Заключение. Анализы структурных изменений смеси транспортируемых газов показывают, что компонентный состав углеводородного газа может служить диагностирующим признаком образования жидких фаз, изменения исходного содержания компонентов в смеси в условиях промышленного сбора и транспортировки природных и попутных газов, а также их смесей. Неаддитивный характер процессов, происходящих при смещении природных и попутных газов, можно объяснить выделением жидкой фазы и возникновением ретроградных явлений в трубопроводе. Характеристикой обратного испарения в трубопроводе является возрастание значений ранга, а снижение ранга является показателем обратной конденсации, т. е. накоплении жидкой фазы в трубопроводе.

Таким образом, проведенными исследованиями обоснована методика диагностирования технологического состояния трубопроводов, при помощи которой возможно диагностировать внутреннее состояние трубопроводов при перекачке смесей природных и

попутных газов косвенным путем - по компонентному составу газа.

Литература

1. Гриченко А.И. Исследование влияния воды на фазовые превращения газоконденсатных смесей. Газовое дело, 1964, №4 с.3-11.
2. Мирзаджанзаде А.Х., Аметов И.М., Басниев К.С. и др. Технология добычи природных газов, М. Недра, 1987, 414 с.
3. Влияние обводнения многопластовых газовых и газоконденсатных месторождений на их разработку / Г.В.Рассохин, И.А.Леонтьев, В.И.Петренко и др., М.Недра, 1973, 262с.
4. Исмаилов К.К. Диагностирование режимов работы нефтяного пласта по компонентному составу газа. Изв. ВУЗов «Нефть и газ», 1982, №6, с. 80-81.
5. Исмаилов К.К. О корреляции между режимом залежи и составом добываемого газа. Материалы III Всесоюзной науч. конф. и Применение вероятно-статистических методов в бурении нефтедобыче. Баку, 1981, С.65.

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ С ПОМОЩЬЮ СОРБЕНТОВ.

Петухова Ю.Н.

студентка 4 курса

кафедры мембранной технологии факультета инженерной химии,
Российский Химико-Технологический университет
им. Д.И. Менделеева, Российская Федерация

Ильина С.И.

доцент кафедры процессов и аппаратов химической технологии,
доцент кафедры мембранной технологии,
кандидат технических наук,

Российский Химико-Технологический университет
им. Д.И. Менделеева, Российская Федерация

Фурсенко А.В.

выпускница кафедры
мембранной технологии факультета инженерной химии,
Российский Химико-Технологический университет
им. Д.И. Менделеева, Российская Федерация

Носырев М.А.

доцент кафедры процессов и аппаратов химической технологии,
кандидат технических наук

Российский Химико-Технологический университет
им. Д.И. Менделеева, Российская Федерация

DOI: [10.31618/ESU.2413-9335.2019.6.64.254](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2019.6.64.254)

АННОТАЦИЯ

В работе проведен краткий обзор применения сорбентов из вторичного сырья для извлечения ионов тяжелых металлов из сточных вод. Приведена сравнительная характеристика целлюлозосодержащих сорбентов по сравнению с активированным углем и катионообменными смолами.

ABSTRACT

The paper provides a brief overview of the use of sorbents from secondary raw materials for the extraction of heavy metal ions from wastewater. The comparative characteristic of cellulose sorbents in comparison with activated carbon and cation exchange resins is given.

Ключевые слова: сточные воды, сорбенты, биополимеры

Key words: waste water, sorbents, biopolymers

В настоящее время одной из важных проблем является утилизация отходов. Причем этот вопрос

требует решения во всех отраслях народного хозяйства.

Деятельность многих промышленных предприятий часто приводит к загрязнению окружающей среды сточными водами, содержащие в своём составе вредные вещества, оказывающие и в небольших количествах довольно серьёзное негативное воздействие на здоровье человека и состояние биосферы в целом [1].

Весьма опасными токсинами в сточной воде считаются ионы тяжелых металлов (ИТМ), а также их соединения [2, 3]. Они содержатся в сточных водах гальванических цехов, предприятий машиностроения и металлообработки, рудного и шахтного производства, чёрной и цветной металлургии, химической и нефтехимической промышленности и других отраслей [4].

Вред тяжёлых металлов для живого организма обусловлен их способностью к биоаккумуляции и концентрированию при движении по трофической цепи, что приводит к нарушению функционирования систем органов. Сложность удаления из организма ИТМ вызвано тем, что они образуют прочные связи с белками и другими компонентами клеточных структур [5]. В связи с этим очистка сточных вод промышленных предприятий должна осуществляться до практически полного удаления тяжелых металлов. Но используя лишь традиционные методы этого сложно достичь.

Одним из распространённых способов очистки сточных вод от ИТМ являются сорбционные и ионообменные методы. В связи с этим возрастает необходимость получения более дешёвых сорбентов с улучшенными физико-химическими и эксплуатационными характеристиками. В основном, сорбенты, используемые в промышленности, разрабатываются на основе активных углей. Также интерес представляют сорбенты, изготовленные из вторсырья. Такие материалы могут решить помимо

проблемы очистки воды и другую задачу, а именно, утилизацию отходов [7].

Создание достаточно эффективных и безопасных с экологической точки зрения сорбентов и технологий осуществимо за счет образования на полисахаридных полимерах новых функциональных групп, прочно связывающих ионы тяжелых металлов [8]. Подобным образом получают так называемые биополимерные сорбенты. Сырьё, применяемое для сорбции ИТМ, представлено неограниченным набором различных материалов растительного происхождения – шишками, опилками, листьями, семенами, плодами и стеблями различных растений, корой лиственных и хвойных пород деревьев, жмыхами и шротами, скорлупой орехов, шелухой, свекловичным жомом, кожурой фруктов, соломой, травянистыми и водными растениями, торфом. А также илом, морскими водорослями, биомассой бактерий, дрожжей; грибов, и др. [9-11]. Здесь стоит отметить, что важным направлением создания биополимерных сорбентов представляется модифицирование структуры природного целлюлозосодержащего сырья, вызывающее иммобилизацию на целлюлозной матрице новых сорбционно-активных центров, являющихся фрагментами комплексонов. Это повышает их селективность, сорбционную емкость и уменьшает время сорбции [8].

При этом некоторые целлюлозосодержащие сорбенты обладают сравнительно низкой емкостью по отношению к ИТМ, другие же по своим свойствам вполне могут быть сопоставимы или даже превосходить применяемые в промышленности ионообменные смолы. Значения величин сорбционной емкости различных целлюлозосодержащих растительных сорбентов в сравнении с величинами сорбционной емкости активированного угля и некоторых ионообменных смол приведены в таблице 1.

Таблица 1

**АДСОРБЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩИХ СОРБЕНТОВ ПО
СРАВНЕНИЮ С АКТИВИРОВАННЫМ УГЛЕМ (АУ) И КАТИОНООБМЕННЫМИ СМОЛАМИ
[12].**

Адсорбент	Адсорбционная способность, мг/г						
	Pb ²⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Cd ²⁺	Ni ²⁺	Hg ²⁺	Cr ⁶⁺
Гранулированный АУ	16,58	5,08	-	3,37	-	-	-
Порошкообразный АУ	26,94	4,45	-	3,37	-	-	-
Волокна АУ	30,46	11,05	-	-	-	-	-
Скорлупа арахиса	30,04	8,00	8,96	5,96	-	-	-
Кукурузные кочерыжки	8,29	7,62	1,96	8,89	13,5	-	-
Кукурузный крахмал	28,8	8,57	6,87	8,88	-	-	-
Кора сосны	-	9,46	-	14,16	6,28	-	-
Кора черного дуба	-	-	-	29,9	-	-	-
Лигнин	1865	-	95	-	-	-	-
Кора	182	-	-	32	-	400	-
Ксантан	18	-	-	33,27	-	1,15	-
Листовой перегной	-	-	-	-	-	-	43
Опилки	-	-	-	-	-	-	16,05
Хлопок	-	-	-	-	-	1000	-
Дуолит GT-73	122,25	61,60	55,59	105,66	56,94	-	-
Амберлит IRC-718	290,08	127,00	156,96	258,32	-	-	-
Амберлит 200	352,24	88,90	85,60	224,8	129,1	-	-
Леватит TP 207	198,9	85,09	89,60	49,46	88,05	-	-

Как отмечалось ранее, для улучшения сорбционных свойств вторичное сырье подвергают обработке. В работе [13] показана возможность извлечения ионов тяжелых металлов с помощью сульфокатионитов на основе хлопка (Х), пшеничной соломы (С) и камыша (К). Их получают в две стадии. Исходное сырьё без предварительной активации сульфировали концентрированной серной кислотой при комнатной температуре в течении 1 часа при массовом соотношении растительного сырья к H₂SO₄, равном 1:9. Затем, варьируя соотношения реагентов, температуру и продолжительность процесса, проводили

химическое модифицирование сульфированного продукта глицидилметакрилатом (ГМА). В результате чего были синтезированы иониты сетчатого строения КС-ГМА-Х, КС-ГМА-С и КС-ГМА-К. При сравнении результатов с данными по сорбции ионов тяжелых металлов (таблица 2) было установлено, что сульфокатионит на основе пшеничной соломы обладает высокими сорбционными и кинетическими свойствами по отношению к ионам Со(II), а катионообменник, синтезированный из камыша, - к ионам Со(II) и Zn(II).

Таблица 2

**СОРБЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУЛЬФОКАТИОНИТОВ НА ОСНОВЕ
РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ И ГМА ПО ОТНОШЕНИЮ К ИОНАМ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ
[13].**

Катионит	СЕ, мг·г ⁻¹				
	Pb ²⁺	Co ²⁺	Zn ²⁺	Cu ²⁺	Ni ²⁺
КС-ГМА-С	181,2	353,6	195,6	178,6	152,8
КС-ГМА-К	228,0	271,2	270,2	175,1	152,8
КС-ГМА-Х	207,2	200,4	176,4	146,0	105,6
КУ-2х8	372,8	236,0	195,6	338,8	152,8

Из таблицы 2 хорошо видно, что параметры сульфокатионитов на основе растительного сырья имеют близкие значения с таким широко

используемым катионитом, как КУ-2х8, а некоторые из них даже лучше, чем у общеупотребляемого катионита.

КС-ГМА-С имеет суммарную обменную ёмкость по катионам Cu(II) и Co(II) 510 мл/г из раствора, в которых содержание меди и кобальта составляет соответственно 0,95 и 2,36 г/л. Следовательно, его можно рекомендовать для группового извлечения вышеперечисленных ионов из промышленных растворов и сточных вод на предприятиях цветной металлургии [13].

Химическое модифицирование целлюлозы для улучшения ее сорбционной емкости по отношению к ионам Cu(II), Ni(II) и Zn(II) с использованием этилендиамина было проведено в работе [14]. Поскольку у целлюлозы в каждом элементарном звене содержатся гидроксильные группы, они могут реагировать с карбоксильными и аминогруппами различных органических соединений. На основании полученных изотерм сорбции авторы установили, что величины максимальной сорбционной емкости составили 308,2, 104,1 и 69,3 мг/г для ионов Ni(II), Cu(II) и Zn(II), соответственно.

Хорошие сорбционные свойства имеет и такой биополимер, как хитозан. Его макромолекулы построены из звеньев 2-ацетиламино-2-дезоксид-глюкопиранозы и 2-амино-2-дезоксид-глюкопиранозы, сопряженные связью $\beta - (1 \rightarrow 4)$. Новые сорбенты созданы в процессе модифицирования хитозана иминодиацетарной и этилендиамина-диацетарной кислотой. Эксперименты показали, что величины предельной сорбционной емкости для сорбентов, обработанных иминодиацетарной кислотой составили: для Cu(II) – 113,64 мг/г, для Zn(II) – 116,24 мг/г, для Cd(II) – 133,33 мг/г, для Pb(II) – 164,95 мг/г. А для сорбентов, обработанных этилендиамина-диацетарной кислотой: для Cu(II) – 55,56 мг/г, для Zn(II) – 107,53 мг/г, для Cd(II) – 122,08 мг/г, для Pb(II) – 217,39 мг/г [15].

Таким образом, к изучению процессов сорбции тяжелых металлов природными материалами из возобновляемого сырья полисахаридной природы проявляется большой интерес. Обуславливается это тем, что отходы и побочные продукты агропромышленного комплекса являются перспективными и экономически выгодными сорбентами для очистки от ИТМ водных растворов, имеющих различный состав, начиная от сточных вод промышленных предприятий до природных вод и пищевых систем.

Библиографический список

1. Евгеньев М.И., Евгеньева И.И. Контроль и оценка экологического риска химических производств. Казань: издательство «Фэн» АН РТ, 2007. 207 с.
2. Майстренко В.Н., Хамитов Р.З., Будников Г.К. Эколого-аналитический мониторинг супертоксикантов. М.: Химия, 1996. 319 с.
3. Будников Г.К. Тяжелые металлы в экологическом мониторинге водных систем // Соровский Образовательный журнал. 1998. № 5 С. 23-29.
4. Жмур Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. М.: АКВАРОС, 2003. 512 с.
5. Кузнецов А.Е., Градова Н.Б., Лушников С.В., Энгельхарт М., Вайссер Т., Чеботарёва М. В. Прикладная экобиотехнология: учебное пособие: в 2 т. Т. 2. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. 485 с.
6. Ергожин Е.Е., Бектенов Н.А., Акимбаева А.М. Полиэлектролиты на основе глицидилметакрилата и его сополимеров. - Алматы: Эверо, 2004. - 271 с.
7. Собгайда Н.А., Макарова Ю.А. Влияние природы связующего материала на сорбционные свойства сорбентов, изготовленных из отходов агропромышленного комплекса // Вестник Саратовского государственного технического университета. - 2011. - №1. - С. 41-45.
8. Никифорова Т.Е. Физико-химические основы хемосорбции ионов d-металлов модифицированными целлюлозосодержащими материалами // Автореф. дисс... доктора хим. наук.- Иваново, 2010.
9. Sud, D. Agricultural waste material as potential adsorbent for sequestering heavy metal ions from aqueous solutions – A review / D. Sud, G. Mahajan, M.P. Kaur // Bioresource Technology. – 2008. – V. 99. – P. 6017–6027
10. Aydin, H. Removal of copper (II) from aqueous solution by adsorption onto low-cost adsorbents / H. Aydin, Y. Bulut, C. Yerlikaya // J. Environ. Management. - 2008. - V. 87. - P. 37–45.
11. Ho, Y.S. Sorption equilibrium of mercury onto ground-up tree fern / Y.S. Ho, C.C. Wang // J. Hazard. Mater. – 2008. – V. 156. – P. 398–404.
12. Kumar, U. Agricultural products and by-products as a low cost adsorbent for heavy metal removal from water and wastewater: A review / U. Kumar // Sci. Res. Essays. - 2006. V. 1 (2). - P. 033-037.
13. Ергожин Е.Е., Никитина А.И., Кабулова Г.К., Бектенов Н.А. Сульфокатиониты на основе растительного сырья и глицидилметакрилата // Химия растительного сырья, 2013, № 1. - С. 67-72.
14. Torres J.D., Faria E.A., Prado A.G.S. Thermodynamic studies of the interaction at solid / liquid interface between metal ions and cellulose modified with ethylenediamine // J. Hazard. Mater. B. – 2006. – V. 129. – P. 239-243.
15. Kołodynska, D. Adsorption characteristics of chitosan modified by chelating agents of a new generation / D. Kołodynska // Chem. Eng. J. - 2012. - V. 179. - P. 33–43.