

ГЕОЭКОЛОГИЯ / GEOECOLOGY

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.136.27>

СПОСОБЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ВОДООТВЕДЕНИЯ И ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Научная статья

Мишкин Д.В.^{1,*}, Мальцев Р.И.²

¹ORCID : 0000-0003-3457-1066;

²ORCID : 0009-0005-4759-8251;

¹Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Российская Федерация

²Сибирский федеральный университет, Красноярск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (944664[at]mail.ru)

Аннотация

Актуальность темы определяется наличием проблем в создании новых экологически безопасных технологических процессов для обеспечения рационального использования имеющихся возобновляемых ресурсов. Из-за быстрого истощения невозобновляемых ресурсов, в последующем загрязнении окружающей среды, перед человеком встал вопрос о реорганизации своей деятельности и уменьшения пагубных последствий путем применения отработанных ресурсов для создания нового вида топлива. Предметом исследования является последующее использование сточных вод в производстве жидкого биотоплива. Были рассмотрены различные методы организации водоотведения, охарактеризованы их основные общие недостатки. Выяснилось, что при применении традиционных механических и биологических методов очистки возникает необходимость в доочистке сточных вод от биогенных элементов и в усовершенствовании способов обработки и утилизации их осадков. В итоге исследования был сделан вывод, что при применении традиционных механических и биологических методов очистки возникает необходимость в доочистке сточных вод от биогенных элементов и в усовершенствовании способов обработки и утилизации их осадков. Как один из самых перспективных методов доочистки предложено использование сточных вод как среды для культивирования энергетических микроводорослей в фотобиореакторах закрытого типа с последующим производством жидкого биотоплива третьего поколения.

Ключевые слова: биогаз, биотопливо, экологическая безопасность, осадок сточных вод, технологические основы, совершенствование технологических процессов, водоотведения.

METHODS OF ORGANIZING WASTEWATER DISPOSAL PROCESSES AND THEIR ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS

Research article

Mishkin D.V.^{1,*}, Maltsev R.I.²

¹ORCID : 0000-0003-3457-1066;

²ORCID : 0009-0005-4759-8251;

¹Pacific State University, Khabarovsk, Russian Federation

²Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation

* Corresponding author (944664[at]mail.ru)

Abstract

The relevance of the topic is determined by the existing problems in the creation of new environmentally friendly technological processes to ensure the rational use of available renewable resources. Due to the rapid depletion of non-renewable resources, and subsequent pollution of the environment, people faced the question of reorganizing their activities and reducing the harmful effects by using waste resources to create a new type of fuel. The subject of the study is the subsequent utilization of wastewater in the production of liquid biofuel. Various methods of organizing wastewater disposal were examined and their main common disadvantages were characterized. It was established that when applying traditional mechanical and biological treatment methods, there is a necessity in additional treatment of wastewater from biogenic elements and in improvement of methods of treatment and utilization of their sludge. As a result of the research, it was concluded that the application of traditional mechanical and biological treatment methods necessitates additional treatment of wastewater from nutrients and improvement of treatment and disposal of sludge. As one of the most promising methods of additional treatment, it was proposed to use wastewater as a medium for cultivation of energy microalgae in closed-type photobioreactors with subsequent production of liquid biofuel of the third generation.

Keywords: biogas, biofuel, environmental safety, sewage sludge, technological bases, improvement of technological processes, wastewater discharge.

Введение

Быстрый рост населения планеты приводит к быстрому истощению ресурсов планеты, которое пагубно влияет на экологию. Поэтому человечеству нужно в кратчайшие сроки пересмотреть свою деятельность и направить свои силы на создание новых видов топлива, созданных из отработанных ресурсов, воды – сточных вод. Рассмотрим различные методы организации водоотведения, охарактеризовав их основные общие недостатки. При применении традиционных механических и биологических методов очистки возникает необходимость в доочистке сточных вод от биогенных

элементов и в усовершенствовании способов обработки и утилизации их осадков. В настоящей статье авторами приведены методы доочистки сточных вод для создания жидкого биотоплива третьего поколения.

Основные результаты

В результате хозяйственной деятельности образуется несколько видов сточных вод (СВ). Их можно условно разделить на производственные, хозяйственно-бытовые и поверхностные [6]. Системы водоотведения, как правило, состоят из водоотводящих сетей, насосных станций, очистных сооружений и выпусков. В процессе транспортировки, очистки и сброса СВ системы канализования осуществляют комплексное негативное влияние на окружающую среду.

При разработке схемы канализации необходимо учитывать ряд факторов, таких как: количество и состав образующихся СВ; возможность и целесообразность выделения из сточных вод ценных веществ (материалов) для их последующего использования; возможность получения и утилизации (использования) дополнительных энергетических ресурсов на канализационные очистные сооружения (КОС) и тому подобное.

Все виды СВ собирают и транспортируют системой канализационных труб и каналов. Существует несколько методов организации водоотведения.

Общесплавная система (рис. 1) имеет одну общую водоотводную сеть, когда производственные, бытовые и поверхностные воды от различных объектов населенного пункта подаются на единые КОС. Такая система возможна тогда, когда производственные СВ являются близкими по составу к хозяйственно-бытовым и могут очищаться по одной технологии. Недостатком такой системы является то, что в течение отвода происходит смешивание различных видов стоков. Если производственные или поверхностные СВ содержат нефтепродукты и другие агрессивные элементы, то они не могут сбрасываться в городскую канализационную сеть, поскольку их попадание на коммунальные КОС может привести к нарушению технологии очистки. Особенно негативное влияние они способны осуществлять на работу сооружений биологической очистки. Также трудно организовать процесс очистки на локальных КОС.

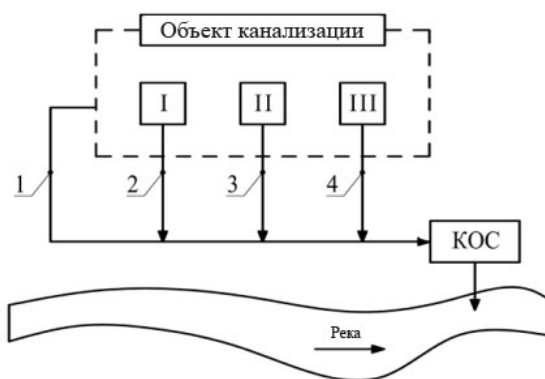


Рисунок 1 - Схема общесплавной системы водоотведения
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.136.27.1>

Примечание: I, II, III – различные группы объектов населенного пункта; 1 – поверхностные сточные воды; 2, 3, 4 – хозяйственно-бытовые и близкие к ним по составу производственные сточные воды; КОС – канализационные очистные сооружения

Раздельные системы водоотведения можно считать более приемлемыми для населенных пунктов. Они могут организовываться по-разному. Единственным признаком является наличие различных водоотводящих сетей для разных видов СВ. Сеть для отвода хозяйственно-бытовых (фекальных) стоков, сеть для отвода поверхностных (дождевых и снежных вод, а также вод от мытья усовершенствованных покрытий на территории предприятий), сети для отвода производственных СВ (нефте содержащих, кислотосодержащих и т.д. При таких условиях целесообразным можно считать отвод одной сетью тех стоков, которые содержат близкие по свойствам загрязнения и поэтому требуют одинаковых методов очистки; имеют одинаковую агрессивность; после смешивания которых упрощается работа КОС или улучшается функционирование системы водоотведения (например смешивание кислотных и щелочных стоков может нейтрализовать агрессивность обоих).

На рисунке 2 приведена организация раздельной схемы водоотведения, в которой поверхностные СВ отводятся отдельно от других стоков и очищаются на отдельных КОС. Такую систему целесообразно принимать, когда производственные стоки предприятия не вредят работе КОС и также могут очищаться вместе с хозяйственно-бытовыми.

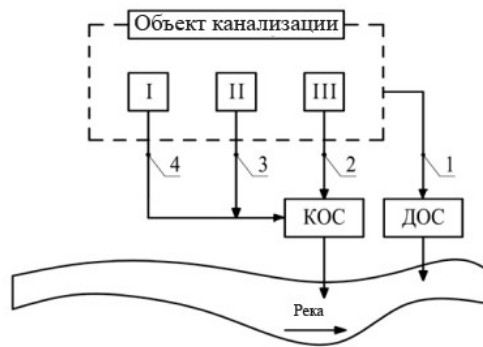


Рисунок 2 - Схема раздельной системы водоотведения с отдельным отводом и очистением поверхностных СВ
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.136.27.2>

Примечание: I, II, III – различные группы объектов населенного пункта; 1 –поверхностные сточные воды; 2, 3, 4 – хозяйственно-бытовые и близкие к ним по составу производственные сточные воды; КОС – канализационные очистные сооружения для очистки хозяйственно-бытовых сточных вод; ДОС – очистные сооружения для очистки поверхностных вод

Если производственные СВ содержат элементы, не позволяющие сразу подавать их на коммунальные КОС, целесообразно использовать схему, которая приведена на рисунке 3. При такой схеме поверхностные СВ также очищаются отдельно. Кроме того, производственные стоки, содержащие специфические загрязнения, сначала направляются на очистные сооружения производственных СВ, где эти загрязнения нейтрализуются. После этого эти стоки, вместе с хозяйственно-бытовыми и близкими к ним по составу производственными, направляются на коммунальные КОС.

Качество очистки СВ и обработки и утилизации их осадков на всех типах очистных сооружений определяет их дальнейшее воздействие на НПС, что может быть значительным.

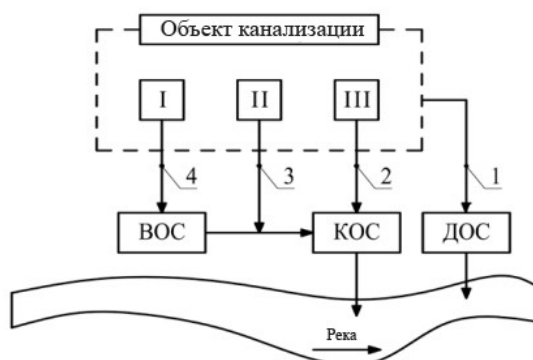


Рисунок 3 - Схема раздельной системы водоотведения с отдельным отводом и очистением всех видов СВ
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.136.27.3>

Примечание: 1 – поверхностные сточные воды; 2 – хозяйственно-бытовые сточные воды; 3 – производственные сточные воды, могут очищаться на хозяйственно-бытовых очистных сооружениях; 4 – производственные сточные воды, содержащие загрязнения, неприемлемые для очистки на хозяйственно-бытовых очистных сооружениях; КОС – канализационные очистные сооружения для очистки хозяйственно-бытовых сточных вод; ДОС – очистные сооружения для очистки поверхностных вод; ВОС – очистные сооружения для очистки производственных сточных вод

В условиях нехватки энергетических ресурсов остро встает вопрос частичного обеспечения предприятий собственными альтернативными источниками энергии. Примером одного из способов организации водоотведения может быть описан в [4]. Хозяйственно-бытовые СВ поступают на механическую очистку в пескоуловители, преаэраторы и первичные отстойники. Осадок, образующийся в первичных отстойниках, направляется в метантенки для сбраживания. СВ после механической очистки подаются на биологическую очистку в аэротенки, после чего направляются во вторичные отстойники для удаления активного ила. Часть удаленного активного ила подают снова в аэротенки, а остальную часть направляют в илоуплотнители для уменьшения влажности. После уплотнения ил, вместе с осадком первичных отстойников, подают в метантенк. Осадок после анаэробного сбраживания подают для

высушивания на иловые площадки. Очищенные СВ дезинфицируют хлорированием, после чего сбрасывают в естественный водоем. Такой способ организации имеет ряд недостатков. Как было показано в первом разделе, механическая и биологическая очистка не всегда позволяет получать необходимое качество СВ на выходе из КОС. Сточные воды не подвергают дополнительной очистке и не используют потенциальные возможности получения дополнительных источников энергии в результате этого. Для анаэробного сбраживания используют метантенки традиционной конструкции, которые не учитывают кинетику процесса брожения. Как результат, получают биогаз низкого качества с высоким содержанием углекислого газа.

В ряде случаев производственные и хозяйственно-бытовые СВ смешивают в усреднителях, после чего подают в первичные отстойники. Биологическая очистка также осуществляют в аэротенках, а удаление активного ила во вторичных отстойниках. Очищенные СВ после дезинфекции хлорированием используют в технологических процессах. Осадок первичных и вторичных отстойников направляют на сбраживание в метантенках. Полученный во время сбраживания биогаз можно сжигать в местной котельной для производства тепловой энергии. Сброженный в метантенках осадок обезвоживают и используют как удобрение.

Недостатками такой организации очистки сточных вод, является также то, что СВ не подвергают доочистке, а сбраживание также выполняют по традиционным технологиям без учета кинетики броидильных процессов, что не позволяет получать дополнительных источников энергии. Последние исследования свидетельствуют о том, что механически и биологически очищенные СВ, богатые биогенными соединениями, можно напрямую использовать для культивирования водных организмов, способных их удалять. Среди наиболее перспективных для культивирования можно считать микроводоросли, которые, в свою очередь, могут быть хорошим сырьем для производства жидкого биотоплива третьего поколения, и скорость прироста биомассы, которых в разы превышает скорость прироста биомассы высших водных организмов [2], [3]. Среди микроводорослей, пригодных для культивирования можно особенно выделить культуры *Chlorella vulgaris* и *Botryococcus brounii*. Среди последней выделяют три расы. Сухая биомасса наиболее перспективной расы А содержит до 85% углеводов, состав которых близок к составу сырой нефти [5], [7]. Несмотря на это, анализ современных технологий культивирования показывает наличие существенных проблем, связанных прежде всего с их принципиальными недостатками. В частности, с технологическим несовершенством применяемых установок.

Культивирование по существу является конверсией солнечной энергии в биомассу путем фотосинтеза, которую проводят в фотобиореакторах. Различают реакторы открытого и закрытого типов. Установки открытого типа являются открытыми емкостями, в которые подают культуральную жидкость с семенами микроводорослей, а также углекислый газ и другие необходимые элементы [9]. Солнечный свет поступает к микроводорослям через открытую поверхность жидкости. Перемешивание, которое является необходимым для более равномерного освещения всей массы микроводорослей, осуществляют, как правило, барботированием углекислого газа через культуральную жидкость. Общими недостатками таких установок является то, что они очень уязвимы к погодным условиям. Кроме того, эффективность использования углекислого газа в них является не высокой, поскольку в течение барботирования время его контакта с микроводорослями, а следовательно, и усвоения ими, является незначительным. Растворимость углекислого газа в воде при нормальных условиях также является незначительной, и поэтому существенная его часть теряется, исходя из открытую поверхность жидкости в атмосферу.

Установки закрытого типа являются закрытыми емкостями, изготовленными из прозрачного материала, внутрь которых так же подают культуральную жидкость из микроводорослей [8]. Установки такого типа также имеют общие недостатки. Они не являются уязвимыми к погодным условиям, однако их производительность также ограничена из-за низкой растворимости в воде углекислого газа и из-за сложности насыщения им культуральной жидкости. Кроме того, в известных установках такого типа сложно обеспечить непрерывность процесса культивирования. На этапе механической и биологической очистки СВ с использованием традиционных установок образуются первичные осадки (механической очистки) и активный ил. Среди основных методов их утилизации можно выделить такие, как сжигание, использование в качестве строительного материала, захоронение, использование в качестве наполнителя во время рекультивации нарушенных территорий, использование как органического удобрения на сельскохозяйственных полях и тому подобное. В России значительное распространение приобретает метод сжигания. Использование этого метода дает возможность быстро избавиться от большого количества осадков. Однако способ имеет ряд существенных недостатков. Осадок, удаляемый из отстойников, является влажным и требует значительных затрат энергии на уменьшение этой влажности и на испарение ее остатков перед сжиганием. Рассмотрим укрупненно тепловой баланс при сжигании осадков традиционных очистных сооружений хозяйственно-бытовых стоков, а именно соотношение между количеством тепловой энергии, выделяемой во время сжигания сухой органической части осадков, и количеством тепловой энергии, затрачивается на испарение влаги в осадках. Количество тепловой энергии, выделяемой во время сжигания, зависит от содержания органических соединений в осадках и от удельной теплоты их сгорания.

Влажность осадков, удаленных из отстойников и уплотненных в илоуплотнителях колеблется преимущественно в пределах 96-98%, а содержание органических веществ в их сухой массе в основном колеблется от 65% до 75% [6].

После изменения влажности осадков лишь на 2% доля сухой органической массы в осадках изменяется вдвое. Это демонстрирует одну из ключевых ролей влажности в процессах сжигания.

Итак, было установлено, что сжигание осадков с более низкой теплотой сгорания их сухой органической части даже уплотненных до влажности 75%, практически не дает положительного энергетического баланса. Во время сжигания осадков с низшей теплотой сгорания их сухой органической части и содержания органических веществ в их сухой массе $c = 75\%$ для получения положительного энергетического баланса необходимо уплотнение осадков до влажности менее 83,2%, а если $c = 65\%$ в – до влажности менее 81,1%.

При принятии окончательных решений по целесообразности применения этого способа утилизации осадков необходимо также учитывать энергетические затраты на их механическое обезвоживание. При утилизации осадков

использованием как добавки к строительным материалам, или для рекультивации нарушенных территорий, также возникает необходимость значительных затрат энергии на предварительное высушивание. Все перечисленные методы утилизации не позволяют получать потенциально возможные возобновляемые источники энергии. Использование осадков в качестве органического удобрения на сельскохозяйственных полях требует его предварительной стабилизации. Нестабилизированные осадки являются экологически опасными, поскольку могут содержать патогенную микрофлору, личинки которой способны годами выживать в НПС. Кроме того, такие осадки склонны к загниванию с выделением в атмосферу парниковых газов: метан, углекислый газ. Одним из наиболее перспективным методом стабилизации можно считать анаэробное сбраживание, которое позволяет получать энергетически ценный биогаз и экологически безопасное органическое удобрение [1].

В ходе проведенных исследований на базе производственного комплекса МУП города Хабаровска «Водоканал» авторами статьи было установлено следующее:

процессы водоотведения требуют учета ряда правил и положений, в том числе и в отношении биологического удаления азота и фосфора. Причем важно отметить, что существующий «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009 № 384-ФЗ СП 32.13330.2012» не имеет должного количества формул расчета. Это формирует основания для разработки новых методов расчета, используемых со стороны проектных организаций и НИИ. Современное состояние изучения характеристик должно строиться на математическом моделировании, отмечающимся динамизмом и постоянным совершенствованием.

Так, профессор Мишуков разработал специальную методику расчета аэротенков с глубоким удалением биогенных элементов. В качестве расчетной температуры сточных вод автор использует среднегодовую; сама формула берет за основу элементы нагрузки на активный ил – именно он формирует параметры очистки. Причем на показатели температуры накладываются некоторые статистические погрешности – температурная поправка $1,072^{T-15}$ применяется в условиях температуры от 10 до 20 градусов с погрешностью в 15%.

По сути, характеристика технологического процесса напрямую зависит от используемых проектировщиками расчетных методик и упора на воссоздание специальных условий по окислению органических веществ, и так далее (процедурам биологической и пр. очистки).

В рамках аэротенка (в железобетонной емкости) формируются несколько зон, разделение между которыми осуществляется через перегородки:

1. Первая зона – анаэробная, направлена на течение процессов дефосфатизации и предденитрификации;
2. Вторая, аноксидная, нацелена на денитрификацию;
3. Третья же, аэробная, на нитрификацию.

Объемы попадания сточных вод в аэротенк строятся на основе ряда характеристик (например, расход, качество технологических потоков). При том, что важным является достижения соотношения БПК5:Нобщ – 3,9:1, так как данное значение входит в нормативный промежуток и позволяет говорить о наличии всех условий оптимального протекания процесса денитрификации; в тоже время, это говорит о возможном возникновении необходимости подачи исходного стока в аэротенки; это актуализирует значимость предусмотреть линии подачи исходного стока, минуя первичные отстойники.

Авторами было выявлено, что система биологической очистки может строиться (в случае достижения соотношения БПК5:Нобщ – 3,9:1) на основе одной из простейших схем А2/О. Её преимущество – простота управления и отсутствие необходимости добавления новых секций аэротенков к текущим.

В этом случае вся система аэротенка нуждается в переоборудовании в аэротенк нитри-денитрификатор. Это можно осуществить за счет следующей организации (рис. 4).

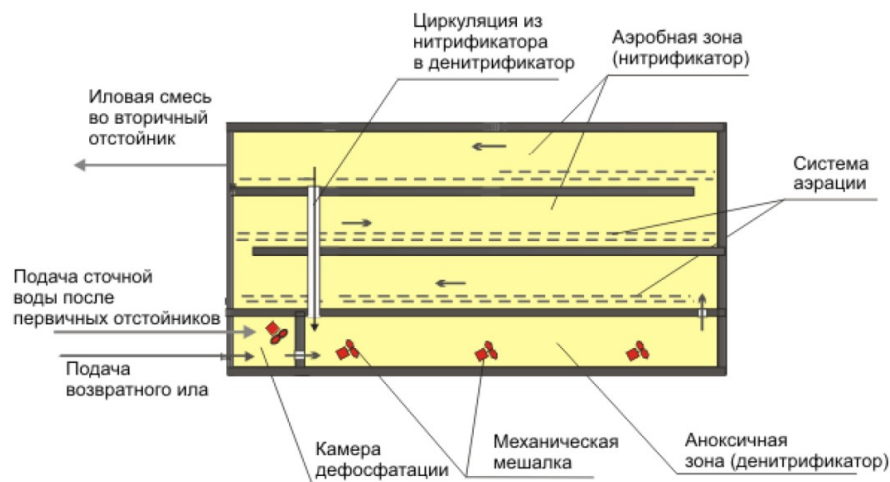


Рисунок 4 - Схематичное представление переоборудования аэротенка

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.136.27.4>

Причем удаление фосфора осуществляется по следующему механизму (рис. 5):

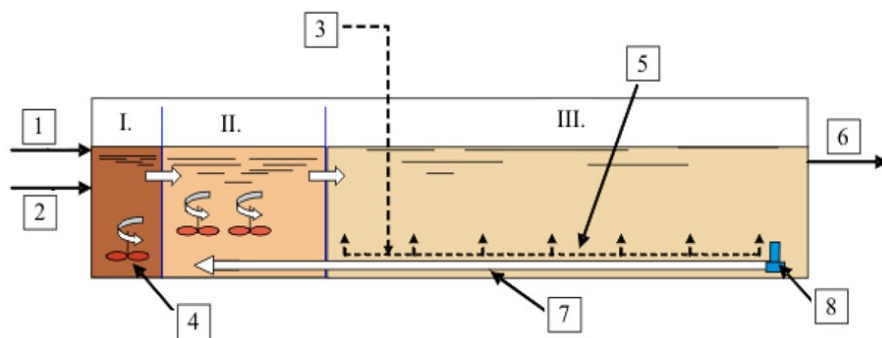


Рисунок 5 - Схема аэротенка нитри-денитрификатора с зоной удаления фосфора
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.136.27.5>

Примечание: I – зона дефосфотации; II – зона денитрификации; III – зона нитрификации; 1 – сточная вода после сооружений механической очистки; 2 – подача возвратного ила из вторичного отстойника; 3 – подача воздуха на аэрацию; 4 – мешалки; 5 – аэраторы; 6 – отвод иловой смеси во вторичные отстойники; 7 – трубопровод циркуляционной иловой смеси; 8 – циркуляционный насос подачи иловой смеси в денитрификатор

Для проведения процедур очистки (в области блока тонкой очистки) предложено устанавливать дисковые микрофильтры HUBER RoDisc.

Доочистка при этом предполагает расположения в отдельном здании, в рамках которого часть зала отводится под фильтровальную и насосную станцию грязной промывной воды. Вторая же часть зала отводится для расположения доочистных сооружений, дополнительных помещений и реагентного хозяйства.

При соответствующей модернизации прогнозируется общее повышение технологических показателей НДТ «Очистка с биологическим удалением азота и биолого-химическим удалением фосфора». В этом случае становится важным проанализировать эффективность работы старых и новых комплексов (на основе проектных данных). По сути, приемка такой работы сводится к оценке соответствия изложенным требованиям (табл. 1).

Таблица 1 - Технологические показатели НДТ

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.136.27.6>

Параметры	Исходная сточная вода (до первичных отстойников), вода, мг/л	Очищенная сточная вода, мг/л	Эффективность очистки, %	Нормативная концентрация допустимого сброса, Сндс, вода, мг/л
Взвешенные вещества, мг/дм ³	75,4	5,0	93	15
ХПК, мг/дм ³	204,1	40	80	-
БПК5, мг/дм ³	101,0	3,0	97	15
Азот аммонийный, мгN/дм ³	24,0	1,0	96	0,39
Нитраты мгN/дм ³	0,117	9,0	-	9,04
Фосфор, мг/дм ³	5,26	0,5	90	0,2

В результате сравнения можно утверждать, что смена традиционных способов в сторону глубокой нитри-денитрификации дает положительный эффект в очистке азотных соединений. Кроме того, он сопровождается повышением экономических показателей за счет снижения энергозатрат и платы за сброс биогенных элементов в водоем. В то же время стоит учитывать и факторы влияния особенностей сточных вод – эффективность данной установки может изменяться в различных условиях.

При сравнении ожидаемого содержания приоритетных загрязняющих веществ в очищенных сточных водах и их предельно допустимым максимальным концентрациям в очищенной сточной воде были выявлены следующие показатели (рис. 6).

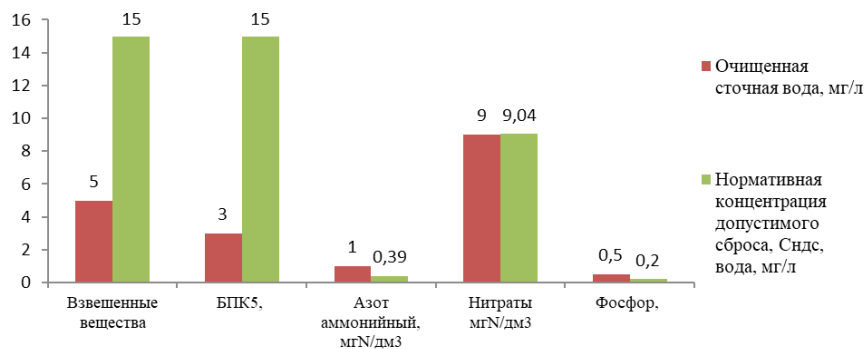


Рисунок 6 - Соответствие концентраций загрязняющих веществ в очищенных сточных водах нормативным значениям
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.136.27.7>

В итоге авторы пришли к выводу, что новые технологии очистки способствуют достижению высокого качества очищенной воды, по формам азота, органическим веществам и в том числе, и по фосфору фосфатов; основа технологии – биологический метод удаления фосфора. В то же время, важно учитывать экономическую составляющую для каждого конкретного случая, также необходимы новые подходы к расчетам.

Заключение

Современные технологии водоотведения не обеспечивают высокого уровня экологической безопасности. Одной из главных причин является то, что методы очистки СВ и обработки их осадков часто не обеспечивают достаточного качества очищенных СВ от биогенных элементов для их экологически безопасного сброса в природные водоемы, а также экологически безопасной утилизации осадков. В результате выполненных исследований:

1. Установлено, что для повышения экологической безопасности, как для общесплавной, так и для отдельных систем водоотведения, и во время применения традиционных механических и биологических методов очистки возникает необходимость в доочистке СВ от биогенных элементов и в усовершенствовании способов обработки и утилизации их осадков;

2. Основными недостатками современных методов доочистки СВ и методов утилизации осадков является то, что они не позволяют в достаточной степени получать потенциально возможные возобновляемые источники энергии;

3. Одним из наиболее перспективных методов доочистки может стать использование СВ как среды для культивирования энергетических микроводорослей в фотобиореакторах закрытого типа с последующим производством жидкого биотоплива третьего поколения;

4. Также было установлено, что одним из наиболее перспективных методов обработки и утилизации осадков может быть анаэробное сбраживание с организацией процесса соответствия с кинетикой процессов брожения и последующим использованием сброженной массы как органического удобрения.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Апостолук С.А. Промышленная экология: Учебное пособие / С.А. Апостолук, В.С. Джигирей, И.А. Соколовский [и др.]. — Киев, 2012. — 430 с.

2. Бабаев В.Н. Энергетический потенциал метанообразования при мезофильном анаэробном разложении органической составляющей отходов / В.Н. Бабаев, Н.П. Горох, И.В. Коринько // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2011. — Т. 4. — № 6(52). — С. 59-65. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/energeticheskij-potentsial-metanoobrazovaniya-pri-mezofilnom-anaerobnom-razlozhenii-organicheskoy-sostavlyayuschey-othodov> (дата обращения: 10.07.2023).

3. Булавенко Р.В. Доочистка сточных вод предприятий пищевой промышленности с помощью сооружений биоплато / Р.В. Булавенко, О.В. Степная, В.В. Рома // Вестник Полтавской государственной аграрной академии. — 2012. — № 4. — С. 145-148. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskoe-modelirovanie-protsessabiologicheskoy-ochistki-stochnyh-vod-predpriyatij-pischevoy-promyshlennosti> (дата обращения: 17.07.2023).

4. Диренко А.А. Использование высших водных растений в практике очистки сточных вод и поверхностного стока / А.А. Диренко, Е.М. Коцарь // СОК (сантехника, отопление, кондиционирование). — 2006. — № 5. — С. 12-15. — URL: <https://www.c-o-k.ru/articles/ispol-zovanie-vysshih-vodnyh-rasteniy-v-praktike-ochistki-stochnyh-vod-i-poverhnostnogo-stoka> (дата обращения: 17.07.2023).

5. Калицун В.И. Гидравлика, водоснабжение и канализация. Учебник / В.И. Калицун, В.С. Кедров, Ю.М. Ласков [и др.]. — Москва, 1980. — 359 с.
6. Сорокина К.Н. Потенциал применения микроводорослей в качестве сырья для биоэнергетики / К.Н. Сорокина, В.А. Яковлев, А.В. Пилигаев [и др.] // Катализ в промышленности. — 2012. — № 2. — С. 63-72. — URL : <https://www.catalysis-kalvis.ru/jour/article/view/27/24> (дата обращения: 15.07.2023).
7. Яковлев С.В. Канализация. Учебник для вузов / С.В. Яковлев, Я.А. Карелин, А.И. Жуков [и др.]. — Москва: Стройиздат, 1975. — 632 с.
8. Sasikanth K. Studies on Cultivation of Lipid Accumulating Botryococcus Braunii from North Gujarat Inland Waters for Generation of 3rd Generation Biofuels / K. Sasikanth, T. Jyosna, P. Anjali [et al.] // Indian Journal of Applied Research. — 2014. — Vol. 4. — Iss. 9. — P. 31-35. — URL: [https://www.worldwidejournals.com/indian-journal-of-applied-research-\(IJAR\)/recent_issues_pdf/2014/September/September_2014_1492839153__09.pdf](https://www.worldwidejournals.com/indian-journal-of-applied-research-(IJAR)/recent_issues_pdf/2014/September/September_2014_1492839153__09.pdf) (accessed: 17.07.2023).
9. Sato T. Invention of Outdoor Closed Type Photobioreactor for Microalgae / T. Sato, S. Usui, Y. Tsuchiya [et al.] // Energy Convers. Manag. — 2006. — Vol. 47. — № 6. — P. 791-799. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890405001573> (accessed: 17.07.2023).
10. Chen Y. Forced Light/Dark Circulation Operation of Open Pond for Microalgae Cultivation / Y. Chen, J. Wang, L. Zhang [et al.] // Biomass and Bioenergy. — 2013. — Vol. 56. — P. 464-470. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0961953413002997> (accessed: 17.07.2023).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Apostolyuk S.A. Promyshlennaya ekologiya: Uchebnoe posobie [Industrial Ecology: Textbook] / S.A. Apostolyuk, V.S. Dzhigirev, I.A. Sokolovsky [et al.]. — Kyiv, 2012. — 430 p. [in Russian]
2. Babaev V.N. Energeticheskij potencial metanoobrazovaniya pri mezofil'nom anaerobnom razlozhenii organicheskoj sostavlyayushchej othodov [Energy Potential of Methane Formation during Mesophilic Anaerobic Decomposition of the Organic Component of Waste] / V.N. Babaev, N.P. Gorokh, I.V. Korinko // Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyh tekhnologij [East European Journal of Advanced Technologies]. — 2011. — Vol. 4. — № 6(52). — P. 59-65. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/energeticheskij-potentsial-metanoobrazovaniya-pri-mezofilnom-anaerobnom-razlozhenii-organicheskoj-sostavlyayushchej-othodov> (accessed: 10.07.2023). [in Russian]
3. Bulavenko R.V. Doochistka stochnyh vod predpriyatij pishchevoj promyshlennosti s pomoshch'yu sooruzhenij bioplato [Post-Treatment of Wastewater from Food Industry Enterprises Using Bioplateau Structures] / R.V. Bulavenko, O.V. Stepnaya, V.V. Roma // Vestnik Poltavskoj gosudarstvennoj agrarnoj akademii [Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy]. — 2012. — № 4. — P. 145-148. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskoe-modelirovanie-protseassa-biologicheskoy-ochistki-stochnyh-vod-predpriyatij-pischevoy-promyshlennosti> (accessed: 17.07.2023). [in Russian]
4. Direnko A.A. Ispol'zovanie vysshih vodnyh rastenij v praktike ochistki stochnyh vod i poverhnostnogo stoka [The Use of Higher Aquatic Plants in the Practice of Wastewater and Surface Runoff Treatment] / A.A. Direnko, E.M. Kotsar // SOK (santekhnika, otoplenie, kondicionirovanie) [PHAC (Plumbing, Heating, Air Conditioning)]. — 2006. — № 5. — P. 12-15. — URL: <https://www.c-o-k.ru/articles/ispolzovanie-vyssih-vodnyh-rastenij-v-praktike-ochistki-stochnyh-vod-i-poverhnostnogo-stoka> (accessed: 17.07.2023). [in Russian]
5. Kalitsun V.I. Gidravlika, vodosnabzhenie i kanalizaciya. Uchebnik [Hydraulics, Water Supply and Sewerage. Textbook] / V.I. Kalitsun, V.S. Kedrov, Yu.M. Laskov [et al.]. — Moscow, 1980. — 359 p. [in Russian]
6. Sorokina K.N. Potencial primeneniya mикроводорослей v kachestve syr'ya dlya bioenergetiki [Potential of Using Microalgae as a Raw Material for Bioenergy] / K.N. Sorokina, V.A. Yakovlev, A.V. Piligaev [et al.] // Kataliz v promyshlennosti [Catalysis in Industry]. — 2012. — № 2. — P. 63-72. — URL: <https://www.catalysis-kalvis.ru/jour/article/view/27/24> (accessed: 15.07.2023). [in Russian]
7. Yakovlev S.V. Kanalizaciya. Uchebnik dlya vuzov [Sewerage. Textbook for universities] / S.V. Yakovlev, Ya.A. Karelin, A.I. Zhukov [et al.]. — Moscow: Stroyizdat, 1975. — 632 p. [in Russian]
8. Sasikanth K. Studies on Cultivation of Lipid Accumulating Botryococcus Braunii from North Gujarat Inland Waters for Generation of 3rd Generation Biofuels / K. Sasikanth, T. Jyosna, P. Anjali [et al.] // Indian Journal of Applied Research. — 2014. — Vol. 4. — Iss. 9. — P. 31-35. — URL: [https://www.worldwidejournals.com/indian-journal-of-applied-research-\(IJAR\)/recent_issues_pdf/2014/September/September_2014_1492839153__09.pdf](https://www.worldwidejournals.com/indian-journal-of-applied-research-(IJAR)/recent_issues_pdf/2014/September/September_2014_1492839153__09.pdf) (accessed: 17.07.2023).
9. Sato T. Invention of Outdoor Closed Type Photobioreactor for Microalgae / T. Sato, S. Usui, Y. Tsuchiya [et al.] // Energy Convers. Manag. — 2006. — Vol. 47. — № 6. — P. 791-799. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890405001573> (accessed: 17.07.2023).
10. Chen Y. Forced Light/Dark Circulation Operation of Open Pond for Microalgae Cultivation / Y. Chen, J. Wang, L. Zhang [et al.] // Biomass and Bioenergy. — 2013. — Vol. 56. — P. 464-470. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0961953413002997> (accessed: 17.07.2023).