

## ГЕОТУБНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД И ПРОБЛЕМЫ ДЕЗОДОРИРОВАНИЯ БИОГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ



**В.В. КОВАЛЕВ**, ДОКТОР ХИМИЧЕСКИХ НАУК,  
Институт исследований и инноваций  
Государственного университета Молдовы



**О.В. КОВАЛЕВА**,  
ДОКТОР ХАБИЛИТАТ ХИМИЧЕСКИХ НАУК,  
Институт химии

**„Дело не в том, что люди не могут найти решение, – а в том, что они обычно не могут увидеть проблему“.**

*Гилберт Кит Честертон,  
английский писатель*

### 1. Введение

Городские очистные сооружения, как правило, относятся к экологически опасным производствам, связанным с разнообразием химических, микробиологических, биохимических и других процессов с участием активных компонентов [1]. Здесь используется множество сложных технологий, которые можно отнести к наукоемким, охватывающих широкий круг знаний. Они отличаются масштабностью и распространяются практически на все области человеческой жизни. В течение последних 10-15 лет в Кишиневе мы столкнулись с проблемой загрязнения воздушной среды и зловонием, охватившим почти половину столичного города. Были пред-

ложены различные объяснения этого явления, оно стало предметом обсуждения на парламентском уровне, однако истинного объяснения первичных причин и источника зловония не было дано.

Характерной особенностью выделения зловония является цикличность процесса, по мере наступления осеннего похолодания он снижается и исчезает, а с наступлением нового летнего сезона возобновляется.

По мнению сотрудников предприятия АПЭ-Канал, у неприятного запаха есть две основные причины. **Первая причина** – это жидкие неконтролируемые сбросы промышленных предприятий города, содержащие высокотоксичные биохимически трудно деградируемые органические соединения, которые без предварительной очистки поступают на очистные сооружения биологической очистки, выводя из строя микрофлору. Эта важная самостоятельная причина

может быть ликвидирована на законодательном уровне, как это делается в цивилизованных странах мира и делалось в доперестроечные годы с помощью законодательных актов, строго обязывающих оснащать локальными очистными сооружениями предприятия-загрязнители. Одновременно должна быть предусмотрена система жесткого инспекционного контроля сбросов по требованиям ПДК, что даст возможность местному водохозяйственному предприятию «рычаги» для управления качеством очистки сбрасываемых сточных вод.

По этой же причине частым явлением была гибель микрофлоры очистных сооружений города и сбросы недостаточно очищенных сточных вод в реку Бык, откуда черпается вода для полива окрестных полей для выращиваемых овощей и фруктов, и попадание загрязнений в Днестр.

Вместе с тем, эти факторы являются специфическими для данного вида производства, и не являются основными в возникновении дурных запахов.

**Вторая причина** – устаревшая одноступенчатая аэробная технология водоочистки и обработки осадков. Она базируется на половинчатом технологическом решении, включающем процессы с мелкопузырьковым аэрированием, основанным на кислородном окислении органических ингредиентов в воде. Продуктами окисления органики являются выделяющийся  $\text{CO}_2$ , а также недостаточно сброженные органические осадки активного ила, образующиеся в виде пульпы с высокой остаточной влажностью 90-95%.

В начале 2000-х годов по инициативе примэрии города было принято решение об использовании на очистных сооружениях так называемых «геотуб» голландского производства (Фото 1). Однако это было сделано без достаточного обоснования, проверки и изучения последствий их использования в местных климатических условиях. В то же время, первоначальное их назначение, обоснованное разработчиком и производителем, не было связано с очисткой сточных вод. Геотубы главным образом предназначались для проведения инженерно-строительных и гидротехнических работ на морском шельфе.



**Фото. 1.** Общий вид геотубного участка на очистных сооружениях

Аргументом для использования геотуб позволило обеспечить обезвоживание осадка за счет физического выдавливания влаги через пористый материал оболочки под весом самого осадка. Однако, как свидетельствуют результаты, этот процесс оказался недостаточно эффективным. Повышенная остаточная влажность складированных в геотубах осадков в виде пульпы приводит к вторичному развитию биохимического брожения жидкой биомассы с выделением биогаза со зловонным запахом. К тому же дренажные воды отравляют подземные горизонты.

В литературе [2] описан опыт эксплуатации геотуб, который, однако, это относится к более северным, более холодным регионам, и не может быть приемлемо в жарком климате. В то время, изучение характеристик их применения при обрабатываемых осадках в более теплых, южных климатических условиях не проводилось. Это не дало возможности предвидеть и устранять их негативное воздействие в качестве источника вредных запахов в атмосферу города.

Таким образом, положительные свойства геотуб, благодаря их высокой пористости, способствующей обезвоживанию осадков, обернулись отрицательной стороной, что привело к проникновению зловонных газообразных продуктов в атмосферу через их пористую поверхность.

Еще один фактор – черный цвет пористого материала геотруб, который способствует в лет-

нее время поглощению солнечной энергии, перегреву их поверхности и соответствующему нагреву осадков внутри их, что интенсифицирует биохимические процессы, приводя к образованию дурно пахнущих газообразных выделений через пористую структуру геотуб и их выделение в атмосферу.

## 2. Оценка причин возникновения зловонных запахов

На основе изучения особенностей биохимических процессов и имеющегося опыта, нами выдвинуто предположение, что основной причиной зловония является образование и выделение серосодержащих органических соединений из класса меркаптанов общей химической формулы R-SH, где R – функциональные группы органических соединений, SH – тиольная группа (по научной классификации меркаптаны называют «тиолами»). Они образуются при взаимодействии продуктов анаэробного сбраживания органической биомассы (так называемого дигестата), с сероводородом, который всегда выделяется в составе биогаза. Эти процессы протекают в анаэробных условиях сбраживания органических отходов в геотубах так же, как это происходит в биогазовых реакторах. Однако геотубы (условно говоря) стали выполнять функцию своеобразных биогазовых реакторов для формирования и выделения меркаптанов.

Следует отметить, что механизм микробиологической трансформации соединений серы и образования меркаптанов слабо отражен в научной литературе ввиду сложности их химико-аналитического контроля из-за низких концентраций в биологических средах и в составе выделяющихся газообразных продуктов.

В то же время в промышленных биогазовых системах все газообразные компоненты биогаза, совместно с образовавшимися меркаптанами, концентрируются и отводятся через газопровод на утилизацию в когенерационную установку, где сжигаются вместе с другими горючими компонентами для получения электрической и тепловой энергии.

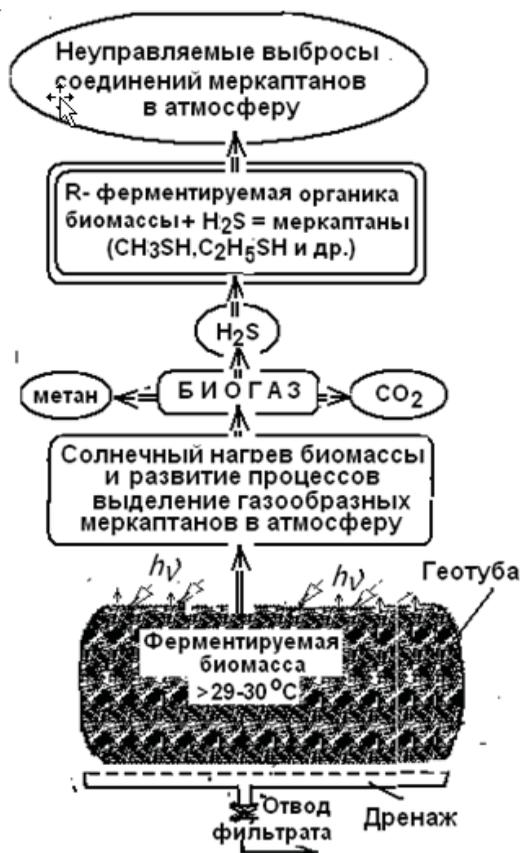


Рис.1. Схема последовательности биохимических процессов в геотубах и факторов, приводящих к образованию вредных газовых выбросов в атмосферу

Что касается меркаптан-содержащего биогаза, выделяющегося через пористую структуру материала оболочек геотуб, то его практически невозможно сконцентрировать, поскольку суммарная активная пористая площадь поверхности геотуб составляет порядка 2,0-3,0 тыс.м<sup>2</sup>, при том, что их блок может включать несколько десятков единиц.

В результате солнечного нагрева биомассы в геотубах и по мере достижения оптимальной температуры, составляющей 30-33°C, в их объеме начинают развиваться процессы с выделением биогаза, в составе которого содержатся как метан (CH<sub>4</sub>), моно- и диоксид углерода (CO и CO<sub>2</sub>), молекулярный водород (H<sub>2</sub>), которые не имеют запаха, так и реакционно-активный агрессивный сероводород (H<sub>2</sub>S) и образующиеся при

этом меркаптаны с характерным неприятным резким запахом (рис.1).

Сероводород всегда присутствует в составе биогаза, получаемого в процессах анаэробного сбраживания биомассы. Его количество может составлять от 0,5 до 3 %. При этом, источником соединений серы могут быть ее неорганические кислородные и органические соединения, включая белки и др. Образование сероводорода происходит также и в результате жизнедеятельности специфических анаэробных бактерий, восстанавливающих окисленные соединения серы за счет энергии, добываемой ими путем окисления некоторых органических веществ. В природных условиях происходит разложение содержащих серу органических соединений с формированием меркаптанов, в том числе в виде газообразных продуктов – этантиола ( $C_2H_5SH$ ) и метилтиола ( $CH_3SH$ ).

Выделение сероводорода при анаэробном брожении биомассы происходит по нескольким механизмам [3]. Одним из них является разложение органического вещества в процессе аммонификации, что приводит к его выделению. Другие глобальные процессы биотрансформации соединений серы осуществляются с помощью серобактерий, окисляющих соединения серы, и другого рода бактерий, восстанавливающих их. К окислительным процессам, не связанным с деятельностью серобактерий, относится окисление серосодержащих органических соединений. Образование сероводорода зависит от температуры воды и концентрации органических загрязнений. При повышении температуры на  $10^\circ C$  скорость сульфат-редукции возрастает в 3 раза. Поэтому в теплое время года в сточных водах и в составе осадков при их ферментации чаще всего образуется сероводород. При большом содержании органических соединений образование сероводорода ускоряется.

Сероводород в анаэробных условиях, при недостатке кислорода воздуха в объеме геотуб, трансформируется в меркаптаны, согласно реакции:  $H_2S + ROH = RSH + H_2O$ . Этот процесс протекает биогенным путем в результате разложения органических веществ сульфо-бактериями и гнилостной микрофлорой, приводящей к пре-

ращению сульфат-ионов в сульфит-ионы. В анаэробных условиях в процессе сульфатного анаэробного дыхания бактерий с использованием сульфатов в качестве конечного акцептора электронов сульфат-редуцирующие бактерии восстанавливают серу до сульфит-ионов и образованием  $H_2S$ . Даже наша питьевая вода может содержать до 300 мг/л сульфатов.

Таким образом, при недостаточном поступлении кислорода воздуха во влажных условиях внутри геотубов начинает интенсивно развиваться неуправляемый процесс самопроизвольного анаэробного брожения биомассы с выделением биогаза, как это обычно протекает в биогазовых реакторах. При этом черный цвет геотубов еще больше ускоряет солнечное нагревание ферментируемой биомассы и интенсифицирует анаэробные процессы в них, следствием чего является выход биогаза через пористую структуру стенок геотубов в атмосферу.

В состав образующегося биогаза входят главным образом метан и углекислый газ, не имеющие запаха, а также аммиак и практически всегда выделяющийся сероводород в количестве 1-3 об.%. При этом сероводород, как наиболее агрессивный газ, реагирует с биохимически разлагаемыми органическими компонентами в нагретой ферментируемой биомассой, что приводит к образованию одного из наиболее дурно пахнущих и химически стойких газообразных соединений из класса меркаптанов, выделяющихся в атмосферу через микропоры геотубов.

Предельно-допустимые концентрации меркаптанов в воздухе составляет  $1 \cdot 10^{-5}$  мг/куб.м. Относительно низкие их концентрации в воздухе, однако, определяются органолептически. Так, человеческий нос начинает чувствовать меркаптаны, начиная с их концентрации в воздухе  $10^{-8}$  мг/м<sup>3</sup>, в то время как современные аналитические хроматографы могут определять их начиная с концентраций  $10^{-4}$  –  $10^{-5}$  мг/м<sup>3</sup>.

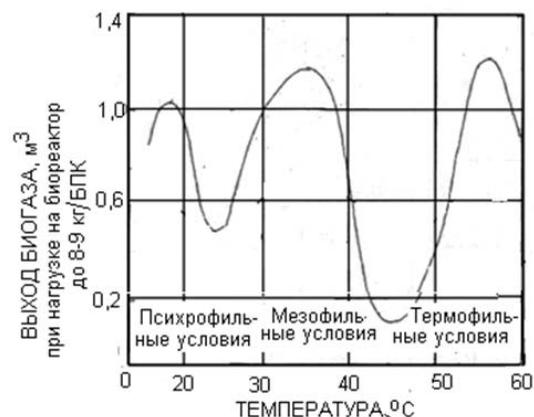
В стандартных процессах биохимической очистки сточных вод применяются сооружения с двухстадийной обработкой. Первая стадия основана на аэробных процессах, осуществляемых с помощью активного ила в сооружениях типа аэротенков. При этом образуется сильно обводненный нестабилизированный осадок, ко-

торый подлежит дальнейшей обработке на второй – анаэробной стадии брожения. Однако реализация анаэробного процесса до последнего времени на Кишиневских очистных сооружениях фактически производилась в геотубах, а не метантенках закрытого типа, как это производится во всем мире. Оправданием местных властей этому была необходимость больших капитальных вложений для строительства метантенков и непонимание их важности.

Для этой стадии процесса важным является температурный режим, а продолжительность сбраживания биомассы может составлять до 15-20 суток. Как видно из рис. 2, процесс выделения биогаза характеризуется тремя температурными пиками, при этом в интервале 10-20°C наблюдается психрофильный режим, при 28-35°C – мезофильные условия сбраживания биомассы, а при 48-55°C реализуются термофильные условия процесса.

Согласно данным Д. Унгурияну [4], удельный выход биогаза в расчете на 1 кг удаленной БПК колеблется, в зависимости от органической нагрузки биореактора и температурного режима анаэробной очистки, в пределах от 0,117 м<sup>3</sup>/кг ХПК при температуре 10°C и длительности обработки 0,67 суток, до 0,520 м<sup>3</sup>/кг ХПК при температуре 35°C и длительности обработки 1,5 суток. Поэтому анаэ-

робная обработка протекает наиболее интенсивно при мезофильном режиме (30-35°C).



**Рис. 2.** Влияние температуры на выход биогаза в процессах анаэробного сбраживания в зависимости от нагрузки ферментируемой биомассы в биореакторе

### 3. Свойства и аналитическое определение меркаптанов

Меркаптаны (тиолы, тиоспирты) – газообразные и легколетучие органические производные сероводорода. Мало растворимы в воде, лучше – в едких щелочах, этаноле и диэтиловом эфире. Физические свойства и гигиенические нормативы меркаптанов приведены в Табл. 1 [5].

**Таблица 1**  
Свойства меркаптанов

Меркаптан	Агрегатное состояние	Ткип., °C	Тпл., °C	Плотность, г/см <sup>3</sup>	ПДК или ОБУВ*, мг/м <sup>3</sup>
Метилмеркаптан CH <sub>3</sub> SH	газ	5,95	-123,0	0,8665	1 · 10 <sup>-4</sup> (ПДК)
Этилмеркаптан C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> SH	ж/газ	35,0	-147,3	0,8391	3 · 10 <sup>-5</sup> (ОБУВ)
n-Пропилмеркаптан C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> SH	ж	67,8	-111,5	0,8415	5 · 10 <sup>-5</sup> (ОБУВ)
n-Бутилмеркаптан C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> SH	ж	98,5	-115,9	0,8416	3 · 10 <sup>-4</sup> (ОБУВ)

\* **Примечание:** ОБУВ-ориентировочные безопасные уровни в воздухе

Меркаптаны обладают сильным неприятным запахом. Они относятся ко второму классу опасности. В малых концентрациях запах вызывает тошноту и головную боль, в более значительных концентрациях – воздействует на нервную систему, вызывая судороги и паралич. Человеческий нос распознает запах меркаптанов (тиолов) в концентрации 10<sup>7</sup>-10<sup>8</sup> моль/л, которая, однако, является недоступной для химических физико-химических методов анализа.

Меркаптаны в очень низкой концентра-

ции вводят в природный газ для того, чтобы по их запаху можно было определить его утечки. Неприятным запахом обладают испражнения обитающего в Америке хорька скунса, которые содержат два соединения меркаптанов: 3-метил-1-бутантиол и 2-бутен-1-тиол. Человечество пока не придумало других более зловонных веществ, чем меркаптаны.

Химический анализ меркаптанов (метил-, этил-, пропил-, бутил-меркаптанов) в атмосферном воздухе проводят методом газовой хрома-

тографии с пламенно-фотометрическим или фотоионизационным детектором. Концентрирование из воздуха осуществляют на твердый сорбент с последующей термодесорбцией. Нижний предел измерения составляет: для метилмеркаптана – 0,0002 мкг, для этилмеркаптана – 0,0006 мкг, для н-пропилмеркаптана – 0,0020 мкг, для н-бутилмеркаптана – 0,0060 мкг. Наиболее эффективное концентрирование меркаптанов и сероводорода достигается путем поглощения пленкой химически активного раствора, нанесенного на непористый носитель.

Важной для экологии задачей является определение в атмосферном воздухе очень низких количеств меркаптанов ( $10^{-4}$  -  $10^{-5}$  мг/м<sup>3</sup>). В этом случае меркаптаны улавливают из воздуха в концентраторах, охлаждаемых жидким азотом или аргоном. Для этого воздух в количестве 3-30 л (расход 150 - 500 мл/мин) пропускают через ловушку (стеклянную или тефлоновую трубку длиной 25 - 30 см и диаметром 4 - 6 мм), заполненную стеклянными шариками диаметром 0,2 мм или сорбентом.

#### 4. Методы очистки воздуха от выбросов газообразных серосодержащих соединений

Наиболее токсичными и неприятно пахнущими газовыми примесями, образующимися в биохимических процессах, являются сероводород, меркаптаны и органические сульфиды. Методы очистки от них зависят от конкретных условий процесса и их концентрациями при выбросах в атмосферу. Важность очистки от серосодержащих соединений обусловлена также их химической агрессивностью при воздействии на металлы, вследствие чего они вызывают коррозию и выводят из строя дорогостоящее оборудование, если оно не выполнено из коррозионностойких материалов.

В связи с этим, процессы очистки от газообразных серосодержащих соединений можно подразделить на следующие две категории:

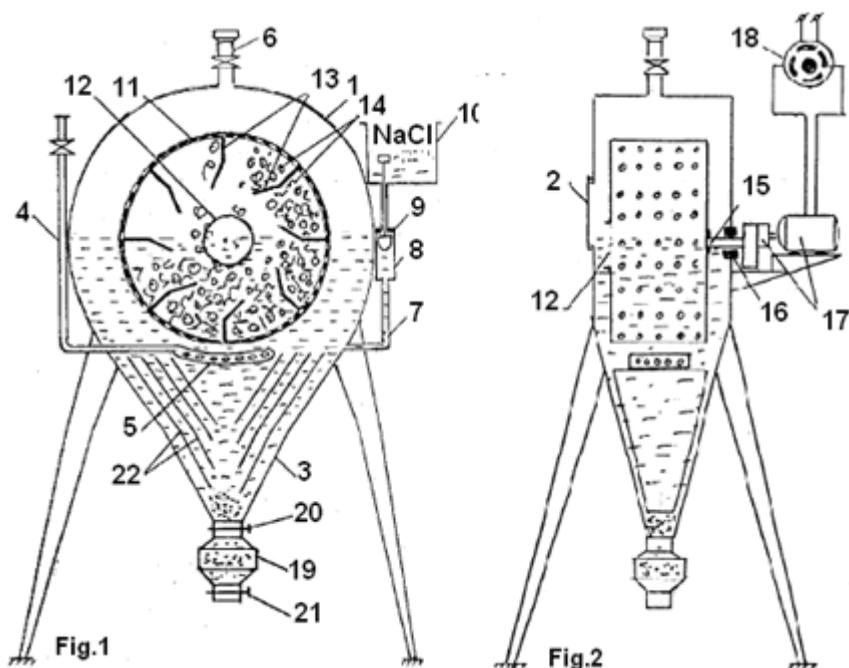
**Открытые** системы газовойделения типа высокопористых геотуб, где трудно обеспечить концентрирование газового потока. Решение локальных задач газоочистки при этом может являться дорогим и неэффективным. Поэтому легче предотвратить такие выбросы, чем их очищать различными методами.

Меры по предотвращению зловонных газовых выбросов из открытых биогазовых систем в геотубах следующие:

- Стабилизация биомассы осадка путем ингибирования процессов брожения и предотвращения газовойделения путем дозированного введения добавок дезинфектантов-окислителей типа перхлоратов либо гипохлоридов натрия или кальция в биомассу осадков, что позволит обеспечить демеркаптизацию от легких меркаптанов в геотубах [6]. В случае необходимости использования таких осадков в качестве удобрения почвы должен быть подобран инертный ингибитор;
- Покрытие поверхности геотуб зеркально-отражательными пленочными экранами для предотвращения перегрева биомассы в летние месяцы;
- При закачивании пульпообразного осадка в геотубы необходимо снизить его водосодержание с 90-95% (после аэробной обработки сточных вод) до 70-75% путем введения коагулянтов и флокулянтов, либо фильтрацией на вакуум-фильтрах или пресс-фильтрах. В настоящее время на Кишиневской городской станции задействованы две центрифуги для дегидратации пульпы осадков, образующихся на аэробной стадии водоочистки;
- Для обеспечения двухстадийной аэробно-анаэробной обработки следует ускорить строительство метантенков, которые в настоящее время находятся стадии монтажа, что существенно улучшит технологию очистки сточных вод и обработки осадка и позволит улучшить экологическую ситуацию.

**Закрытые** локализованные биогазовые процессы и установки, в которых серосодержащие соединения образуются в биореакторах и отводятся по трубо-газопроводам, что облегчает решение задач их очистки.

Один из процессов очистки газа от сернистых соединений является его обработка в суспензии гидроксида железа (Ш), генерируемого в установке согласно [7].



**Рис. 3.** Схема гальванохимической установки для получения суспензии гидроксида железа (объяснения – по тексту).

Установка (рис.3) включает внешний цилиндрический корпус 1 с герметичным окном 2, коническим основанием 3, патрубками ввода 4 и вывода биогаза 6 с барботером 5, а также патрубком ввода раствора хлорида натрия 7 с установленным на нем уровнемером 8 с поплавковым устройством 9 и вспомогательной емкостью 10. Внутри корпуса 1 соосно ему размещен вращающийся перфорированный барабан 11 с боковым отверстием 12, внутренними полками 13 и загрузкой 14, соединенный с помощью оси 15 через сальниковое устройство 16 с электроприводом 17, подключенным к командоаппарату 18. Внутри конического основания 3, имеющего бункер 18 с задвижками 19 и 20, размещены наклонные полки 21.

В качестве загрузки используется металлическая стальная стружка в смеси с коксом в весовом соотношении (3-5) : 1, помещаемая в 0,5-1%ный раствор хлорида натрия. Биогаз барботируется через загрузку при ее периодическом перемешивании во вращательных условиях. Уро-

вень раствора NaCl в корпусе находится в пределах половины высоты вращающегося барабана. Скорость вращения внутреннего барабана составляет 3-5 оборотов в минуту с периодичностью включения 3-5 минут. Эта периодичность определяется количеством пропускаемого биогаза, содержанием в нем сероводорода, а также скоростью накопления в растворе соединений железа [4]. Растворение железа происходит в поле короткозамкнутого гальванического элемента железо-кокс при переменном контакте компонентов гальванопары между собой. За счет разности электрохимических потенциалов железо поляризуется анодно и переходит в раствор в виде ионов  $Fe^{2+}$  без наложения тока от внешнего источника, а кокс в гальванопаре поляризуется катодно. Проведение процесса в растворе хлорида натрия позволяет увеличить электропроводность раствора и одновременно активизирует электродный процесс вследствие специфической активности ионов хлора, которые, с одной стороны, устраняют пассивацию металли-

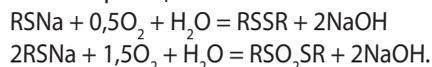
ческой загрузки, а с другой – способствуют разрыхлению на ее поверхности оксидной и сульфидной пленки, которая в процессе перемешивания загрузки непрерывно удаляется и обновляется.

Гидратированный оксид железа, нанесенный пропиткой на древесные опилки или стружки, во влажном состоянии реагирует с меркаптанами с образованием органических соединений в виде меркаптидов железа. При регенерации отработанной очистной массы кислородом воздуха, меркаптиды железа переходят в окись железа и дисульфиды или меркаптан. Окисление меркаптанов проводится в два этапа. В первой фазе окисления меркаптана гипохлоритом окисление не зависит от щелочности, хотя, если последняя значительно возрастает, то наблюдается тенденция к образованию дисульфидов.

Описанные методы газоочистки от меркаптанов в основном относятся к процессам нефтедобычи и нефтепереработки, где остро стоят проблемы необходимости очистки от дурнопахнущих и коррозионноактивных серосодержащих веществ. В настоящее время очистка легкого углеводородного сырья на нефтеперерабатывающих заводах от сероводорода и меркаптанов производится растворами моноэтаноламина и щелочи. Очистка газов от сероводорода производится путем каталитического окисления сероводорода с одновременным получением элементарной серы. Очищенный от сероводорода газ подвергается далее демеркаптанации регенерируемым раствором щелочи с использованием фталоцианиновых катализаторов. Газы, загрязненные неприятнопахнущим диметилсульфидом, после очистки от сероводорода и меркаптанов поступают на блок очистки регенерируемым органическим раствором комплексных солей меди.

Газообразные меркаптаны очищаются щелочным раствором в колонном экстракторе. При взаимодействии загрязненного меркаптаном газов в щелочном растворе происходит хеомсорбция метилмеркаптана с образованием нерастворимого в углеводородах меркаптида натрия по обратимой реакции:  $RSH + NaOH = RNa + H_2O$ .

Очищенный от меркаптанов газ для отделения от унесенного щелочного раствора направляется на сепаратор и затем выводится из установки. Насыщенный меркаптидами щелочной раствор по уровню раздела фаз выводится из экстрактора, подогревается в теплообменнике до 60 °С, и поступает в регенератор, в который подается расчетное количество воздуха под давлением 0,5 МПа. В регенераторе на поверхности катализатора КСМ [8] происходит регенерация щелочи по реакциям:



#### 4. Заключение

Проблема реконструкции очистных сооружений в столице Молдовы всегда стояла очень остро, но для городских властей до последнего времени она не была приоритетной. Действующие в настоящее время очистные сооружения были спроектированы более чем полвека назад и включали недостаточно эффективную одностадийную аэробную технологию очистки сточных вод, основанную на энергоемких процессах аэрирования.

При этом не учитывались сложный характер сбрасываемых загрязнений и все возрастающая с каждым годом нагрузка на них. Принимаемые меры, в частности, внедрение геотуб для обезвоживания осадков, оказались неэффективными, создав новую проблему – появление неприятных запахов в городе.

В то же время во всем мире принята за основу известная аэробно-анаэробная технология, после первичной аэробной обработки которой на второй стадии используются метантенки. Такие процессы не только обеспечивают улучшенные показатели очистки сточных вод, но и являются энергоэффективными благодаря использованию образующегося биогаза, направляемого на когенерационную установку для выработки тепловой и электрической энергии. Образующийся осадок после обезвоживания не содержит патогенную микрофлору и после компостирования может применяться в качестве эффективного органо-минерального удобрения.



**Фото 2.** Центрифуга первой очереди монтажа для обезвоживания осадков

Примером может быть функционирующая биогазовая станция у нас в Молдове в селе Фырлэденъ, район Хынчешть, где благодаря инициативе руководителя местного предприятия Т. Унгуряну построены два метантенка с суммарным объемом 5000 м<sup>3</sup>, позволившие получать экономическую выгоду при их эксплуатации.

Лишь только сейчас, когда острота экологической проблемы в городе обрела характер техногенной катастрофы, в связи с ежегодным зловонием, были найдены возможности модернизации городских очистных сооружений, начали строить метантенки, приобрели центрифуги (Фото 2) для обезвоживания осадков и вспомнили о законсервированной когенерационной установке.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. МАГОМЕДОВ, Х.К., ФРИДМАН, К.Б., БЕЛКИН, А.С., НОСКОВ, С.Н. *Экспериментальное обоснование гигиенической оценки метода геотубирования осадков городских очистных сооружений канализации*. Гигиена и санитария. 2017; 96(7): 623-626.

2. COVALIOV, V. *Perfectarea sistemelor de obținere a biogazului*. In: *Academos*, ISSN 1857-0461. Nr.4 (39), 2015, p.38-44.

3. КОВАЛЕВ, В.В., ДУКА, Г.Г., КОВАЛЕВА, О.В. «Зеленая энергия»: инновационные экобиотехнологии и комбинированные ректоры, Антология изобретений. Кишинэу: СЕР USM, 2019, -504 с.

4. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Физические\\_свойства](https://ru.wikipedia.org/wiki/Физические_свойства)

5. Патент № 2767 МД. В. Ковалев, Д. Унгуряну, О. Ковалева, Г. Дука. *Селективная очистка биогаза от сероводородом гидроксидом железа гальванохимическим методом*. Опубл. ВОРІ 5/2005.

6. ФЕСЕНКО, Л.Н., ДЕНИСОВ, В.В., СКРЯБИН, А.Ю. ООО НПП «ЭКОФЕС» Новочеркасск, Лик. 2012. 237с.

7. Патент РФ № 2110324.

8. UNGUREANU, D. *Managementul apei*. Univ. Tehn.a Moldovei ISBN 978-9975-45-017-1 . 510p.

#### REZUMAT

**Tehnologia Geotube de tratare a apelor uzate și problemele de deodorizare a emisiilor de biogaz.** Utilizând ca exemplu funcționarea stațiilor de epurare, autorul supune analizei cauzele emanațiilor rău mirositoare dintr-un oraș cu statut de capitală, care au caracter tehnogen. S-a demonstrat că cea mai probabilă cauză a mirosurilor de acest fel este formarea compușilor organici, cu miros neplăcut, din clasa mercaptanilor (sau tioli – conform noii clasificări) care conțin sulf. Aceste substanțe sunt eliberate în biogaz din geotuburi ca urmare a digestiei anaerobe a biomasei. Procesul este asociat cu interacțiunea dintre produsele rezultate în urma transformărilor compușilor organici descompuși biochimic și hidrogenul sulfurat, care este întotdeauna conținut în biogaz. Aceste procese sunt inițiate în volumul geotuburilor, care au rolul reactoarelor de biogaz din stațiile de epurare, datorită încălzirii solare a biomasei. În acest caz, se obțin condițiile de fermentare mezofilă, care sunt optime pentru această reacție (până la 30 ± 3 °C sau mai mult). Răspândirea emanației rău mirositoare este facilitată de structura poroasă a materialului geotuburilor, suprafața fiecăruia dintre acestea fiind de aproximativ 3000 m<sup>2</sup>, iar numărul lor total fiind de câteva zeci. Efectul emanațiilor de acest fel este de natură ciclică, care se manifestă anual în ultimii ani, deoarece intensitatea lor coincide cu creșterea temperaturilor medii de vară. Prin urmare, emanațiile în cauză pot fi atribuite și manifestării încălzirii globale. În acest sens, pentru a preveni repetarea unui asemenea proces, care se poate dezvolta și mai mult, este necesar să fie supuse analizei și să fie studiate caracteristicile acestuia.

**Cuvinte-cheie:** *tehnologia Geotube, emanații rău mirositoare, biogas, biomasă, caracter tehnogen, stații de epurare, încălzire globală.*

#### ABSTRACT

**Geotube Sewage Purification Technology and Biogas Emission Deodorization Problems.** Using the operation of sewage-purification facilities as an example, the author subjects to analysis the causes of ill-smelling emanations within the limits of a capital city, which are technogenic in character. It has been shown that the most likely cause of odors of this kind is the formation of ill-smelling sulfur-containing organic compounds from the class of mercaptans (or thiols - according to the new classification). These substances are released into the biogas from geotubes as a result of anaerobic digestion of biomass. The process is associated with the interaction between the products resulting from the transformations of biochemically decomposed organic compounds and hydrogen sulfide, which

is always contained in biogas. These processes are initiated in the volume of geotubes, which have the role of biogas reactors in sewage-purification facilities, due to the solar heating of biomass. In this case, the mesophilic fermentation conditions optimal for this reaction are achieved (up to  $30 \pm 3^\circ\text{C}$  or more). The spread of the ill-smelling emanation is facilitated by the porous structure of the geotube material, the area of each of them being of approximately  $3000 \text{ m}^2$ , and their total number being of several tens. The effect of such emanations is cyclical in nature, which is manifested annually in recent years, since their intensity coincides with the increase of average summer temperatures. Therefore, the emanations in question can also be attributed to the manifestation of global warming. In this regard, in order to prevent the repetition of this process, which can develop even more, an analysis and study of its characteristics is required.

**Keywords:** *Geotube technology, ill-smelling emanations, biogas, biomass, technogenic character, sewage-purification facilities, global warming.*