

DOI: 10.6060/ivkkt.20196209.5918

УДК: 66-935.4 +66-936.46 +675.024.4

## ОСАЖДЕНИЕ ХРОМСОДЕРЖАЩИХ ДУБИЛЬНЫХ РАСТВОРОВ СУСПЕНЗИЕЙ ГИДРОКСИДА МАГНИЯ

В.И. Чурсин, Е.В. Панфилов

Вячеслав Иванович Чурсин\*, Егор Владимирович Панфилов

Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина, ул. Садовническая, 33, Москва, Российская Федерация, 117997

E-mail: mars8848@rambler.ru\*, egor.panfilov.1996@mail.ru

*Проведены сравнительные исследования осаждения дубящих соединений хрома из отработанных дубильных растворов кожевенного производства, содержащих от 3 до 5 г/л оксида хрома, с использованием в качестве химических реагентов суспензии гидроксида магния и раствора карбоната натрия. Показано, что основными факторами, влияющими на процесс осаждения, являются pH и расход осадителя. Установлены расходы реагентов, способствующих полному осаждению соединений хрома в виде гидроксида. Показана высокая эффективность применения суспензии гидроксида магния в качестве осадителя, обусловленная большей скоростью осаждения и отсутствием соединений хрома в надосадочной жидкости. Скорость осаждения хрома при использовании суспензии гидроксида магния составляет 4,9 см<sup>3</sup>/мин, а при использовании карбоната натрия 2,5 см<sup>3</sup>/мин. В надосадочной жидкости после осаждения карбонатом натрия обнаруживаются следовые количества оксида хрома - менее 2,53 г/л. Показано, что при использовании для осаждения хрома суспензии гидроксида магния необходимо периодическое перемешивание жидкости для более полного растворения осадителя, который на первом этапе после дозирования выпадает из раствора в виде осадка. При использовании карбоната натрия образование гидроксил-ионов происходит намного быстрее, чем в случае суспензии гидроксида магния. Однако сформировавшийся осадок имеет достаточно рыхлую структуру и характеризуется большим содержанием влаги. Осадок гидроксида хрома, полученный при использовании суспензии гидроксида магния, характеризуется большей плотностью и лучшей способностью к фильтрации. Плавное повышение значения pH в процессе осаждения дубильного раствора суспензией гидроксида магния приводит к получению осадка с большим размером частиц и меньшей влажностью.*

**Ключевые слова:** отработанные растворы, оксид хрома, осаждение, гидроксид магния, карбонат натрия, дубитель, фильтрация, осадки

### Для цитирования:

Чурсин В.И., Панфилов Е.В. Осаждение хромсодержащих дубильных растворов суспензией гидроксида магния. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2019. Т. 62. Вып. 9. С. 110–116

### For citation:

Chursin V.I., Panfilov E.V. Precipitation of chromium-containing tanning solution of suspension magnesium hydroxide. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2019. V. 62. N 9. P. 110–116

## PRECIPITATION OF CHROMIUM-CONTAINING TANNING SOLUTION OF SUSPENSION MAGNESIUM HYDROXIDE

V.I. Chursin, E.V. Panfilov

Vyacheslav I. Chursin\*, Egor V. Panfilov

A.N. Kosygin Russian State University, Sadovnicheskaya st., 33, Moscow, 117997, Russia

E-mail: mars8848@rambler.ru\*, egor.panfilov.1996@mail.ru

*Comparative studies of the deposition of tanning chromium compounds from waste tanning solutions of tannery production containing from 3 to 5 g/l chromium oxide were carried out, using as a chemical reagents a suspension of magnesium hydroxide and sodium carbonate solution. It is shown that the main factors influencing the precipitation process are the pH value and the consumption of the precipitant. The costs of reagents contributing to complete precipitation of chromium compounds in the form of a hydroxide are established. The high efficiency of the use of a suspension of magnesium hydroxide as a precipitator is shown, due to the higher deposition rate and the absence of chromium compounds in the supernatant. The rate of precipitation of chromium using a slurry of magnesium hydroxide is 4.9 cm<sup>3</sup>/min, and using sodium carbonate 2.5 cm<sup>3</sup>/min. In the supernatant, after precipitation with sodium carbonate, traces of chromium oxide are found - less than 2.53 g/l. It is shown that when using a suspension of magnesium hydroxide for the precipitation of chromium, periodic mixing of the liquid is necessary to more completely dissolve the precipitator, which in the first stage after dosing drops out of the solution as a precipitate. When sodium carbonate is used, the formation of hydroxyl ions occurs much faster than in the case of a suspension of magnesium hydroxide. However, the formed sediment has a rather loose structure and is characterized by a high moisture content. The precipitate of chromium hydroxide obtained by using a suspension of magnesium hydroxide is characterized by a higher density and better filtration ability. A gradual increase in pH during the precipitation of a tanning solution with a suspension of magnesium hydroxide results in a precipitate with a large particle size and lower humidity.*

**Key words:** waste solutions, chromium oxide, precipitation, magnesium hydroxide, sodium carbonate, tanning agent, filtration, precipitation

Исследования по сокращению сбросов химических реагентов, используемых в технологических процессах кожевенного производства, ведутся на протяжении многих лет. Разработаны схемы и методы обработки, позволяющие существенно снизить загрязненность стоков, образующихся на отдельных стадиях производства [1-9]. Однако традиционные способы, базирующиеся на очистке сточных вод на очистных сооружениях, не всегда приводят к положительным результатам с точки зрения экономических затрат, поскольку требуют значительных площадей, специфических и дефицитных химических реагентов и расходование электроэнергии.

Объем химических материалов, используемых в кожевенном производстве, может варьироваться в широком диапазоне и определяется видом перерабатываемого сырья, ассортиментом готовой продукции и принятой технологией обработки. Наиболее распространенным видом дубления в настоящее время является хромовое дубление [1-8, 10-13]. Более 80% кож для верха обуви вырабатывается с использованием дубящих соединений хрома. Для

завода, перерабатывающего порядка 40 т кожевенного сырья в 1 сут., количество соединений хрома, не вступивших во взаимодействие с белками дермы и содержащихся в сточных водах, составляет в среднем от 0,8 до 1,0 т. [3-7]. Содержание соединений хрома в отработанных растворах после процесса дубления составляет от 3 до 5 г/л в пересчете на оксид хрома [11-13], а предельно допустимая концентрация (ПДК<sub>рх</sub>) для хрома (3+) перед сбросом в природные водоемы составляет 0,07 мг/л.

Как уже говорилось, кроме экологических проблем, существенную роль в переработке отходов играют и экономические факторы, а именно потери, связанные с неполной обработкой дубящих растворов, затраты на дополнительную очистку сточных вод, штрафы за превышение предельно допустимых концентраций оксида хрома в стоках.

Из предлагаемых методов очистки сточных вод и отработанных растворов от соединений хрома (ионный обмен, обратный осмос, мембранные процессы, выпаривание, экстрагирование и другие) химическое осаждение является наиболее простым и эффективным [2-4, 8, 9, 11, 12, 14-16].

Целью настоящего исследования является разработка и сравнительная оценка эффективности метода регенерации отработанных дубильных растворов при осаждении их различными химическими реагентами.

#### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В качестве объекта исследований использовали отработанные растворы после процесса хромового дубления, отобранные на 3-х кожевенных заводах. Эти растворы анализировали на содержание дубящих соединений хрома и значение pH. Установлено, что содержание хромовых соединений в отработанных растворах составляет от 1,8-3,6 г/л в пересчете на оксид хрома, а значение pH раствора находится в пределах 3,75-4,12.

В качестве осадителей применяли 60% суспензию гидроксида магния производства Российского горно-химического общества и 10% раствор карбоната натрия плотностью 1,1 г/см<sup>3</sup>, используемый на предприятиях для осаждения хрома из раствора. Характеристика суспензии гидроксида магния приведена в табл. 1.

Осаждение выполняли в стеклянных стаканах емкостью 250 см<sup>3</sup> и 1000 см<sup>3</sup>. После перемешивания раствор помещали в цилиндр и оценивали скорость осаждения и объем осадка. Осадок от надосадочной жидкости отделяли фильтрованием. Далее осадок промывали дистиллированной водой для удаления остатков раствора и примесей, адсорбированных на его поверхности, высушивали и взвешивали.

Таблица 1

Основные технические характеристики суспензии гидроксида магния  
Table 1. The main technical characteristics of the suspension magnesium hydroxide

Показатель	Результаты анализа
Внешний вид	Белая однородная суспензия
Содержание твердых веществ, %, не менее	60
Содержание гидроксида магния, %, не менее*	94,6
Содержание оксида кальция, %, не более*	1,7
Содержание оксида кремния, %, не более*	1,2
Содержание оксида железа, %, не более*	0,11
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,370
Температура замерзания, °С	0

Примечание: \* - в пересчете на сухое вещество  
Note: \* - in terms of dry substance

В работе использован комплекс общих и специальных методов исследования. Удельную поверхность осадков определяли методом низкотем-

пературной адсорбции гелия на приборе Gemini 2390a (фирма Micromeritics). Содержание оксида хрома в отработанных растворах и осадках определяли по методикам, рекомендованным в специальной литературе [10].

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Отработанные дубильные растворы кожевенного производства представляют собой достаточно сложную полидисперсную систему, содержащую хлориды, сульфаты, дубящие соединения хрома, растворимые белки, щелочные реагенты, используемые для повышения основности дубителя [11, 12]. Как следует из литературных источников [1, 7, 12, 13], поступающая на очистку жидкость после процесса дубления может характеризоваться значительными колебаниями состава и значения pH. Исходя из результатов анализа отработанных дубильных растворов, приведенных выше, следует, что высокое содержание оксида хрома в этих растворах является существенной предпосылкой для его извлечения и возврата в основное производство.

Известно, что основными факторами, влияющими на процесс осаждения, являются значение pH и расход осадителя. Оптимальная величина pH для осаждения соединений хрома из раствора в виде гидроксида составляет 8,5-9,0, при выходе за эти пределы растворимость гидроксида хрома увеличивается и, как следствие, ухудшается полнота осаждения. При значении pH выше 12 амфотерный гидроксид хрома в избытке щелочи образует растворимые хромиты  $[Cr(OH)_6]^{3-}$  [15,17].

Для определения расхода щелочных реагентов проводили потенциметрическое и кондуктометрическое титрование отработанного раствора исследуемыми препаратами. Результаты эксперимента представлены на рис. 1

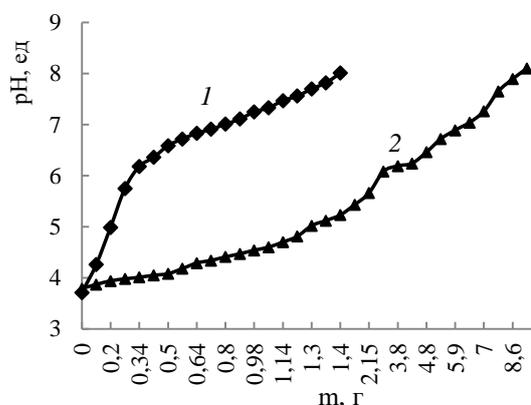


Рис. 1. Титрование отработанного раствора дубителя суспензией гидроксида магния (1), раствором карбоната натрия (2)  
Fig. 1. Titration of waste tanning solution with a suspension of magnesium hydroxide (1), sodium carbonate solution (2)

Анализ зависимостей показывает, что процесс осаждения гидроксида хрома суспензией гидроксида магния проходит более равномерно, и требуемое значение pH достигается при меньшем расходе осадителя. Для достижения аналогичного значения pH требуется в 6,5 раз большее количество раствора карбоната натрия.

Таким образом, установлено, что для осаждения 75 мл отработанного раствора дубителя до значения pH 8 необходимо 9,1 г 10% раствора карбоната натрия или 1,4 г 60% суспензии гидроксида магния. В ходе эксперимента отмечали образование осадка белого цвета сразу после введения в раствор суспензии гидроксида магния. В дальнейшем этот осадок постепенно растворяется.

При введении в отработанную дубильную жидкость раствора карбоната натрия, при значении pH 6,24 наблюдается помутнение жидкости, вероятно, обусловленное образованием гидроксида хрома.

Зависимость электропроводности дубильной жидкости от количества осадителя представлена на рис. 2.

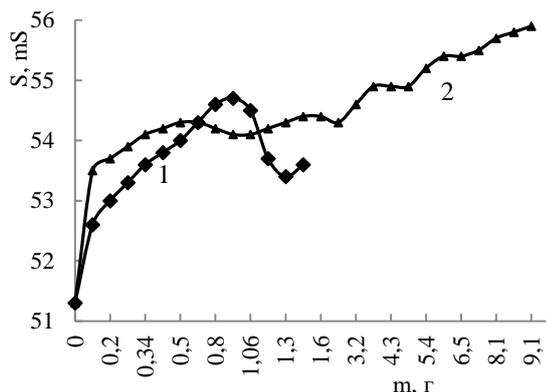
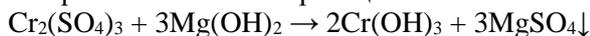


Рис. 2. Кондуктометрическое титрование отработанного раствора дубителя суспензией гидроксида магния (1), раствором карбоната натрия (2)

Fig. 2. Conductometric titration of waste tanning solution with a suspension of magnesium hydroxide (1), sodium carbonate (2)

При кондуктометрическом титровании раствора отработанного дубителя суспензией гидроксида магния на кривой титрования, имеется максимум, соответствующий точке эквивалентности, до точки эквивалентности электропроводность раствора возрастает за счет увеличения концентрации наиболее подвижных ионов  $\text{SO}_4^-$ , переходящих в раствор в соответствии с реакцией:



После точки эквивалентности электропроводность раствора уменьшается в результате связывания  $\text{OH}^-$  ионов и осаждения гидроксида хрома. Следует отметить заметное снижение электропро-

водности дубильной жидкости при введении суспензии гидроксида магния в пределах 1,1-1,4 г.

При осаждении карбонатом натрия значения электропроводности на первом этапе введения осадителя в дубильный раствор несколько выше за счет высокой растворимости карбоната натрия и большей подвижности ионов [18, 19].

Исследование процесса осаждения продолжили в цилиндрах емкостью 250 см<sup>3</sup>. Для этого в 150 см<sup>3</sup> дубильного раствора одноразово вводили расчетное количество осадителя и фиксировали изменение значения pH во времени. Из результатов, представленных в табл. 2, следует, что постепенное растворение суспензии гидроксида магния способствует плавному повышению значения pH отработанной жидкости и образованию более компактного осадка, объем которого в полтора раза меньше, чем при осаждении карбонатом натрия.

Следует отметить, что значение pH надосадочной жидкости при осаждении суспензией гидроксида магния меньше, чем осаждающейся жидкости, соответственно 9,5 и 9,7. Это может быть связано с присутствием в надосадочной жидкости растворенного сульфата магния. Напротив, при осаждении 10% раствором карбоната натрия значение pH надосадочной жидкости больше, чем осаждающейся жидкости, соответственно 8,22 и 7,92.

Таблица 2  
Результаты эксперимента по осаждению отработанного раствора хромового дубителя  
Table 2. Results of the experiment on deposition of spent solution of chrome tanning agent

Показатель	Осаждение 60% суспензией гидроксида магния	Осаждение 10% раствором карбоната натрия
Исходное значение pH жидкости, ед	3,78	3,78
Расход осадителя, г	2,86	18,38
Изменение pH в процессе осаждения, ед		
0,5 ч	6,83	7,18
1 ч	7,61	7,28
2 ч	8,42	7,38
3 ч	9,00	7,53
4 ч	9,26	7,65
24 ч	9,70	7,92
Значение pH надосадочной жидкости, ед	9,50	8,22
Относительный объем осадка, %	14,3	20,8

На рис. 3 приведены зависимости кинетики осаждения гидроксида хрома из отработанного дубильного раствора, определенные по степени осветления надосадочной жидкости. Как видно из рис. 3, осаждение гидроксида хрома при использовании суспензии гидроксида магния идет более интенсивно, и завершается в основном в течение 15 мин. Для осаждения раствором карбоната натрия требуется значительно больше времени.

При расчете скорости седиментации гидроксида хрома во внимание принимали первый участок зависимости, который может быть аппроксимирован прямой линией. Исходя из этого, скорость осаждения хрома при использовании суспензии гидроксида магния составляет  $4,9 \text{ см}^3/\text{мин}$ , а при использовании соды  $2,5 \text{ см}^3/\text{мин}$ , то есть в два раза выше.

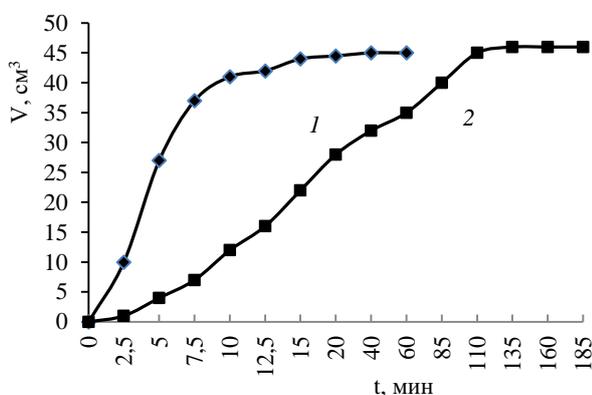


Рис. 3. Зависимости степени осветления надосадочной жидкости от времени при осаждении суспензией гидроксида магния (1) и карбонатом натрия (2)

Fig. 3. The dependence of the degree of clarification of the supernatant on time when precipitated with a suspension of magnesium hydroxide (1) and sodium carbonate (2)

Скорость седиментации частиц зависит от их размера и плотности, поэтому можно сделать заключение, что размер частиц, образующихся при осаждении отработанных растворов суспензией гидроксида магния и плотность осадка больше, чем при использовании карбоната натрия. Таким образом, можно утверждать, что технологическая эффективность применения 60% суспензии гидроксида магния по всем показателям в два раза выше, чем использование 10% раствора карбоната натрия.

Осадки, сформированные в предыдущих экспериментах, исследовали на содержание влаги и фильтрующую способность. С этой целью содержимое цилиндров вновь перемешивали, и жидкость фильтровали через бумажный фильтр. При этом фиксировали время фильтрации исходного раствора и время фильтрации дистиллированной

воды. В отфильтрованном осадке определяли содержание влаги и содержание оксида хрома. Установлено, что в осадке, полученном при использовании 60% суспензий гидроксида магния, содержание влаги составляет 90,8% при концентрации оксида хрома 2,84%, а в осадке, полученном при использовании 10% раствора карбоната натрия, соответственно, 94,7% и 2,64%.

О плотности и гидрофобности полученных осадков можно судить на основании данных, полученных при фильтровании отработанных дубильных жидкостей, осажденных исследуемыми препаратами (рис. 4).

При фильтровании дубильной жидкости, осажденной исследуемыми препаратами, оценивали время, в течение которого вся жидкость проходит через фильтр, на котором формируется слой осадка. Как следует из рис. 4, полученные зависимости достаточно точно описываются полиномиальными уравнениями с высокой степенью достоверности.

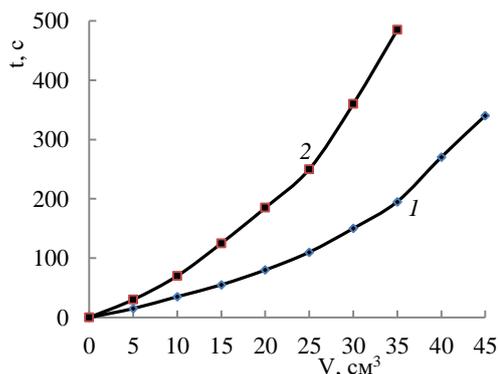


Рис. 4. Время фильтрации (t) хромосодержащей жидкости, осажденной суспензией гидроксида магния (1) и раствором карбоната натрия (2)

Fig. 4. The filtration time (t) of the chromium-containing liquid precipitated with a suspension of magnesium hydroxide (1) and sodium carbonate solution (2)

Фильтрование жидкости, осажденной суспензией гидроксида магния, проходит за более короткое время, что можно объяснить образованием более крупных частиц осадка. После окончания фильтрования осажденной жидкости на фильтре формируется слой осадка, который также можно считать фильтрующим слоем. Существует мнение, что фильтрующая способность в этом случае в основном зависит от характера образовавшегося осадка, а не от находящегося под ним фильтра [20]. Если рассчитать скорость фильтрации равных объемов, то для жидкости, осажденной гидроксидом магния, она составит  $0,18 \text{ см}^3/\text{с}$ , а для жидкости, осажденной карбонатом натрия –  $0,13 \text{ см}^3/\text{с}$ , то есть

в 1,4 раз больше. Этот факт позволяет предположить более эффективную работу фильтр-пресса при обезвоживании осадка, полученного при использовании суспензии гидроксида магния.

Также оценивали фильтрующую способность самих осадков по отношению к дистиллированной воде (рис. 5).

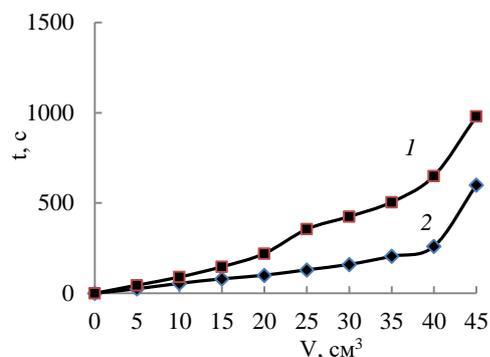


Рис. 5. Время фильтрации дистиллированной воды через осадок, полученный при обработке дубильной жидкости суспензией гидроксида магния (1) и раствором карбоната натрия (2)  
Fig. 5. The filtration time of distilled water through a precipitate obtained by treating a tanning liquid with a suspension of magnesium hydroxide (1) and sodium carbonate solution (2)

Из представленных зависимостей следует, что фильтрующая способность осадка, полученного с использованием суспензии гидроксида магния, выше. Скорость фильтрации, рассчитанная из линейного участка зависимостей, составила, соответственно, 10,2 мл/мин и 4,16 мл/мин, то есть в

2,45 раза выше у осадка, полученного с использованием суспензии гидроксида магния. Осадок медленнее фильтруется, а значит удельное сопротивление фильтрации больше. Таким образом, полученные данные позволяют косвенно определить удельное сопротивление фильтрации осадка.

Свидетельством образования более крупных частиц осадка при использовании гидроксида магния может служить степень осветления отфильтрованной жидкости. При фильтровании жидкости, осажженной раствором карбоната натрия, первые порции фильтрата получаются мутными, значит через фильтр проходит некоторое количество частиц, размеры которых меньше диаметра пор фильтра. При фильтровании жидкости, осажженной гидроксидом магния, отфильтрованный раствор прозрачный. Подтверждением этому служат результаты определения удельной поверхности осадков гидроксида хрома, рассчитанные по методу БЭТ: 21,905 м²/г при осаждении карбонатом натрия, и 18,803 м²/г при осаждении гидроксидом магния.

Таким образом, показана возможность и установлены преимущества осаждения хромсодержащих растворов суспензией гидроксида магния, определена кинетика осаждения и свойства полученных осадков. Полученные данные могут быть использованы при разработке методов регенерации промышленных хромсодержащих растворов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Abass Esmaceli, Alireza Mesdaghi, Reza Vazirinejad, Sreeram K.J., Ramasami T.** Chromium (III) Removal and Recovery from Tannery Wastewater by Precipitation Process. *Am. J. Appl. Sci.* 2005. V. 2. N 10. P. 1471-1473.
2. **Aysel C.** Removal of chromium from wastewater by reverse osmosis. *Russ. J. Phys. Chem.* 2015. V. 89. P. 1238-1243.
3. **Song, Z., Williams C.J., Edyvean R.G.J.** Sedimentation of tannery wastewater. *Water Res.* 2000. N 34. P. 2171-2176.
4. **Fenta Minas, Bhagwan Singh Chandravanshi, Seyoum Leta.** Chemical precipitation method for chromium removal and its recovery from tannery wastewater in Ethiopia. *Chem. Internat.* 2017. N 4. P. 291-305.
5. **Abass Esmaceli.** Sustaining tanning process through conservation, recovery and better utilization of chromium. *Resour., Conser. Recycl.* 2003. V. 81. P. 185-212.
6. **Mottalib M.A., Somoal S.H., Islam M.S., Alam M.N., Nurul Abser M.N.** Removal of chromium from tannery wastewater by tannery lime liquor: A very cost effective method. *Internat. J. Curr. Res.* 2015. N 7(6). P. 16795-16798.
7. **Badar M., Saeed M., Batool F.** Treatment Plant for Chromium Recovery From Tannery Waste Water. *Internat. J. Environ., Agricult. Biotechnol.* 2016. V. 1. N 3. P.559-564. DOI: 10.22161/ijeab/1.3.38.

#### REFERENCES

1. **Abass Esmaceli, Alireza Mesdaghi, Reza Vazirinejad, Sreeram K.J., Ramasami T.** Chromium (III) Removal and Recovery from Tannery Wastewater by Precipitation Process. *Am. J. Appl. Sci.* 2005. V. 2. N 10. P. 1471-1473.
2. **Aysel C.** Removal of chromium from wastewater by reverse osmosis. *Russ. J. Phys. Chem.* 2015. V. 89. P. 1238-1243.
3. **Song, Z., Williams C.J., Edyvean R.G.J.** Sedimentation of tannery wastewater. *Water Res.* 2000. N 34. P. 2171-2176.
4. **Fenta Minas, Bhagwan Singh Chandravanshi, Seyoum Leta.** Chemical precipitation method for chromium removal and its recovery from tannery wastewater in Ethiopia. *Chem. Internat.* 2017. N 4. P. 291-305.
5. **Abass Esmaceli.** Sustaining tanning process through conservation, recovery and better utilization of chromium. *Resour., Conser. Recycl.* 2003. V. 81. P. 185-212.
6. **Mottalib M.A., Somoal S.H., Islam M.S., Alam M.N., Nurul Abser M.N.** Removal of chromium from tannery wastewater by tannery lime liquor: A very cost effective method. *Internat. J. Curr. Res.* 2015. N 7(6). P. 16795-16798.
7. **Badar M., Saeed M., Batool F.** Treatment Plant for Chromium Recovery From Tannery Waste Water. *Internat. J. Environ., Agricult. Biotechnol.* 2016. V. 1. N 3. P.559-564. DOI: 10.22161/ijeab/1.3.38.

8. **Nadia Eladlani, El Montassir Dahmane, Abdelaaziz Ouahrouch, Mohammed Rhazi, Moha Taourirte.** Recovery of Chromium(III) from Tannery Wastewater by Nanoparticles and Whiskers of Chitosan. *J. Polym. Environ.* 2018. V. 26. N 1. P. 152–157.
9. **Данилов Ф.И., Проценко В.С., Гордиенко В.О., Баскевич А.С., Артемчук В.В.** Электроосаждение износостойких нанокристаллических покрытий из электролита, содержащего основной сульфат хрома. *Физикохимия пов-ти и защита матер.* 2013. Т. 49. № 3. С. 284-288.
10. **Данилкович А.Г., Чурсин В.И.** Аналитический контроль в производстве кожи и меха М.: ИНФРА-М. 2016. 175 с.
11. **Kamruzzaman Khan, Istiaq Habib Khan, Iftakharul Islam Khan, Abdullah Al Mahmud, Dalour Hossain.** Recovery And Reuse Of Chromium From Spent Chrome Tanning Liquor By Precipitation Process. *Am. J. Eng. Res.* 2018. V. 7. N 1. P. 346-352.
12. **Павлова М.С.** Экологический аспект химической технологии кожи. М.: МГАЛП. 1997. 191 с.
13. **Чурсин В.И., Фрундина Е.А.** Технология переработки кожевенного сырья и определение маркерных веществ в производстве кожи. Наилучшие доступные технологии. Определение маркерных веществ в различных отраслях промышленности. Сб. стат. 8. М.: Из-во "Перо". 2017. С. 161-181.
14. **Долина Л.Ф.** Современная техника и технологии для очистки сточных вод от солей тяжелых металлов. Днепропетровск: Континент. 2008. 254 с.
15. **Виноградов С.С., Кругликов С.С.** О положительных и отрицательных сторонах электро- и гальванокоагуляционных методов очистки сточных вод. *Гальванотехн. и обработка пов-ти.* 2008. Т. 16. № 1. С. 46-47.
16. **Кондауров Б.П., Захарова А.А., Александров В.И., Бахшиева Л.Т., Салтыкова В.С.** Сточные воды кожевенного предприятия: проблемы и решения. М.: МГУДТ. 2011. 285 с.
17. **Alfatih A. Yassen, Gurashi A. Allah, Alsalam A., Al-maged A.** Recovery of basic chromium sulphate Case study: Afrotan Tannery Company. *J. Appl. Indust. Sci.* 2015. V. 3. N 3. P. 87-93.
18. **Лидин Р.А., Молочко В.А., Андреева Л.Л.** Химические свойства неорганических веществ. М.: КолосС. 2006. 480 с.
19. **Yuling Tang, Jianfei Zhou, Yunhang Zeng, Wenhua Zhang, Bi Shi** Effect of Leather Chemicals on Cr (III) Removal from Post Tanning Wastewater. *J. Am. Leath. Chem. Assoc.* 2018. V. 113. N 3. P. 74-81.
20. **Пахомов А.Н., Штопоров В.Н., Данилович Д.А.** Исследование и практическая реализация процесса обезвоживания осадков водопроводных станций. *Водоснабжение и санитарная техника.* 2004. № 12. С. 25-31.
8. **Nadia Eladlani, El Montassir Dahmane, Abdelaaziz Ouahrouch, Mohammed Rhazi, Moha Taourirte.** Recovery of Chromium(III) from Tannery Wastewater by Nanoparticles and Whiskers of Chitosan. *J. Polym. Environ.* 2018. V. 26. N 1. P. 152–157.
9. **Danilov F.I., Protsenko V.S., Gordienko V.O., Baskevich A.S., Artemchuk V.V.** Electrodeposition of wear-resistant nanocrystalline coatings from an electrolyte containing basic chromium sulphate. *Fizikokhim. Pov-tii Zashchita Mater.* 2013. V. 49. N 3. P. 284-288 (in Russian).
10. **Danilkovich A.G., Chursin V.I.** Analytical control in the production of leather and fur. М.: INFRA-M. 2016. 175 p. (in Russian).
11. **Kamruzzaman Khan, Istiaq Habib Khan, Iftakharul Islam Khan, Abdullah Al Mahmud, Dalour Hossain.** Recovery And Reuse Of Chromium From Spent Chrome Tanning Liquor By Precipitation Process. *Am. J. Eng. Res.* 2018. V. 7. N 1. P. 346-352.
12. **Pavlova M.S.** Ecological aspect of chemical skin technology. М.: MGALP. 1997. 191 p. (in Russian).
13. **Chursin V.I., Frundina E.A.** Technology of processing of raw hides and identification of marker substances in the production of leather. Best available technologies. Definition of marker substances in various industries. Collected papers 8. М.: Iz-vo "Pero". 2017. P. 161-181 (in Russian).
14. **Dolina L.F.** Modern technology and technologies for wastewater treatment from salts of heavy metals. Dnipropetrovsk: Kontinent. 2008. 254 p. (in Russian).
15. **Vinogradov S.S., Kruglikov S.S.** On the positive and negative aspects of electro- and galvanocoagulation methods of wastewater treatment. *Galvanotekhn. Obrabotka Pov-ti.* 2008. V. 16. N 1. P. 46-47 (in Russian).
16. **Kondaurov B.P., Zakharova A.A., Alexandrov V.I., Bakhshiyeva L.T., Saltykova V.S.** Sewage of the tannery: problems and solutions. М.: MGUDT. 2011. 285 p. (in Russian).
17. **Alfatih A. Yassen, Gurashi A. Allah, Alsalam A., Al-maged A.** Recovery of basic chromium sulphate Case study: Afrotan Tannery Company. *J. Appl. Indust. Sci.* 2015. V. 3. N 3. P. 87-93.
18. **Lidin R.A., Molochko V.A., Andreeva L.L.** Chemical properties of inorganic substances. М.: KolosS. 2006. 480 p. (in Russian).
19. **Yuling Tang, Jianfei Zhou, Yunhang Zeng, Wenhua Zhang, Bi Shi** Effect of Leather Chemicals on Cr (III) Removal from Post Tanning Wastewater. *J. Am. Leath. Chem. Assoc.* 2018. V. 113. N 3. P. 74-81.
20. **Pakhomov A.N., Shtoporov V.N., Danilovich D.A.** Research and practical implementation of the process of dehydration of precipitation of waterworks. *Vodosnabzhenie Sanitarnaya Tekhnika.* 2004. N 12. P. 25-31 (in Russian).

Поступила в редакцию 25.10.2018  
Принята к опубликованию 10.07.2019

Received 25.10.2018  
Accepted 10.07.2019