

УДК 628.2/663.3

4.1.4. Садоводство, овощеводство, виноградарство и лекарственные культуры

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПЕРВИЧНОГО ВИНОДЕЛИЯ

Привалова Наталья Михайловна
к.х.н., доцент
РИНЦ SPIN-код: 4855-8943
dodoka57@mail.ru
Кубанский Государственный Технологический университет, Краснодар, Россия

Двадненко Марина Владимировна
к.х.н., доцент
РИНЦ SPIN-код: 6030-8233
meriru@rambler.ru
Кубанский Государственный Технологический университет, Краснодар, Россия

Котов Денис Александрович
студент
deniskotov62@gmail.com
Кубанский Государственный Технологический университет, Краснодар, Россия

В статье рассмотрены особенности формирования сточных вод предприятий первичного виноделия и их влияние на окружающую среду. Проанализированы традиционные схемы очистки и показаны их ограничения при высокой органической нагрузке, сезонности производства и значительных колебаниях состава стоков. Особое внимание уделено инновационным методам очистки: мембранным технологиям, биореакторам с подвижной загрузкой, мембранно-биореакторным системам, анаэробным процессам с получением биогаза, а также сорбционным и процессам продвинутого окисления. Показано, что комбинирование данных подходов позволяет существенно снижать показатели БПК, ХПК и взвешенных веществ, обеспечивая возможность повторного использования очищенной воды и уменьшение экологического риска. Сформулированы рекомендации по выбору и комплексированию инновационных технологий с учётом специфики первичного виноделия и требований природоохранного законодательства

Ключевые слова: ПЕРВИЧНОЕ ВИНОДЕЛИЕ, СТОЧНЫЕ ВОДЫ, ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ, МЕМБРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, БИОРЕАКТОРЫ, АНАЭРОБНЫЕ ПРОЦЕССЫ

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-219-006>

UDC 628.2/663.3

4.1.4. Gardening, vegetable growing, viticulture and medicinal crops

INNOVATIVE METHODS OF PRIMARY WINEMAKING WASTEWATER TREATMENT

Privalova Natalia Mikhailovna
Cand.Chem.Sci., associate professor
RSCI SPIN-code: 4855-8943
dodoka57@mail.ru
Kuban State University of Technology, Krasnodar, Russia

Dvadnenko Marina Vladimirovna
Cand.Chem.Sci., associate professor
RSCI SPIN-code: 6030-8233
meriru@rambler.ru
Kuban State University of Technology, Krasnodar, Russia

Kotov Denis Alexandrovich
student
deniskotov62@gmail.com
Kuban State University of Technology, Krasnodar, Russia

This article examines the specifics of wastewater generation in primary winemaking facilities and their environmental impact. Traditional treatment schemes are analyzed, highlighting their limitations in the face of high organic loads, seasonal production, and significant fluctuations in wastewater composition. Particular attention is paid to innovative treatment methods: membrane technologies, moving bed bioreactors, membrane bioreactor systems, anaerobic processes with biogas production, as well as sorption and advanced oxidation processes. It is demonstrated that combining these approaches can significantly reduce BOD, COD, and suspended solids, enabling the reuse of treated water and reducing environmental risks. Recommendations are provided for selecting and integrating innovative technologies, taking into account the specifics of primary winemaking and environmental legislation

Keywords: PRIMARY WINEMAKING, WASTEWATER, INNOVATIVE TREATMENT METHODS, MEMBRANE TECHNOLOGIES, BIOREACTORS, ANAEROBIC PROCESSES

Первичное виноделие относится к числу наиболее водоёмких отраслей пищевой промышленности, так как практически все технологические операции сопровождаются использованием воды для мойки сырья, оборудования, тары и коммуникаций, а также для санитарно-гигиенических нужд. В результате формируются сточные воды с высокой концентрацией легкоразлагаемой органики (сахара, спирты, органические кислоты), взвешенных веществ (частицы мезги, кожицы, семян), а также моющих средств и дезинфицирующих растворов. [1,2]

Сброс недостаточно очищенных сточных вод винодельческих предприятий в водоёмы или на рельеф приводит к ряду негативных последствий: повышению биохимической потребности в кислороде, ускорению процессов эвтрофикации, возникновению неприятного запаха, ухудшению санитарно-гигиенического состояния территорий и ухудшению условий жизни населения. Ужесточение природоохранных требований, рост платы за негативное воздействие на окружающую среду и стремление к ресурсосбережению стимулируют поиск более эффективных, компактных и экономичных методов очистки сточных вод первичного виноделия. [1]

Целью данной статьи является систематизация сведений о составе и свойствах сточных вод первичного виноделия, анализ традиционных и инновационных методов их очистки, а также оценка возможностей интеграции новых технологических решений в действующие схемы очистки.

Сточные воды первичного виноделия формируются на этапах приёмки и мойки винограда, дробления и прессования, сбраживания сусла, отжима осадка, а также при санитарной обработке резервуаров, трубопроводов и вспомогательного оборудования. Наибольший вклад в объём и загрязнённость стоков вносит мойка сырья и тары, а также

санитарная обработка линий с использованием щелочных и кислотных моющих средств. [1,2]

К основным характеристикам таких стоков относятся:

- повышенные значения БПК и ХПК за счёт растворённой и взвешенной органики;
- значительное содержание взвешенных веществ растительного происхождения (мезга, кожица, дрожжи);
- наличие поверхностно-активных веществ, дезинфицирующих препаратов и моющих компонентов;
- колебания рН от слабокислых до слабощелочных значений в зависимости от преобладающей стадии технологического цикла;
- выраженная сезонность образования, связанная с периодом переработки винограда.[1-4]

Сезонность и неравномерность по расходу приводят к тому, что существующие сооружения биологической очистки оказываются либо перегруженными, либо работают в режиме недогрузки, что отрицательно сказывается на активности биоценоза и стабильности качества очищенной воды. Кроме того, значительное содержание коллоидных и трудноосаждаемых частиц требует специальных решений по предварительной механической и физико-химической подготовке сточных вод.

Традиционные схемы очистки сточных вод пищевой промышленности, в том числе винодельческих предприятий, базируются на совокупности механической, физико-химической и биологической стадий. На механической стадии применяются решётки, песколовки, усреднители и отстойники, обеспечивающие удаление грубодисперсных примесей, песка и части взвешенных веществ. [3-11]

Физико-химические методы включают коагуляцию и флокуляцию с использованием минеральных или полимерных реагентов, что позволяет

интенсифицировать осветление стоков и уменьшить нагрузку на последующие ступени. На биологической стадии широко используются аэротенки с активным илом, биофильтры и пруды-аэраторы, в которых органические загрязнения окисляются микроорганизмами в аэробных условиях. [3-7]

Однако для сточных вод первичного виноделия традиционные решения имеют ряд существенных недостатков:

- чувствительность биологических систем к резким колебаниям нагрузки и состава стоков;
- значительная площадь, необходимая для размещения аэротенков и прудов;
- образование больших объёмов избыточного ила, требующих последующей обработки и утилизации;
- ограниченные возможности по глубокой доочистке до уровней, необходимых для повторного использования воды.[1-2]

Указанные ограничения обуславливают необходимость внедрения инновационных технологий, обеспечивающих устойчивую работу при переменном составе стоков и позволяющих интегрировать очистные сооружения в компактные модульные решения.

Мембранные методы очистки (микрофильтрация, ультрафильтрация, нанофильтрация и обратный осмос) относятся к числу наиболее перспективных технологий глубокой очистки и доочистки сточных вод пищевой промышленности.

В контексте первичного виноделия мембранные процессы используются для:

- отделения взвешенных и коллоидных частиц;
- снижения содержания растворённой органики и окраски;
- получения воды, пригодной для технических и частично технологических нужд. [9-10]

Преимуществами мембранных систем являются компактность, высокая степень разделения компонентов, возможность автоматизации и интеграции в оборотные циклы водоснабжения. Основные проблемы связаны с загрязнением и зарастанием мембран, что требует эффективной предварительной подготовки сточных вод, оптимизации режимов промывки и использования мембран с повышенной устойчивостью к загрязняющим факторам.

Технология биореакторов с подвижной биоагрузкой (MBBR) основана на использовании специальных пластиковых носителей, свободно взвешенных в реакторе и служащих субстратом для роста биоценоза. Биоплёнка, формирующаяся на поверхности носителей, обеспечивает высокую концентрацию активной биомассы и устойчивость к колебаниям гидравлической и органической нагрузки.

Применительно к сточным водам винодельческих предприятий MBBR-реакторы позволяют:

- эффективно удалять БПК и ХПК при относительно малых объёмах сооружений;
- стабильно работать при сезонных изменениях притока и концентраций;
- уменьшить образование избыточного ила по сравнению с классическими аэротенками.

Интеграция MBBR в существующие схемы очистки возможна как на стадии основного биологического процесса, так и в качестве ступени доочистки после традиционных аэробных систем. [1-2]

Мембранно-биореакторные установки совмещают процессы биологического окисления загрязнений и мембранного разделения, при котором активный ил полностью задерживается в системе, а очищенная вода отделяется через мембранные модули.

Ключевые преимущества MBR-технологии:

- высокая степень удаления органических веществ и взвесей;
- компактность сооружений за счёт высокой концентрации биомассы;
- возможность получения практически полностью осветлённой и обеззараженной воды, пригодной для повторного использования.

В условиях первичного виноделия MBR-системы позволяют решать задачи глубокой очистки при ограниченных площадях, что особенно актуально для предприятий, расположенных в исторических и рекреационных зонах. Основными барьерами являются более высокие капитальные затраты и необходимость квалифицированного обслуживания мембранного оборудования.

Сточные воды винодельческих производств характеризуются высоким содержанием легкоразлагаемой органики, что делает их перспективным субстратом для анаэробной биоочистки с одновременным получением биогаза. Анаэробные реакторы (с плавающим или гранулированным илом, UASB-реакторы и др.) позволяют преобразовывать органические вещества в метан-содержащий газ, который может использоваться для нужд предприятия (отопление, выработка электроэнергии).

Преимущества анаэробных технологий:

- снижение энергозатрат за счёт отсутствия аэрации;
- сокращение объёма образующегося ила;
- возможность утилизации части органики с получением возобновляемой энергии.[9-10]

Для достижения нормативных показателей по качеству сброса анаэробные системы, как правило, комбинируются с аэробной доочисткой и/или мембранными и сорбционными методами.

Процессы продвинутого окисления (озонирование, фотокатализ, реакции Фентона и др.) используются для разрушения трудноокисляемых

органических соединений, снижения цветности и запаха, а также для доочистки после биологических и мембранных стадий. Эти методы позволяют минерализовать остаточную органику, устойчивую к биодegradации, и тем самым повышают устойчивость качества очищенной воды.

Сорбционная доочистка на активированных углях, цеолитах и современных полимерных сорбентах обеспечивает дополнительное удаление органических веществ, коллоидов и микро-загрязнителей, что особенно важно при повторном использовании воды в технологических процессах. Комбинация сорбции с мембранными и биологическими методами позволяет оптимизировать эксплуатационные затраты за счёт регенерации сорбентов и уменьшения нагрузки на дорогостоящее оборудование. [11-15]

Внедрение инновационных методов очистки сточных вод первичного виноделия приводит к значительному снижению антропогенной нагрузки на водные объекты и почвы, уменьшению риска локальных экологических аварий и улучшению санитарно-гигиенического состояния прилегающих территорий. Повышение степени очистки позволяет выполнять более жёсткие нормативы по сбросу и сокращать платежи за негативное воздействие, что непосредственно отражается на экономике предприятия.[1]

Экономический эффект проявляется также за счёт возможности повторного использования очищенной воды для технических нужд (мойка полов, тары, оборудования, орошение зелёных зон), что снижает потребление свежей воды и уменьшает нагрузку на систему водоснабжения. Дополнительным фактором является получение биогаза в анаэробных системах, который может частично покрывать потребности предприятия в тепловой и электрической энергии.

При этом капитальные затраты на внедрение мембранных, MBBR- и MBR-систем, а также анаэробных реакторов, как правило, выше, чем у традиционных сооружений, что требует тщательного технико-экономического обоснования, учёта срока службы оборудования и стоимости его обслуживания. В ряде случаев перспективным подходом становится поэтапная модернизация действующих очистных сооружений с поочерёдным внедрением отдельных инновационных блоков.[2]

Перспективы внедрения инновационных методов очистки сточных вод в винодельческой отрасли определяются комбинацией экологических, экономических и нормативных факторов. Ужесточение требований к качеству сбросов, развитие концепции наилучших доступных технологий и программ государственной поддержки экологической модернизации стимулируют переход к более эффективным решениям.

Практика показывает, что для небольших и средних предприятий первичного виноделия особенно актуальны модульные компактные установки, объединяющие в себе механическую подготовку, биологическую (MBBR или MBR) и мембранную доочистку, а также блок обезвреживания ила. Для крупных предприятий целесообразно рассматривать комбинированные схемы с использованием анаэробных реакторов для утилизации высококонцентрированных стоков и последующей аэробной и мембранной очисткой.

Серьёзным ограничением остаются высокие капитальные затраты, дефицит квалифицированного персонала и необходимость адаптации зарубежных технологий к отечественным условиям, включая требования технического регулирования и климатические факторы. Важную роль играет также информационная и методическая поддержка предприятий, разработка типовых решений и отраслевых рекомендаций для винодельческой промышленности.

Сточные воды первичного виноделия характеризуются высокой органической нагрузкой, значительным содержанием взвешенных и коллоидных частиц, сезонностью и неустойчивостью состава, что делает их очистку сложной инженерной задачей. Традиционные методы, основанные на механической и классической биологической очистке, зачастую не обеспечивают требуемого уровня снижения загрязняющих веществ и устойчивости работы при переменных режимах. [1,2]

Инновационные подходы, включающие мембранные технологии, биореакторы с подвижной загрузкой, мембранно-биореакторные системы, анаэробную очистку с получением биогаза, а также процессы продвинутого окисления и сорбции, позволяют существенно повысить эффективность и надёжность систем водоотведения винодельческих предприятий. Наибольший потенциал имеет комбинированное применение этих методов с учётом конкретных условий предприятия, доступных ресурсов и требований к степени очистки.

Дальнейшее развитие в данной области связано с адаптацией наилучших доступных технологий к специфике первичного виноделия, совершенствованием нормативно-технической базы, снижением капитальных и эксплуатационных затрат за счёт оптимизации схем и цифровизации управления, а также с формированием культуры водосбережения и экологической ответственности на уровне предприятий.

Библиографический список

1. Модернизация водоочистительных систем на предприятиях первичного виноделия Кубани. Привалова Н.М., Двадненко М.В. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2024. № 198. С. 65-78.
2. Анализ природоохранных мероприятий предприятий пищевой промышленности на примере винзавода АПК "Виноградный". Бурлака С.Д., Привалова Н.М., Дворцова С.А. Электронный сетевой политематический журнал "Научные труды КубГТУ". 2017. № 7. С. 487-492.
3. Очистка сточных вод. Истомин И.Б., Билло Е.В., Сухаревская Е.С. В сборнике: Современные исследования - 2018. Материалы Международной (заочной) научно-

практической конференции под общей редакцией А.И. Вострецова. Нефтекамск, Республика Башкортостан, Российская Федерация, 2018. С. 134-138.

4. Очистка промышленных сточных вод. Журавлева М.А. В сборнике: Техносферная безопасность в XXI веке. Научные труды XII Всероссийской научно-практической конференции магистрантов, аспирантов и молодых ученых. 2022. С. 335-337.

5. Обезвреживание и очистка сточных вод. Двадненко М.В., Привалова Н.М., Беленькова Ю.И. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2012. № 2. С. 56.

6. Механическая очистка сточных вод. Попов А.В., Назимко Е.И. В сборнике: Молодой исследователь: вызовы и перспективы. Сборник статей по материалам XXXI Международной научно-практической конференции. 2017. С. 99-102.

7. Очистка сточных вод с использованием флокулянтов. Хакимова Г.В., Асфандиярова Л.Р. В сборнике: Малоотходные, ресурсосберегающие химические технологии и экологическая безопасность. Сборник трудов Международной молодежной научно-практической конференции 29 сентября 2022 г. С. 189-191.

8. Очистка бытовых сточных вод методом коагуляции. Байкалова В.А., Лалетина Т.С., Акентьева О.А. В сборнике: Химия и химическая технология в XXI веке. Материалы XX Международной научно-практической конференции имени профессора Л.П. Кулёва студентов и молодых ученых. 2019. С. 451-452.

9. Биохимическая очистка сточных вод. Володин В.М., Ткаченко Д.Г., Беренгартен М.Г. Вестник Международной академии системных исследований. Информатика, экология, экономика. 2010. Т. 12. № 2. С. 7-9.

10. Очистка сточных вод в биологических прудах. Денисов А.А., Положенцев С.А., Розаева А.В., Шаманова Л.А., Павленко А.И. В сборнике: Научные основы производства и обеспечения качества биологических препаратов для АПК. Материалы Международной практической конференции, посвященной 95-летию Армавирской биофабрики. 2016. С. 398-404.

11. Сорбционное извлечение ионов тяжелых металлов при фильтровании сточных вод через активированный алюмосиликатный адсорбент. Марченко Л.А., Боковикова Т.Н., Полуляхова Н.Н., Привалова Н.М. Естественные и технические науки. 2002. № 2 (2). С. 36-38.

12. Способ очистки сточных вод от гексацианоферратов. Боковикова Т.Н., Привалова Н.М., Полуляхова Н.Н., Процай А.А., Марченко Л.А., Новоселецкая О.В., Стрижов Н.К. Патент на изобретение RU 2343120 C1, 10.01.2009. Заявка № 2007130987/15 от 13.08.2007.

13. Сорбционная очистка сточных вод на предприятии. Гараева Ч.Р., Рустамова А.И. Студенческий форум. 2020. № 22-1 (115). С. 62-64.

14. Адсорбционная очистка сточных вод. Двадненко М.В., Привалова Н.М. Успехи современного естествознания. 2010. № 10. С. 214.

15. Очистка сточных вод от тяжелых металлов природными сорбентами. Сикорская А.В., Сиволобова Н.О., Крючихина Е.А. В сборнике: Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения. Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Юргинский технологический институт. 2017. С. 125-127.

References

1. Modernizacija vodoочистitel'nyh sistem na predpriyatijah pervichnogo vinodelija Kubani. Privalova N.M., Dvadenko M.V. Politematicheskij setevoy jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024. № 198. S. 65-78.

2. Analiz prirodoohrannyh meroprijatij predpriyatij pishhevoj promyshlennosti na primere vinzavoda APK "Vinogradnyj". Burlaka S.D., Privalova N.M., Dvorcova S.A. Jelektronnyj setevoj politematicheskij zhurnal "Nauchnye trudy KubGTU". 2017. № 7. S. 487-492.

3. Ochistka stochnyh vod. Istomin I.B., Billo E.V., Suharevskaja E.S. V sbornike: Sovremennye issledovanija - 2018. Materialy Mezhdunarodnoj (zaochnoj) nauchno-prakticheskoy konferencii pod obshej redakciej A.I. Vostrecova. Neftekamsk, Respublika Bashkortostan, Rossijskaja Federacija, 2018. S. 134-138.

4. Ochistka promyshlennyh stochnyh vod. Zhuravleva M.A. V sbornike: Tehnosfernaja bezopasnost' v XXI veke. Nauchnye trudy XII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii magistrantov, aspirantov i molodyh uchenyh. 2022. S. 335-337.

5. Obezvrezhivanie i ochistka stochnyh vod. Dvadnenko M.V., Privalova N.M., Belen'kova Ju.I. Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. 2012. № 2. S. 56.

6. Mehanicheskaja ochistka stochnyh vod. Popov A.V., Nazimko E.I. V sbornike: Molodoy issledovatel': vyzovy i perspektivy. Sbornik statej po materialam HHHI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. 2017. S. 99-102.

7. Ochistka stochnyh vod s ispol'zovaniem flokuljantov. Hakimova G.V., Asfandijarova L.R. V sbornike: Maloothodnye, resursosberegajushhie himicheskie tehnologii i jekologicheskaja bezopasnost'. Sbornik trudov Mezhdunarodnoj molodezhnoj nauchno-prakticheskoy konferencii 29 sentjabrja 2022 g. S. 189-191.

8. Ochistka bytovyh stochnyh vod metodom koaguljacji. Bajkalova V.A., Laletina T.S., Akent'eva O.A. V sbornike: Himija i himicheskaja tehnologija v XXI veke. Materialy XX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii imeni professora L.P. Kuljova studentov i molodyh uchenyh. 2019. S. 451-452.

9. Biohimicheskaja ochistka stochnyh vod. Volodin V.M., Tkachenko D.G., Berengarten M.G. Vestnik Mezhdunarodnoj akademii sistemnyh issledovanij. Informatika, jekologija, jekonomika. 2010. T. 12. № 2. S. 7-9.

10. Ochistka stochnyh vod v biologicheskikh prudah. Denisov A.A., Polozhencev S.A., Rozaeva A.V., Shamanova L.A., Pavlenko A.I. V sbornike: Nauchnye osnovy proizvodstva i obespechenija kachestva biologicheskikh preparatov dlja APK. Materialy Mezhdunarodnoj prakticheskoy konferencii, posvjashhennoj 95-letiju Armavirskoj biofabriki. 2016. S. 398-404.

11. Sorbcionnoe izvlechenie ionov tjazhelyh metallov pri fil'trovanii stochnyh vod cherez aktivirovannyj aljunosilikatnyj adsorbent. Marchenko L.A., Bokovikova T.N., Poluljahova N.N., Privalova N.M. Estestvennye i tehnicheckie nauki. 2002. № 2 (2). S. 36-38.

12. Sposob ochistki stochnyh vod ot geksacianoferratov. Bokovikova T.N., Privalova N.M., Poluljahova N.N., Procaj A.A., Marchenko L.A., Novoseleckaja O.V., Strizhov N.K. Patent na izobretenie RU 2343120 C1, 10.01.2009. Zajavka № 2007130987/15 ot 13.08.2007.

13. Sorbcionnaja ochistka stochnyh vod na predpriyatii. Garaeva Ch.R., Rustamova A.I. Studencheskij forum. 2020. № 22-1 (115). S. 62-64.

14. Adsorbcionnaja ochistka stochnyh vod. Dvadnenko M.V., Privalova N.M. Uspehi sovremennogo estestvoznanija. 2010. № 10. S. 214.

15. Ochistka stochnyh vod ot tjazhelyh metallov prirodnyimi sorbentami. Sikorskaja A.V., Sivolobova N.O., Krjuchihina E.A. V sbornike: Jekologija i bezopasnost' v tehnosfere: sovremennye problemy i puti reshenija. Sbornik trudov Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii molodyh uchenyh, aspirantov i studentov. Jurginskij tehnologicheskij institut. 2017. S. 125-127.