

Янин Е.П. Основные направления утилизации железосодержащего осадка водопроводных станций // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды, 2012, № 6, с. 60–71.

В России значительная доля ресурсов подземных вод представлена железосодержащими водами, что чрезвычайно осложняет их использование для хозяйственно-питьевых целей [5]. В данном случае необходимость очистки воды от железа вызвана рядом нежелательных последствий эстетического, технического, экономического и органолептического характера: привкус и цветность воды; следы на белье, посуде, кухонном и санитарном оборудовании; коррозия и забивание трубопроводов; вывод из строя бытовых умягчительных систем; проблемы в пищевой, текстильной, целлюлозно-бумажной, химической и других отраслях промышленности; загрязнение продукции и материалов промышленного применения и др. [4, 9, 17, 30]. Кроме того, несмотря на то, что железо является необходимым элементом в питании человека, его поступление в организм в больших количествах может приводить к различным негативным явлениям [23].

В ходе очистки железосодержащих вод на станциях водоподготовки при промывке фильтров возникают большие объемы сточных вод, которые представляют собой суспензию железосодержащего осадка (ЖСО), выделенного в ходе технологического процесса, обладающего специфическими свойствами и нередко являющегося источником загрязнения окружающей среды [31]. В составе твердой фазы суспензии максимальная доля приходится на оксидно-гидроксидные соединения железа, остальное составляют оксиды кремния, кальция, магния с незначительными примесями других элементов [8, 10, 16, 29]. Например, ЖСО, образующийся на станциях водоподготовки в населенных пунктах Западной Сибири, состоит преимущественно из гетита и лепидокрокита, включающих железо в оксидно-гидроксидной форме [8–10, 22, 27, 28]. Объемы образующегося на станциях обезжелезивания подземных вод ЖСО достаточно велики. Например, при очистке подземных вод на станции обезжелезивания Томского водозабора ежегодно выделяется более 600 т ЖСО [10, 27]. Безусловно, своевременная и эффективная утилизация ЖСО является актуальной природоохранной и хозяйственно-технической проблемой [8, 11, 16, 29, 31].

В отечественной практике до 1970-х гг. ЖСО и необработанные промывные воды в основном сбрасывались в поверхностные водоемы или в канализационные сети; в последующие годы сброс осадка и необработанных промывных вод в водные объекты был запрещен [16]. Сброс Fe-содержащих промывных вод и осадка в канализационные сети вызывает необходимость увеличения пропускной способности канализационных очистных сооружений и увеличивает вероятность засорения сетей [16]. В настоящее время основным приемом обработки ЖСО является его обезвоживание на фильтрующих (иловых) площадках (с промораживанием в зимний период) [16, 18]. Считается, что ЖСО является малоопасным веществом 4-го класса опасности, поэтому его можно (после обезвоживания) складировать на полигонах или в накопителях [6]. В то же время химический состав и геохимические особенности ЖСО изучены недостаточно полно, поэтому не исключено,

что в каждом конкретном случае его опасность для окружающей среды должна устанавливаться специальными исследованиями [31]. Во многих регионах страны проблемы хранения и утилизации ЖСО все еще не решены удовлетворительно. Например, существующая на станции обезжелезивания Томского водозабора технологическая схема утилизации шлама предусматривает только его захоронение [27].

К настоящему времени предложены различные способы использования ЖСО, дающие определенный экономический эффект, например, применение в качестве полупродукта в производстве катализаторов стирола, адсорбентов, пигментов, некоторых химических реактивов, строительных материалов (керамзита), для получения чугуна и стали, применение осадка для создания жаростойкого покрытия при изготовлении поддонов и изложниц, в качестве добавок при выпуске портландцемента, для получения охры [2, 8, 15, 16, 18, 24, 26]. В частности, установлено, что использование ЖСО в качестве опудривателя гранул керамзита позволяет повысить качество последнего и увеличить его выпуск при том же расходе сырья взамен дорогостоящих высокоогнеупорных опудривателей (глинозема). ЖСО можно использовать при изготовлении шпатлевок и мастик, заменяя им мел или меловую пасту, а также в качестве вяжущего (до 50%) в кладочных растворах М 4, 10, 25, 50 и бетонах марки 50, 70 (до 30%). При изготовлении гипсолита или сухой штукатурки допустимо в состав вяжущего вводить ЖСО до 40–45% по сухому веществу. Осадок может применяться для очистки газов от сероводорода [4]. После обработки ЖСО серной либо соляной кислотой можно получить коагулянт – $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ или FeCl_3 , при этом наблюдается изменение структуры осадка и происходит сокращение его объема [2]. Использование образовавшегося хлорида железа уже более разнообразно: в радиотехнической промышленности – для травления печатных плат, в коммунальном хозяйстве – для очистки сточных вод, на станциях обезжелезивания – для повышения эффективности и скорости окисления ионов двухвалентного железа. На заводе (г. Комсомольск-на-Амуре), которому принадлежит станция обезжелезивания подземных вод, в свое время были осуществлены успешные эксперименты по утилизации обезвоженного ЖСО – приготовление из него железного сурика, краски общего применения [7].

Перспективно применение ЖСО в производстве пигментов для лаков и красок на масляной основе. Так, авторами [2] проведены поисковые исследования и получены положительные результаты для изучения возможности использования ЖСО для получения красящего пигмента – сурика. Технологическая схема включает два основных цикла: 1) очистка грязных промывных вод и извлечение ЖСО в концентрированном влажном виде методом вакуум-фильтрования; 2) обработка влажного ЖСО и получение на его основе красящего пигмента. Технология получения густотертой краски на основе предлагаемого пигмента заключается в его тщательном перемешивании и растирании с олифой в специальных машинах-краскотерках до получения однородной суспензии. Количество олифы, необходимое для достижения малярной консистенции, составляет не более 70%. Свойства пигмента удовлетворяют основным требованиям ТУ 6-10-1216-72 (табл. 1). Хотя некоторые показатели и уступают свойствам пигмента, получаемого по традиционной химической технологии, разработанный авторами способ (принципиальная схема) получения сурикоподобных пигментов на основе ЖСО) значительно проще и экономичнее (рис. 1).

Таблица 1. Свойства сурика на основе ЖСО [2]

Показатели	Сурик на основе ЖСО	Марки сурика АК, Э, К (ГОСТ 8135-74)
Остаток на сите № 0016, не более, %	отсутствует	отсутствует
То же, № 0063	0,2	0,3
Укрывистость, не более, г/м ²	30-35	20
Массовая доля железа, не менее, %	70-75	65-70
Массовая доля воды, не более, %	0,1	0,1
pH водяной вытяжки	7	6,5-7,5
Цвет	не темнее нормы	не темнее нормы



Рис. 1. Принципиальная схема получения сурикоподобных пигментов на основе ЖСО [2].

В работах [19, 21] показана возможность использования сорбентов на основе ЖСО (станция водоподготовки водозабора Томского Академгородка) и алюмосиликатных микросфер (образующихся при сжигании угля на ТЭС) для очистки сточной воды от нефтепродуктов и фенола. ЖСО, во влажном состоянии представляющий собой гелеобразную массу светло-коричневого цвета, при высыхании твердеет в виде агломератов, которые легко растираются в тонкодисперсный порошок, обладающий полидисперсным составом. Основу порошка составляют частицы средним размером 0,032 мкм, а размеры агрегатов, образующихся в результате слипания первичных частиц, находятся в пределах 0,368–1,72 мкм. Основная минеральная фаза осадка представлена гидратированным (аморфным) оксидом трехвалентного железа – $Fe_2O_3 \cdot x(H_2O)_n$. Высокие сорбционные свойства ЖСО определяются его пористостью, развитой удельной поверхностью и наличием активных центров, представляющих собой оксидные и гидроксидные группы. При прокаливании осадка наблюдается снижение его удельной поверхности, что обусловлено удалением межкаркасной воды и последующим слипанием и формированием более крупных частиц (табл. 2).

Таблица 2. Характеристика ЖСО различной температурной обработки [21] *

Температура обработки, °С	Удельная поверхность, м ² /г	Суммарный объем пор, м ³ /г	Размер пор, d, мм	Объем микропор < 2 нм, см ³ /г	Средний размер частиц, мкм
25	230	1,258	4	0,004583	0,036
180	171	1,756	4	0,001302	0,046
220	151	1,642	4	отс.	0,046
250	135	1,871	4 и 21	отс.	0,053
300	148	1,965	4 и 21	отс.	0,061

* Атмосфера – воздух, продолжительность – 3 ч.

Установлено, что температурная обработка осадка при 250⁰С (ЖСО-250) приводит к увеличению эффективности извлечения им из сточных вод нефти и фенола до 96,6 и 60,0% соответственно, что объясняется необратимым удалением воды из структуры осадка и появлением новых пор и активных центров. Для улучшения эксплуатационных свойств мелкодисперсного сорбента на основе ЖСО проводили его модификацию путем получения гранул и криогель-сорбента (КС) с различными связующими добавками [21]. В качестве последних использовались жидкое стекло Na₂SiO₃ (ЖС) и поливиниловый спирт (ПВС). На основе ЖСО-250 были получены гранулы диаметром от 0,5 до 5 мм. Эксперименты показали, что сорбенты в дисперсном виде, в виде КС и гранул, а также сорбент, полученный путем механического смешивания ЖСО-250 с алюмосиликатными микро-сферами (АСМС) могут использоваться для эффективного извлечения нефти, нефтепродуктов и фенола из оборотных и сточных вод нефтехимических предприятий (табл. 3), причем дисперсный ЖСО-250 обладает наиболее высокими сорбционными свойствами в отношении указанных поллютантов. Это обусловлено развитой мезопористой структурой сорбента, образованной в результате необратимого удаления физически и структурно-связанной воды с поверхности материала при его температурной обработке, а также наличием активных сорбционных центров. Сорбция углеводородов нефти на поверхности ЖСО происходит под действием дисперсионных и электростатических сил, при этом сначала сорбируются высокомолекулярные полярные соединения нефти, а затем происходит сорбция легких углеводородов. Сорбция полярных веществ может происходить в результате возникновения водородных связей между оксидной группой поверхности сорбента и молекулой сорбата.

Таблица 3. Результаты экспериментов по очистке воды от нефтепродуктов и фенола с использованием сорбентов на основе ЖСО [21]

Сорбент	Извлечение нефтепродуктов					Извлечение фенолов				
	Исходная вода, мг/л	Очищенная вода, мг/л	Извлеченное, %	Емкость сорбента, мг/г	Расход сорбента, мг/л	Исходная вода, мг/л	Очищенная вода, мг/л	Извлеченное, %	Емкость сорбента, мг/г	Расход сорбента, мг/л
Дисперсный ЖСО-25	100	13,0	87,0	4,35	20	0,074	0,053	27,8	1,05	20
Дисперсный ЖСО-250	100	3,4	96,6	9,70	10	0,074	0,029	60,0	2,25	20
Смесь ЖСО-250 с АСМС (1:1)	100	0,3	99,7	19,90	5	0,074	0,003	96,0	3,55	20
КС на основе ЖСО-250	70	7,21	89,7	3,14	20	0,074	0,005	93,5	3,45	20
Гранулы на основе ЖСО-250: АСМС (1:1) и ЖС *	90	24,3	73,0	3,28	20	0,074	0,024	68,0	2,50	20
Гранулы на основе ЖСО-25: АСМС (1:1) и ЖС (250)**	90	10,8	88,0	3,96	20	0,074	0,010	87,0	3,20	20
Гранулы на основе ЖСО-25 и ПВС (1%)	90	9,0	90,0	4,05	20	0,074	0,007	90,0	3,33	20

* Прокаливание ЖСО до грануляции.

** Прокаливание гранулированного сорбента.

Более детально способ получения композитного криогель-сорбента (КС) на основе поливинилового спирта (ПВС) и ЖСО (водозабор Академгородка, г. Томск) рассмотрен в работе [25]. Перед использованием ЖСО осуществляли его предварительную подготовку путем растирания воздушно-сухого материала в фарфоровой ступке с последующим просеиванием через сито Drufsieb ISO (размер ячеек 0,3 мм). Исследования сорбционных свойств КС по отношению к нефти и фенолу при очистке воды показали что наиболее высокой фенол- и нефтепоглощающей способностью обладает криогель-сорбент на основе термообработанного при 250⁰С ЖСО. Степень очистки воды при одноступенчатой очистке составила 89,5 и 93,5% по нефти и фенолу, соответственно. Установлено, что степень

извлечения нефти с использованием синтезированного КС несколько снижается по сравнению с использованием дисперсного ЖСО, а степень извлечения фенола значительно увеличивается. Это связано с уменьшением площади удельной поверхности и содержания пор ЖСО при формировании КС, а также увеличением содержания гидроксильных групп за счет ПВС, с которыми фенол взаимодействует, образуя водородные связи.

Для решения проблемы комплексной утилизации железосодержащих промывных вод фильтровальных сооружений станций водоподготовки авторами [12, 13] разработана экологически чистая технология. Сырьевая смесь из осадка, молотых отходов стекла и глины служит для получения путем обжига керамических материалов: кирпича, клинкерной плитки, кровельной черепицы и т.п. Одним из путей утилизации ЖСО может быть его использование в производстве керамических фильтрующих материалов. Исследования показали, что предложенная композиция, включающая ЖСО (4–10 масс. %), молотый стеклянный порошок (4%), глина – остальное [20], отвечает требованиям ГОСТ Р 51641-2000 [3]. Детально технология применения ЖСО в производстве керамического фильтрующего материала (содержащего 3–8% осадка) рассмотрена в [10]. Как известно, при производстве керамических строительных материалов для снижения температуры обжига используют оксиды железа. Поэтому логичным было использовать ЖСО в качестве добавки к сырьевой массе, предназначенной для изготовления керамики. Другой утилизируемой добавкой служил стеклобой (бой листового стекла), придающий материалу прочность. Автором цитируемой работы была поставлена задача получить из глины (местного сырья) и указанных выше отходов керамический фильтрующий материал (КФМ), который планировалось применять в качестве зернистой загрузки в фильтрах для обезжелезивания воды. Оценка влияния введения ЖСО в сырье показала, что осадок является отошающей добавкой, которая снижает пластичность сырьевой смеси. Присутствие в составе сырья оксидов железа, щелочных и щелочноземельных металлов обеспечивает легкоплавкость глин, способствует образованию красного цвета обожженных образцов керамики. Использование стеклобоя в качестве плавня, наряду с оксидными соединениями железа, также способствует снижению температуры обжига. Известно, что при производстве кирпича добавки оксидов железа могут составлять около 3–8%. Исходя из этих соображений, добавка ЖСО при получении КФМ составила 4–10% от общей массы исходного материала. Опытным путем была установлена оптимальная концентрация размолотого стекла – 3–4%. Из проб с разным содержанием измельченных глинистых пород, ЖСО и стеклобоя формовали образцы цилиндрической формы диаметром 5 мм и высотой 10 мм при удельном давлении 100 МПа. Формование сырцовых гранул размером 10 мм производили на лабораторном прессе; затем их высушивали в сушильном шкафу при температуре 200⁰С до постоянной массы. Глубокая термическая обработка проводилась в лабораторной электрической печи с платиновыми нагревателями в интервале от 100 до 1100⁰С с изотермической выдержкой в течение 1 ч. Полученные образцы КФМ и исходные компоненты сырьевой смеси были исследованы комплексом физико-химических методов. В КФМ были обнаружены такие минералы, как монотермит, гиперстен, гематит, стеатит. Основную часть (до 80%) составляли кварц, гематит, ортоклаз, манганит, гидрогетит, пиррофиллит. Была также разработана технологическая схема установки для получения КФМ. Входящие в установ-

ку устройства позволяют осуществить все необходимые технологические операции по изготовлению КФМ: сушку, измельчение, дозирование исходного материала, гранулирование, обжиг. Показана возможность использования КФМ, отвечающего требованиям ГОСТ Р 51641-2000 [3], в качестве фильтрующей загрузки при очистке питьевых вод. Эффективность применения керамического материала в качестве фильтрующей загрузки проверена на пилотной установке на Томском водозаборе.

ЖСО предлагается также использовать в качестве сорбентов для извлечения тяжелых металлов из сточных вод и локализации отходов на иловых площадках. Поскольку основным минералом в составе ЖСО является гетит, то, проводя аналогию между геохимическим поведением гетита почв и гетита ЖСО, можно ожидать, что ЖСО способен выполнять роль сорбента для многих металлов, содержащихся в сточных водах. Для проверки этой гипотезы авторами [10, 14] были выполнены эксперименты по адсорбции тяжелых металлов ЖСО, а также смешиванию и совместному хранению осадков сточных вод гальванических производств и водопроводного осадка. Использовались реальные сточные воды и имитирующие их модельные растворы с заданным содержанием поллютантов. О степени очистки воды судили по разности между содержанием тяжелых металлов в исходной воде и после контакта с ЖСО. Были установлены катионы, которые имеют предпочтительную адсорбцию на ЖСО – Co^{+2} , Co^{+3} , Ni^{+2} , Ca^{+2} , Zn^{+2} , Cd^{+2} , Pb^{+2} и получены следующие ряды, различающиеся для исходных вод, в зависимости от их состава: 1) $\text{Cu} > \text{Zn} > \text{Co} > \text{Pb} > \text{Mn}$; 2) $\text{Pb} > \text{Zn} > \text{Cd}$; 3) $\text{Cu} > \text{Pb} > \text{Zn} > \text{Co} > \text{Cd}$. Некоторые разногласия в поведении металлов в ходе очистки стоков объясняются влиянием внешних факторов: значениями pH, наличием комплексообразователей, конкурентной адсорбцией. Высокая поглощающая способность ЖСО в отношении тяжелых металлов может быть использована, во-первых, для выделения последних из сточных вод, во-вторых, для обработки осадков гальванических производств. Например, возможна организация иловых площадок, где вместе с ЖСО размещаются осадки сточных вод гальванических производств. Для предотвращения миграции металлов за пределы площадки необходимо соблюдение последовательности слоев (снизу вверх): глина, ЖСО, осадки сточных вод, содержащие тяжелые металлы, известь (если $\text{pH} < 7$, то необходимо довести его до 8).

В работе [8] при попытке получения пигмента из ЖСО (станция водоподготовки Томского водозабора) было показано, что нагревание высушенного образца в тигле до 400°C приводит к неконтролируемому увеличению температуры в порошке выше 600°C и его спеканию в плотную массу, имеющую черный цвет. Для исключения спекания порошка была предложена методика получения пигмента с использованием вращающейся печи и с применением автоматического питателя. По данной методике был получен пигмент кофейного цвета. Авторами [27] разработан и экспериментально проверен более простой способ получения пигмента из ЖСО. Для получения пигмента исходный осадок высушивался, измельчался и обжигался в муфельной печи при температуре выше 600°C . После остывания он приобретал насыщенный красный цвет. Изучена также возможность использования полученного пигмента в производстве окрашенных строительных композиционных материалов. В частности, при изготовлении опытных образцов смешивались сухие компоненты: прокаленный шлам и кварцевый песок. В качестве связующего исполь-

зовался водный раствор силиката натрия с силикатным модулем $m=3$. Разработан и экспериментально проверен способ получения железоксидного пигмента из шлама водоподготовки путем его обжига в интервале температур 600–800⁰С. С помощью комплекса физико-химических методов анализа установлено, что в составе полученного пигмента преобладающей фазой является α -гематит. Полученные материалы имели краснокирпичный цвет, обладали высокой прочностью, водостойкостью и термостойкостью. Лучшие результаты по физико-механическим показателям были получены для образцов с одинаковым соотношением прокаленного шлама и кварцевого песка. Оптимальным содержанием водного раствора силиката натрия $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \times n\text{H}_2\text{O}$ в композиционной смеси является 20–21 мас.%. Установлена возможность использования железоксидного пигмента в производстве цветных строительных материалов в качестве красителя для цементно-песчаных смесей при производстве тротуарной плитки, черепицы и других объемно-окрашенных изделий (оптимальное содержание пигмента в цементно-песчанной смеси по показаниям прочности при сжатии и цвету составляет 4%) [28].

В работе [1] предлагается безотходная технология нейтрализации и обезжелезивания природных и промышленных сточных вод, обработка осадков которых исключает применение фильтров. В основе технологии использован процесс окисления двухвалентного железа с одновременным повышением рН, последующим образованием гидроксида железа и выделением его при отстаивании. Нейтрализация и обезжелезивание вод достигается применением новых технических решений, заключающихся в использовании отходов предприятий по производству стройматериалов, расположенных в Азербайджане (Апшерон) и Украине (Донбасс). Технология включает новый способ обезвоживания образующегося в ходе очистки вод железосодержащего осадка. Суть процесса заключается в обработке осадка путем введения в сгущенный осадок полиакриламида, перемешивания с последующим добавлением вспомогательного фильтрованного вещества, содержащего кальций, перемешивания до получения однородного структурированного осадка с последующим механическим обезвоживанием. В качестве вспомогательного вещества использовали штыб от производства, например, мела на Рубежанском заводе стройматериалов или известнякового камня кубика (Апшерон). При этом полиакриламид вводили в количестве 0,1–1,0 %, а штыб – 10–100 % от массы сухого вещества осадка.

Предлагаемая технология нейтрализации и обезжелезивания кислых природных и сточных вод предусматривает использование коррозионно-стойких материалов (нержавеющие стали, чугун, специальные пластмассы и др.) и наличие (рис. 2):

- водозаборного сооружения;
- камеры аэрации и введения известнякового штыба, в которой должно происходить интенсивное перемешивание воды со штыбом с одновременным аэрированием воды (по 10 – 20 мин на каждую порцию воды). Аэрирование обеспечивают с помощью воздушных компрессоров или специальных конструкций аэраторов-разбрызгивателей. Устройство камеры должно предусматривать выведение из нее осадков. Для этого можно применять многосекционную конструкцию камеры конусообразной формы;
- контактного резервуара, служащего для завершения процесса окисления двухвалентного железа в трехвалентное и полной нейтрализации воды. В этом резервуаре обес-

печивается постоянное перемешивание воды с остатками штыба и полное выведение осадков. В случае неравномерности ее расхода конструкция контактного резервуара должна быть многосекционной;

– пруда-отстойника, в котором происходит процесс осветления воды.

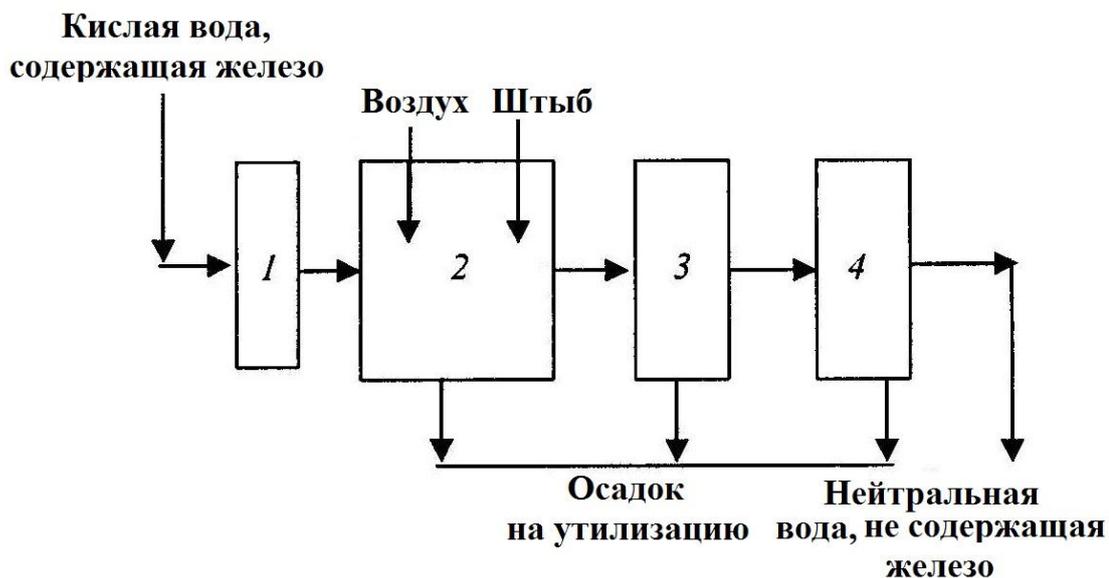


Рис. 2. Технологическая схема нейтрализации и обезжелезивания воды [1].

1 – водозаборное сооружение, 2 – камера аэрации и ввода известнякового штыба, 3 – контактный резервуар, 4 – пруд-отстойник

По мере накопления на дне пруда-отстойника осадков необходимо их систематическое удаление. Так как осадки представляют собою измельченную железную руду, то после утилизации их можно использовать при изготовлении облицовочных плит или в черной металлургии. После пруда-отстойника осветленная нейтральная вода не представляет опасности для окружающей среды и может быть использована либо для технических целей, либо сбрасываться в открытые водоемы.

Таким образом, к настоящему времени отечественными специалистами в той или иной степени обоснованы основные направления утилизации и предложены конкретные способы практического использования ЖСО. Безусловно, окончательное решение по выбору методов обработки и утилизации осадка должно приниматься только с учетом технико-экономического сравнения различных вариантов и их эколого-гигиенической значимости в каждом конкретном случае. В любом случае необходимо дальнейшее развитие исследований по изучению особенностей образования и важнейших свойств ЖСО на различных водопроводных станциях, совершенствование известных и разработка новых способов его экономически и экологически оправданной утилизации, их внедрение в практику. Это позволит значительно улучшить работу водоочистных сооружений, будет способствовать охране окружающей среды и обеспечит получение определенного экономического эффекта.

Литература

1. Алиев А.Ф. Безотходная технология обезжелезивания кислых вод // Химия и технология воды, 2007, т. 29, № 6, с. 574–581.
2. Алферова Л. И., Курочкин Е. Ю., Дзюбо В. В. Повторное использование промывных вод и утилизация осадка на станциях очистки подземных вод // http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3169.
3. ГОСТ Р 51641-2000. Материалы фильтрующие зернистые. Общие технические условия. – М.: Изд-во стандартов. 2000. – 14 с.
4. Золотова Е.Ф., Асс Г.Ю. Очистка воды от железа, фтора, марганца и сероводорода. – М.: Стройиздат, 1975. – 176 с.
5. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. – М.: Наука, 2004. – 677 с.
6. Кудрявцева Б.М. Гигиенические аспекты состояния водных объектов и питьевого водоснабжения населения Российской Федерации // Здоровье населения и среда обитания, 2000, № 6, с. 9–13.
7. Кулаков В.В., Сошников Е.В., Чайковский Г.П. Обезжелезивание и деманганация подземных вод. – Хабаровск: ДВГУПС, 1998. – 89 с.
8. Лисецкий В.Н., Брюханцев В.Н., Андрейченко А.А. Улавливание и утилизация осадков водоподготовки на водозаборах г. Томска. – Томск : Изд-во НТЛ, 2003. – 164 с.
9. Лукашевич, О.Д. Совершенствование хозяйственно-питьевого водопользования для повышения уровня его экологической безопасности (на примере Западной Сибири). – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2006. – 350 с.
10. Лукашевич О. Д. Геоэкологическая безопасность хозяйственно-питьевого водопользования в Верхнем и Среднем Приобье: Автореф. дис.... док. техн. н. – Томск, 2007. – 48 с.
11. Лукашевич О.Д., Андрейченко А.А., Алгунова И.В. Вопросы ресурсосбережения и охраны природы при использовании осадков промывных вод // Вестник ТГАСУ, 2003, № 2, с. 252–259.
12. Лукашевич О.Д., Алгунова И.В., Саркисов Ю.С. Физико-химические аспекты комплексного использования осадков промывных вод // Вестник ТГАСУ, 2004, №1, с. 129–145.
13. Лукашевич О.Д., Барская И.В., Усова Н.Т. Интенсификация осаждения и утилизация железистых осадков промывных вод скорых фильтров // Вода: технология и экология, 2008, № 2, с. 30–41.
14. Лукашевич О.Д., Усова Н.Т., Барская И.В. Комплексное решение технологических проблем очистки сточных вод и утилизации железосодержащих осадков станций водоподготовки // Вестник ТГАСУ, 2009, № 1, с. 153–158.
15. Лысов В.А., Бутко А.В., Баринов М.Ю. и др. Утилизация гидрокислых осадков водопроводов юга страны // Водоснабжение и санитарная техника, 1992, № 7, с. 9–10.
16. Любарский В.М. Осадки природных вод и методы их обработки. – М.: Стройиздат, 1980. – 128 с.
17. Мушэ П., Герасимов Г.Н. Биологическая деферризация воды: обоснование и реализация // Водоснабжение и санитарная техника, 2006, № 11, ч. 2, с. 40–47.
18. Николадзе Г.И. Водоснабжение. – М.: Стройиздат, 1979. – 238 с.
19. Новоселова Л.Ю., Сироткина Е.Е., Погадаева Н.И. Утилизация осадков водоподготовки в процессах извлечения нефти из водных сред // Нефтехимия, 2008, т. 48, № 1, с. 64–68.

20. Патент РФ № 34880. Установка для получения керамического фильтрующего материала с добавлением железистых отходов водоочистных сооружений/ Лукашевич О.Д., Алгунова И.В // БИПМ, 2003, № 35, с. 656.

21. *Погадаева Н.И.* Извлечение нефтяных примесей и фенола из водных сред сорбентами на основе железосодержащего осадка водоочистки: Автореф. дис... канд. техн. наук. – Томск, 2010. – 23 с.

22. *Покровский Д.С., Дутова Е.М., Rogov Г.М. и др.* Минеральные новообразования на водозаборах Томской области. – Томск : Изд-во НТЛ, 2002. – 176 с.

23. Руководство по контролю качества питьевой воды. Т. 2: Гигиенические критерии и другая релевантная информация: Пер. с англ. – Женева: ВОЗ, 1987. – 325 с.

24. *Саркисов Ю.С., Дзюбо В.В., Алферова Л.И., Курочкин Е.Ю.* Использование железосодержащих осадков водоочистных станций для производства красящих // Проблемы строительного материаловедения. – Томск, 1998, с. 88–91.

25. *Сироткина Е.Е., Погадаева Н.И., Фуфаева М.С.* Криогель-сорбент на основе поливинилового спирта и железосодержащего осадка для удаления нефти и фенола из воды // Известия Томского политехнического университета, 2010, т. 317, № 3, с. 49–53.

26. *Станкевич К.С., Усова Н.Т., Лукашевич О.Д.* Выделение и утилизация отходов водоподготовки Томского водозабора // Использование и охрана природных ресурсов в России, 2010, № 3, с. 12–15.

27. *Усова Н.Т., Кутугин В.А., Лотов В.А., Лукашевич О.Д.* Композиционные материалы на основе высокожелезистого шлама водоподготовки // Известия Томского политехнического университета, 2011, т. 319, № 3, с. 36–39.

28. *Усова Н.Т., Кутугин В.А., Лукашевич О.Д., Торопков Н.Е.* Получение цветных цементов на основе железооксидных отходов и исследование их свойств // 1-я Междунар. Российско-Казахстанская конф. по химии и химической технологии, с. 201–204 // http://conferences.tpu.ru/assets/files/russian-kazakhstan-chemistry/76poluchenie_tsvetnih_tsementov_na_osnove_zhelezooks.pdf.

29. *Усова Н.Т., Лукашевич О.Д., Герб Л.В., Гончаров О.Ю.* Утилизация отходов водоподготовки станций обезжелезивания // Вестник ТГАСУ, 2011, № 2, с. 113–123.

30. Химическая энциклопедия: В 5 т.: Т. 1. – М.: Сов. энциклопедия, 1988. – 623 с.

31. *Янин Е.П.* Осадок железосодержащих подземных питьевых вод (образование, особенности, проблемы утилизации) // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды, 2008, № 4, с. 26–57.