

ОГРАНИЧЕНИЕ ПОСТУПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В КОМПОНЕНТЫ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ С ГОРОДСКИМИ СТОЧНЫМИ ВОДАМИ

Брылка Е., Марцунь В.

*Белостокский технический университет,
Белорусский государственный технологический университет*

На сооружениях биологической очистки, какими являются коммунальные очистные сооружения, тяжелые металлы удаляются с осадками сточных вод (осадок первичных отстойников и избыточный активный ил) и сбрасываются в водоприемники с очищенными сточными водами. Как правило, существующие очистные сооружения не предполагают селективного извлечения тяжелых металлов, что связано с проблемами их удаления из водных потоков, характеризующихся малыми концентрациями металлов и большими расходами сточных вод.

Основными направлениями ограничения эмиссии тяжелых металлов в водоприемники с коммунальными сточными водами является внедрение эффективных локальных систем очистки сточных вод от тяжелых металлов перед сбросом в канализационные сети и обезвреживание осадков коммунальных сточных вод, содержащих тяжелые металлы.

Наибольший вклад в общий объем поступления тяжелых металлов на городские очистные сооружения вносят гальванические производства. Со сточными водами этих производств сбрасываются Cr, Ni, Zn, Cu, Cd и другие металлы.

Существенное сокращение эмиссии тяжелых металлов со сточными водами возможно при создании локальных схем утилизации, регенерации и обезвреживания сточных вод гальванического производства.

Одним из направлений сокращения сброса ионов тяжелых металлов является организация рациональных схем промывки деталей и создание условий для удаления металлов из промывных вод. При электроэкстракции ионов металлов остаточная концентрация может быть снижена до 0,005-1,0 г/л в зависимости от металла.

Для отработанных растворов, которые использовались для нанесения покрытий химическим способом, возможно использование метода прямого электролиза или его сочетания с ионным обменом.

При максимальном ограничении поступления тяжелых металлов с производственными сточными водами основным источником их поступления в окружающую среду являются осадки сточных вод, главным образом биомасса избыточного активного ила.

В настоящее время наиболее распространенным методом очистки промышленных и муниципальных стоков во всем мире является биологическая очистка сточных вод. Образующийся при биочистке избыточный активный ил (ИАИ) может быть ценным источником биомассы, прежде всего для различных отраслей сельского хозяйства, при условии решения проблемы тяжелых металлов (ТМ), которые сорбируются активным илом в процессе очистки сточных вод. В настоящее время ИАИ утилизируется в незначительных количествах и при размещении на иловых площадках или захоронении после обезвоживания является серьезным источником загрязнения грунтовых и подземных вод в первую очередь тяжелыми металлами. Для выбора оптимального метода утилизации избыточного активного ила необходимы данные, характеризующие аккумуляцию металлов в процессе биологической очистки сточных вод, и о формах, в которых металлы накапливаются в илах.

Сточные воды, отводимые с территории населенных пунктов на коммунальные сооружения биологической очистки, практически всегда содержат тяжелые металлы, что обусловлено сбросом в систему канализации производственных сточных вод. Содержащиеся в очищаемых сточных водах тяжелые металлы удаляются с сырым (первичным) осадком, образующимся в результате механической очистки и с избыточным активным илом. В настоящее время избыточный активный ил, как и сырой осадок, используется в незначительных количествах и при размещении на иловых площадках, шламонакопителях или захоронении является источником загрязнения почвы и подземных вод, главным образом соединениями токсичных тяжелых металлов.

В результате исследований биологической очистки на очистных сооружениях г. Минска получены данные (табл. 1), характеризующие рассматриваемую технологию с позиции очистки сточных вод от тяжелых металлов. Как видно из представленных данных, стадия контактирования сточных вод с активным илом является наиболее значимой при удалении металлов из очищаемой воды. Для системы сточная вода — активный ил аккумуляция тяжелых металлов была оценена коэффициентом накопления, который представляет собой отношение концентрации металла в избыточном

активном иле к концентрации его в сточной воде, поступающей на биологическую очистку.

Таблица 1

Эффективность очистки сточных вод от тяжелых металлов

Металл	Общая степень очистки, %	Степень очистки в аэротенке, %	Коэффициент накопления тяжелых металлов активным илом
Cu	61,4	55,8	3940
Zn	76,4	66,4	4690
Ni	59,4	50,9	3590

Моделирование процесса биохимической очистки в лабораторных условиях позволило установить, что аккумуляция тяжелых металлов активным илом, которая имеет место в процессе биологической очистки воды, носит избирательный характер. По способности аккумулироваться биомассой активного ила исследуемые металлы можно расположить в следующей последовательности: $Zn > Cu > Pb > Ni > Cd$.

Установлено, что по сравнению с процессами участия металлов в метаболизме микроорганизмов активного ила большее значение в количественном отношении имеет процесс их удаления за счет совместного осаждения с частицами осадка в виде гидроксидов, гидроксокомплексов соответствующих металлов. При удалении растворенных форм тяжелых металлов из сточной воды процессы комплексообразования с участием внеклеточных полимеров в количественном отношении более значимы, чем процессы, связанные с участием тяжелых металлов в метаболизме микроорганизмов активного ила.

На основе обобщения результатов исследования технологии биологической очистки сточных вод установлена зависимость между содержанием тяжелых металлов в активном иле и в очищаемой сточной воде. Содержание тяжелых металлов в активном иле для диапазона концентраций, соответствующего возможному содержанию металла в коммунальных сточных водах ($0,005-6,0 \text{ мг/дм}^3$), может быть определено по соотношению:

$$\lg C_{\text{АИ}} = A + (B + 1) \lg C_{\text{СВ}},$$

- где $C_{\text{АИ}}$ – содержание металла в активном иле;
 – $C_{\text{СВ}}$ – концентрация металла в очищаемой сточной воде;
 – A, B – коэффициенты, зависящие от металла (табл. 2).

Таблица 2

Значения коэффициентов уравнения

Металл	Коэффициент	
	А	В
Cu	3,15	0,72
Zn	3,26	0,83
Ni	1,97	0,95
Cd	2,34	0,72
Pb	2,38	0,73

Значения коэффициентов накопления, рассчитанные как на основании баланса для очистных сооружений по тяжелым металлам, так и результатов лабораторных исследований, свидетельствуют о значительном концентрировании тяжелых металлов активным илом в процессе биологической очистки сточных вод. Это позволяет говорить о том, что решить проблему тяжелых металлов в осадках сточных вод невозможно только за счет ограничения поступления металлов с очищаемыми сточными водами. Необходимы меры по регулированию состава осадков в плане содержания тяжелых металлов.

Проведены исследования обезвреживания избыточного активного ила за счет извлечения тяжелых металлов путем кислотной обработки с использованием синтетического (катионит КУ-2) и природного (высококремнистый цеолит – клиноптилолит) ионообменных материалов.

Максимальная эффективность извлечения всех рассмотренных тяжелых металлов была достигнута при использовании катионита КУ-2 и составила от 65 % для Cu и до 88 % для Zn при наиболее жестких условиях обработки (рН осадка 2,0-2,5). При использовании цеолита максимальная эффективность удаления тяжелых металлов была ниже, чем в случае катионита.

В случае захоронения или складирования осадков сточных вод, ограничение подвижности (иммобилизация) тяжелых металлов, как метод предварительной обработки осадков перед их депонированием, выступает необходимым условием, позволяющим ограничить поступление токсичных металлов в почву и подземные воды. Учитывая объем ежегодно образующихся осадков и условия их размещения в окружающей среде, материалы, которые предполагается использовать для фиксации подвижных форм тяжелых металлов, должны отвечать ряду требований: дешевизна и доступность, стойкость к воздействию природно-климатических факторов

и биодegradации, обеспечивать надежную фиксацию тяжелых металлов. Таким требованиям, прежде всего, отвечают неорганические дисперсные природные материалы.

Проведены исследования по оценке эффективности обезвреживания избыточного активного ила с использованием бентонитовой глины и цеолитсодержащего трепела месторождений Республики Беларусь. Показано, что использование иммобилизирующих материалов позволяет уменьшить содержание подвижных форм тяжелых металлов на 54-90% в зависимости от металла.

Известно, что наиболее высокое накопление тяжелых металлов наблюдается в растениях при pH почвы менее 5,0. Иммобилизованные металлы не растворяются в ацетатно-аммонийном буферном растворе с pH=4,8, что свидетельствует о надежной фиксации тяжелых металлов в осадке.

Простота реализации исследованного способа обезвреживания на практике позволяет рекомендовать его для использования на иловых площадках, находящихся в эксплуатации длительное время и часто не отвечающих современным требованиям в части защиты подземных вод от загрязнения. Это позволит существенно уменьшить поступление тяжелых металлов в подземные воды.

Литература

1. Bruce A.M., Davis R.D. Sewage sludge disposal: Current and future options // *Water Science Technology*. – 1989. – Vol. 21. – P. 1113 - 1128.
2. Mininni G., Santori M. Problems and perspectives of sludge utilization in agriculture // *Ecosystem Environment*. – 1987. – Vol. 19. – P. 291 - 311.
3. Miller W.P., Martens D.C., Zelazny L.W. Effect of sequence in extraction of trace metals from soils // *Soil Science Society of America Journal*. – 1986. – Vol. 50. – P. 598 - 601.
4. Обухов А.И., Плеханова И.О. Атомно-абсорбционный анализ в почвенно-биологических условиях. – М.: Изд-во МГУ, 1991. – С. 94 - 100.
5. Садовникова Л.К., Касатиков М.В. Влияние осадков сточных вод и извести на подвижность соединений тяжелых металлов в дерново-подзолистой почве // *Агрoхимия*. – 1995. – № 6. – С. 81-87.
6. Марцупь В.Н., Мошев А.Б. Исследование процесса аккумуляции тяжелых металлов активным илом // *Экотехнология и ресурсосбережение*. – 2000. – № 4. – С. 57-60.