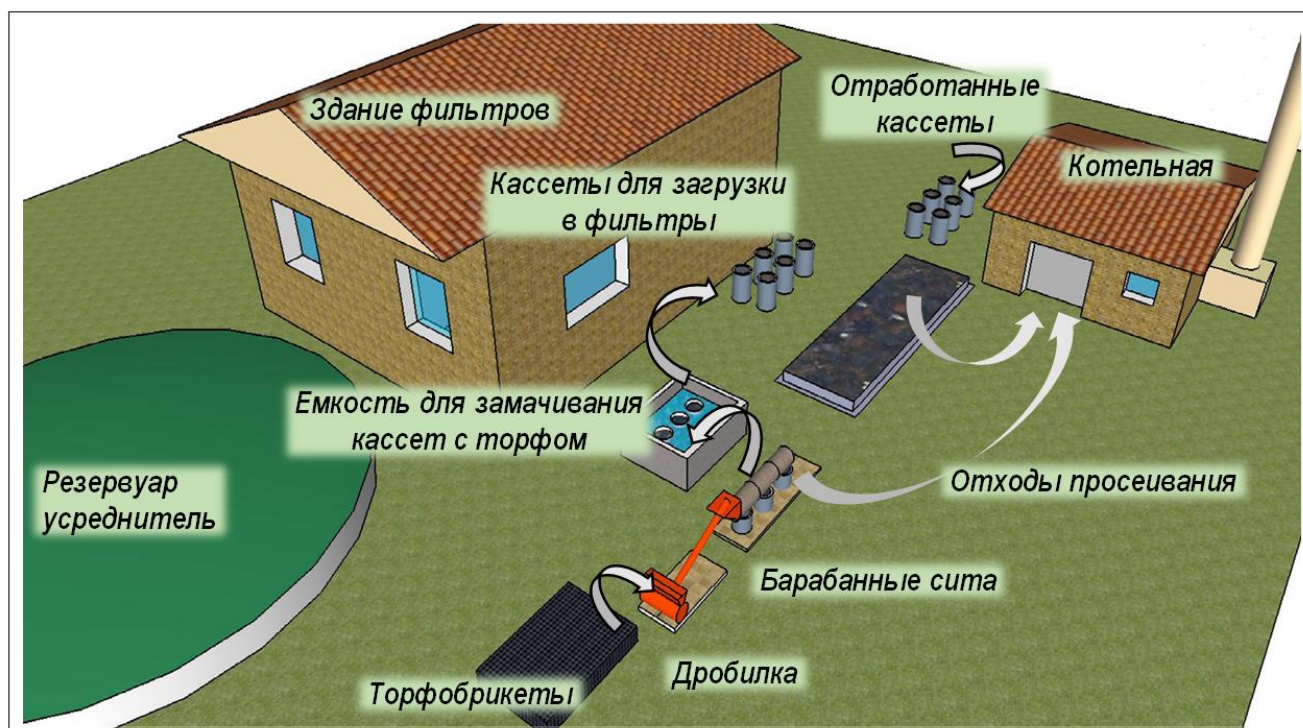


Рисунок 8 – Технология очистки воды от ионов кадмия, свинца, меди гранулами из брикетированного торфа

Список цитированных источников

1. <https://fb.ru/article/272329/kadmiy-vliyanie-na-organizm-cheloveka-otравlenie-tyajelyimi-metallami>, дата доступа 16.04.2020.
2. info@kr-company.ru, дата доступа 14.04.2021
3. Использование композиционного сорбента для извлечения из водных растворов меди, никеля, цинка, кадмия / В. Ф. Марков [и др.] // Экологические проблемы промышленных регионов: материалы VII Всероссийской научно-практической конференции, Екатеринбург, 2006. – Екатеринбург: АМБ, 2006. – С. 224.
4. Silva, D. L. Десорбция тяжелых металлов из ионообменной смолы с использованием воды и диоксида углерода. Desorption of heavy metals from ion exchange resin with water and carbon dioxide / D. L. Silva, G. Brunner // Braz. J. Chem. Eng. – 2006. – V. 23, N 2. – С. 213–218.
5. M. Tomaszewska, A. Jeschke, A. Borowiak-Resterna, R. Cierpiszewski, K. Prochaska. Экстракция Cd(II) из хлорсодержащих систем с использованием гидрофобных никотинамидов. Studies on the rate of extraction of Cd(II) from chlorides systems with hydrophobic nicotinamide derivatives / M. Tomaszewska // Przem. chem. – 2006. – V. 85, N 8–9. – С. 668–670.
6. Удаление из воды тяжелых металлов / In situ immobilization of metals within density variant bodies of water. – Пат. 7011756 США, МПК⁸ C 02 F 1/62, C 02 F 3/28. Harrington Joseph G. N 10/398703; Заявл. 03.10.2001; Оpubл. 14.03.2006; НПК 210/603. Англ.
7. Удаление тяжелых металлов из донных отложений. Electrolytic removal of Cu, Zn, Pb, and Cd from harbor sediment: influence of changing experimental conditions // Environ. Sci. and Technol. – 2005. – V. 39, N 8. – С. 2906–2911.
8. Gavris, G. Процесс очистки сточных вод с удалением ионов кадмия. Study of the cleaning process with cadmium ions from residual waters / G. Gavris, G. Burtica, A. Iovi // Bul. sti. Univ. "Politehn." Timisoara. Ser. Chim. si ing. med. – 2005. – V. 50, N 1–2. – С. 163–165.
9. Gavris, G. Процесс очистки сточных вод с удалением ионов кадмия. Study of the cleaning process with cadmium ions from residual waters / G. Gavris, G. Burtica, A. Iovi // Bul. sti. Univ. "Politehn." Timisoara. Ser. Chim. si ing. med. – 2005. – V. 50, N 1–2. – С. 163–165.
10. Reddad, Z. Очистка сточных вод от производства сахара. Valorisation d'un sous-produit de l'industrie sucriere: mise en uvre dans un procede de traitement d'eaux usees industrielles / Z. Reddad, C. Gerente, Y. Andres, P. Le Cloirec // Dechets: sci. et techn. – 2005, N 39, С. 9–14.
11. Chirenje, T. Удаление из сточных вод кадмия, меди, свинца и цинка. Retention of Cd, Cu, Pb and Zn by wool ash, lime and fume dust / T. Chirenje, Q. Ma Lena, L. Lu // Water, Air, and Soil Pollut. – 2006. – V. 171, N 1–4. С. 301–314.
12. Лиштван, И. И. Очистка сточных вод от металлов-экоотоксикантов торфяными препаратами / И. И. Лиштван [и др.] // Химия и технол. воды. – 2007. – V. 29, N 1. – С. 67–74.
13. Богуш, А. А. Применение природных материалов для очистки техногенных вод / А. А. Богуш [и др.] // Экол. пром. пр-ва. – 2007, N 2. – С. 63–69.
14. Богуш, А. А. Применение торфо-гуминовых веществ для снижения техногенного влияния отходов на окружающую среду / А. А. Богуш, А. Н. Трофимов // Хим. пром-сть. – 2005. – V. 82, N 3, – С. 153–158.
15. Арканова, И. А. Новые фильтрующие материалы для очистки природных вод / И. А. Арканова, Д. М. Китаев, Ю. Д. Луценко // Материалы 46 Международной научно-технической конференции "Достижения науки - агропромышленному производству", Челябинск, 2007. Челябинск: Челяб. гос. агроинж. ун-т, 2007. – Ч. 3. – С. 164–169.
16. Ulmanu, M. Удаление хрома(VI), кадмия и свинца из водных растворов сорбцией торфом. Batch chromium(VI), cadmium(II) and lead(II) removal from aqueous solutions by horticultural peat / M. Ulmanu, I. Anger, Y. Fernandez, L. Castrillon, E. Maranon // Water, Air, and Soil Pollut. – 2008. – V. 194, N 1–4. – С. 209–216.
17. Косов, В. И. Сорбционно-фильтровальная нагрузка для очистки воды и способ ее производства / В. И. Косов, Э. В. Баженова. – Пат. 2174439 Россия, МПК⁷ В 01J 20/28, 20/24, 20/30. Твер. гос. техн. ун-т. N 2000116957/12; Заявл. 26.06.2000; Оpubл. 10.10.2001.
18. Косов, В. И. Исследования сорбентов на природной основе для очистки промстоков от цинка / В. И. Косов, Э. В. Баженова // Международная научно-практическая конференция "Проблемы инженерного обеспечения и экологии городов, Пенза, дек., 1999: Сборник материалов. – Пенза: Приволж. дома знаний, 1999. – С. 130–133.
19. Косов, В. И. Очистка промстоков от ионов цинка с применением гранулированного торфа / В. И. Косов, Э. В. Баженова, Ф. Ф. Чаусов // Хим. и нефтегаз. машиностр. – 2001, N 7. – С. 38–40.
20. Янг-Тсе Ханг, Ло Говард Г. Очистка сточных вод производства по переработке картофеля с использованием адсорбции торфом и глиной и биопрепаратов / Янг-Тсе Ханг, Ло Говард Г. // Исследование проблем водоснабжения, водоотведения и подготовки специалистов: Межвузовский сборник научных трудов. Казан. гос. архит.-строит. акад. – Казань: Изд-во КГАСА, 1999. – С. 129–132.
21. Способ приготовления сорбента для очистки сточных вод / Method of processing peat for use in contaminated water treatment. Пат. 6429171 США, МПК⁷ В 01 J 20/22. Environmental Filtration, Inc., Clemenson Lyle J. N 09/514197; Заявл. 25.02.2000; Оpubл. 06.08.2002; НПК 502/404. Англ. US
22. Sun Qing-ye. Удаление хрома из водных растворов модифицированным торфом / Sun Qing-ye, Yang Lin-zhang // Chengshi huanjing yu chengshi shengtai=Urban Environ. and Urban Ecol. 2002. – V.15, N 3. – С. 5–8
23. Баженова, Э. В. Экспериментальное обоснование способов очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов торфяными модификациями: автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук / Э. В. Баженова; Твер. гос. техн. ун-т. – Тверь, 2002. – 22 с.
24. Перспективы использования торфа для решения комплексной проблемы охраны окружающей среды. Физика и химия торфа в решении проблем экологии: Тезисы докладов Международного симпозиума, Минск, 3–7 нояб., 2002 / А. Томсон [и др.]. – Минск: Тонлик, 2002. – С. 158–160.
25. зованием природных материалов и отходов производства / Е. И. Вялкова, А. А. Большаков // Актуальные проблемы современного строительства: сборник научных трудов 32 Всероссийской научно-технической конференции, Пенза, 25–27 марта, 2003. – Пенза: Изд-во ПГАСА, 2003. – Ч. 1 : Строительные материалы и изделия. – С. 194–198.
26. Ma, W. Удаление из сточных вод тяжелых металлов методом биосорбции. Development of multimetal binding model and application to binary metal biosorption onto peat biomass / W. Ma, J. M. Tobin // Water Res. – 2003. – V. 37, N 16. – С. 3967–3977.
27. Ho Y. S., McKay G. Сорбция Cu(2+) из водных растворов торфом. Sorption of copper (II) from aqueous solution by peat. Water, Air, and Soil Pollut. 2004. 158, N 1–4, с. 77–97. Библ. 62. Англ. NL. ISSN 0049-6979
28. Sun, Q. Y. Адсорбция свинца и меди из водных растворов модифицированным торфом. The adsorption of lead and copper from aqueous solution on modified peat-resin particles / Q. Y. Sun, P. Lu, L. Z. Yang // Environ. Geochem. and Health. – 2004. – V. 26, N 2. – С. 311–317.
29. Дремичева, Е. С. Изучение кинетики сорбции на торфе ионов железа(III) и меди(II) из сточных вод / Е. С. Дремичева // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2. Химия. – 2017. – Т. 58. – № 4.
30. Житенёв, Б. Н. Исследование сорбционных свойств брикетированного торфа для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов / Б. Н. Житенёв, Д. Д. Сенчук // Вестник БрГТУ. – 2019. – № 2 (104) : Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, геоэкология. – С. 61–65.
31. Житенев, Б. Н. Исследование сорбционных свойств брикетированного торфа для очистки сточных вод от ионов кадмия, свинца и меди / Б. Н. Житенев, А. Д. Гуринович, Д. Д. Сенчук // Вестник МГСУ. – 2020. – Т. 15, Вып. 11. – С. 1534–1545.

References

1. <https://fb.ru/article/272329/kadmiy-vliyanie-na-organizm-cheloveka-otравlenie-tyajelyimi-metallami>, data dostupa 16.04.2020.
2. info@kr-company.ru, data dostupa 14.04.2021
3. Ispol'zovanie kompozitsionnogo sorbenta dlya izvlecheniya iz vodnyh rastvorov medi, nikelya, cinka, kadmiya / V. F. Markov [i dr.] // Ekologicheskie problemy promyshlennyh regionov: materialy VII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferen-cii, Ekaterinburg, 2006. – Ekaterinburg: AMB, 2006. – S. 224.

4. Silva, D. L. Desorbciya tyazhelyh metallov iz ionoobmennoj smoly s ispol'zovaniem vody i dioksida ugleroda. Desorption of heavy metals from ion exchange resin with water and carbon dioxide / D. L. Silva, G. Brunner // Braz. J. Chem. Eng. – 2006. – V. 23, N 2. – С. 213–218.
5. M. Tomaszewska, A. Jeschke, A. Borowiak-Resterna, R. Cierpiszewski, K. Prochaska. Ekstrakciya Cd(II) iz hlorsoderzhashchih sistem s ispol'zovaniem gidrofobnyh nikotinamidov. Studies on the rate of extraction of Cd(II) from chloride systems with hydrophobic nicotinamide derivatives / M. Tomaszewska // Przem. chem. – 2006. – V. 85, N 8–9. – С. 668–670.
6. Udalenie iz vody tyazhelyh metallov / In situ immobilization of metals within density variant bodies of water. – Pat. 7011756 SSHA, MPK 8 C 02 F 1/62, C 02 F 3/28. Harrington Joseph G. N 10/398703; Zayavl. 03.10.2001; Opubl. 14.03.2006; NPK 210/603. Angl.
7. Udalenie tyazhelyh metallov iz donnyh otlozhenij. Electrolytic removal of Cu, Zn, Pb, and Cd from harbor sediment: influence of changing experimental conditions // Environ. Sci. and Technol. – 2005. – V. 39, N 8. – С. 2906–2911.
8. Gavis, G. Process ochistki stochnyh vod s udalением ионов кадмия. Study of the cleaning process with cadmium ions from residual waters / G. Gavis, G. Burtica, A. Iovi // Bul. sti. Univ. "Politehn." Timisoara. Ser. Chim. si ing. med. – 2005. – V. 50, N 1–2. – С. 163–165.
9. Gavis, G. Process ochistki stochnyh vod s udalением ионов кадмия. Study of the cleaning process with cadmium ions from residual waters / G. Gavis, G. Burtica, A. Iovi // Bul. sti. Univ. "Politehn." Timisoara. Ser. Chim. si ing. med. – 2005. – V. 50, N 1–2. – С. 163–165.
10. Reddad, Z. Ochistka stochnyh vod ot proizvodstva sahara. Valorisation d'un sous-produit de l'industrie sucriere: mise en uvre dans un procede de traitement d'eaux usees industrielles / Z. Reddad, C. Gerente, Y. Andres, P. Le Cloirec // Dechets: sci. et techn. – 2005, N 39, S. 9–14.
11. Chirenje, T. Udalenie iz stochnyh vod кадмия, меди, свинца и цинка. Retention of Cd, Cu, Pb and Zn by wool ash, lime and fume dust / T. Chirenje, Q. Ma Lena, L. Lu // Water, Air, and Soil Pollut. – 2006. – V. 171, N 1–4. С. 301–314.
12. Lishtvan, I. I. Ochistka stochnyh vod ot metallov-ekotoksikantov torfyanyimi preparatami / I. I. Lishtvan [i dr.] // Himiya i tekhnol. vody. – 2007. – V. 29, N 1. – С. 67–74.
13. Bogush, A. A. Primenenie prirodnyh materialov dlya ochistki tekhnogenykh vod / A. A. Bogush [i dr.] // Ekol. prom. pr-va. – 2007, N 2. – С. 63–69.
14. Bogush, A. A. Primenenie torfo-guminovykh veshchestv dlya snizheniya tekhnogenogo vliyaniya othodov na okruzhayushchuyu sredu / A. A. Bogush, A. N. Trofimov // Him. prom-st. – 2005. – V. 82, N 3. – С. 153–158.
15. Arkanova, I. A. Novye fil'truyushchie materialy dlya ochistki prirodnyh vod / I. A. Arkanova, D. M. Kitaev, YU. D. Lucenko // Materialy 46 Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii "Dostizheniya nauki - agropromyshlennomu proizvodstvu", CHelyabinsk, 2007. CHelyabinsk: CHelyab. gos. agroinzh. un-t, 2007. – CH. 3. – С. 164–169.
16. Ulmanu, M. Udalenie hroma(VI), кадмия и свинца из водных растворов сорбцией торфом. Batch chromium(VI), cadmium(II) and lead(II) removal from aqueous solutions by horticultural peat / M. Ulmanu, I. Anger, Y. Fernandez, L. Castrillon, E. Maranon // Water, Air, and Soil Pollut. – 2008. – V. 194, N 1–4. – С. 209–216.
17. Kosov, V. I. Sorbcionno-fil'troval'naya zagruzka dlya ochistki vody i sposob ee proizvodstva / V. I. Kosov, E. V. Bazhenova. – Pat. 2174439 Rossiya, MPK 7 B 01J 20/28, 20/24, 20/30. Tver. gos. tekhn. un-t. N 2000116957/12; Zayavl. 26.06.2000; Opubl. 10.10.2001.
18. Kosov, V. I. Issledovaniya sorbentov na prirodnoj osnove dlya ochistki promstokov ot цинка / V. I. Kosov, E. V. Bazhenova // Mezhdunarodnaya nauchno- prakticheskaya konferenciya "Problemy inzhenerenogo obespecheniya i ekologii gorodov, Penza, dek., 1999: Sbornik materialov. – Penza: Privolzh. doma znaniy, 1999. – С. 130–133.
19. Kosov, V. I. Ochistka promstokov ot ионов цинка s primenением гранулированного торфа / V. I. Kosov, E. V. Bazhenova*, F. F. CHausov // Him. i neftegaz. mashinostr. – 2001, N 7. – С. 38–40.
20. Yang-Tse Hang, Lo Govard G. Ochistka stochnyh vod proizvodstva po pererabotke kartofelya s ispol'zovaniem adsorbции торфом и глиной i biopreparatov / Yang-Tse Hang, Lo Govard G. // Issledovanie problem vodosnabzheniya, vodootvedeniya i podgotovki specialistov: Mezhvuzovskij sbornik nauchnyh trudov. Kazan. gos. arhit.-stroit. akad. – Kazan': Izd-vo KGASA, 1999. – С. 129–132.
21. Sposob prigotovleniya sorbenta dlya ochistki stochnyh vod / Method of processing peat for use in contaminated water treatment. Pat. 6429171 SSHA, MPK 7 B 01 J 20/22. Environmental Filtration, Inc., Clemenson Lyle J. N 09/514197; Zayavl. 25.02.2000; Opubl. 06.08.2002; NPK 502/404. Angl. US
22. Sun Qing-ye. Udalenie hroma iz vodnyh rastvorov modifitsirovannym торфом / Sun Qing-ye, Yang Lin-zhang // Chengshi huanjing yu chengshi shengtai=Urban Environ. and Urban Ecol. 2002. – V.15, N 3. – С. 5–8
23. Bazhenova, E. V. Eksperimental'noe obosnovanie sposobov ochistki stochnyh vod ot ионов tyazhelyh metallov torfyanyimi modifikაციyami: avtoref. dis. na soisk. uch. step. kand. tekhn. nauk / E. V. Bazhenova; Tver. gos. tekhn. un-t. – Tver', 2002. – 22 s.
24. Perspektivy ispol'zovaniya torfa dlya resheniya kompleksnoj problemy ohrana okruzhayushchej sredy. Fizika i himiya torfa v reshenii problem ekologii: Tezisy dokladov Mezhdunarodnogo simpoziuma, Minsk, 3–7 noyab., 2002 / A. Tomson [i dr.]. – Minsk: Tonpik, 2002. – С. 158–160.
25. zovaniem prirodnyh materialov i othodov proizvodstva / E. I. Vyalkova, A. A. Bol'shakov // Aktual'nye problemy sovremennoy stroitel'stva: sbornik nauchnyh trudov 32 Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferencii, Penza, 25–27 marta, 2003. – Penza: Izd-vo PGASA, 2003. – CH. 1 : Stroitel'nye materialy i izdeliya. – С. 194–198.
26. Ma, W. Udalenie iz stochnyh vod tyazhelyh metallov metodom biosorbции. Development of multimetal binding model and application to binary metal biosorption onto peat biomass / W. Ma, J. M. Tobin // Water Res. – 2003. – V. 37, N 16. – С. 3967–3977.
27. Ho Y. S., McKay G. Sorbciya Cu(2+) iz vodnyh rastvorov торфом. Sorption of copper (II) from aqueous solution by peat. Water, Air, and Soil Pollut. 2004. 158, N 1–4, s. 77–97. Bibl. 62. Angl. NL. ISSN 0049-6979
28. Sun, Q. Y. Adsorbciya свинца и меди из водных растворов modifitsirovannym торфом. The adsorption of lead and copper from aqueous solution on modified peat-resin particles / Q. Y. Sun, P. Lu, L. Z. Yang // Environ. Geochem. and Health. – 2004. – V. 26, N 2. – С. 311–317.
29. Dremicheva, E. S. Izuchenie kinetiki sorbции на торфе ионов железа(III) и меди(II) из сточных вод / E. S. Dremicheva // Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 2. Himiya. – 2017. – T. 58. – № 4.
30. Zhitenyov, B. N. Issledovanie sorbcionnykh svoystv briketirovannogo torfa dlya ochistki stochnyh vod ot ионов tyazhelyh metallov / B. N. Zhitenyov, D. D. Senchuk // Vestnik BrGTU. – 2019. – № 2 (104) : Vodohozyajstvennoe stroitel'stvo, teploenergetika, geoekologiya. – С. 61–65.
31. Zhitenyov, B. N. Issledovanie sorbcionnykh svoystv briketirovannogo torfa dlya ochistki stochnyh vod ot ионов кадмия, свинца и меди / B. N. Zhitenyov, A. D. Gurinovich, D. D. Senchuk // Vestnik MGSU. – 2020. – T. 15, Vyp. 11. – С. 1534–1545.

Материал поступил в редакцию 26.01.2022