пермский политех

22 31 Десятилетие науки и технологии

www.pstu.ru
www.ceu.pstu.ru

Химия. Экология. Урбанистика

Материалы всероссийской научно-практической конференции
(с международным участием)

г. Пермь, 19–21 апреля 2023 г.
В четырех томах

Том 1

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»

ХИМИЯ. ЭКОЛОГИЯ. УРБАНИСТИКА

Материалы
всероссийской научно-практической конференции
(с международным участием)

г. Пермь, 19–21 апреля 2023 г.

В четырех томах

Том 1

Издательство
Пермского национального исследовательского
политехнического университета
2023

УДК 504.06+711+54.057+504.054+504.064.2:54
Х46

Х46 **Химия.** Экология. Урбанистика : матер. всерос. науч.-практ. конф. (с междунар. участием) : в 4 т. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2023.

ISBN 978-5-398-02973-4

Т. 1. – 518 с. – ISBN 978-5-398-02974-1

Приведены результаты исследований в области экологии, химической технологии и биотехнологии, строительства дорог и транспортных сооружений, машиностроения и материаловедения, направленных на разработку энерго- и ресурсосберегающих технологий.

Главный редактор
В.Н. Коротаев, д-р техн. наук, профессор

Ответственные редакторы
И.Н. Ташкинова, канд. техн. наук, доцент
А.В. Портнова, канд. хим. наук, доцент

Редакционная коллегия
В.В. Вольхин, д-р хим. наук, профессор
В.В. Карманов, д-р техн. наук, профессор
Н.В. Лобов, д-р тех. наук, профессор
Е.Р. Мошев, д-р тех. наук, доцент
М.В. Песин, д-р техн. наук, профессор
В.З. Пойлов, д-р техн. наук, профессор
Л.В. Рудакова, д-р техн. наук, профессор
Ю.Д. Щицын, д-р техн. наук, профессор

УДК 504.06+711+54.057+504.054+504.064.2:54

ISBN 978-5-398-02974-1 (Т. 1)
ISBN 978-5-398-02973-4 (общ.)
© ПНИПУ, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ. ПРИРОДОСБЕРЕГАЮЩИЕ И КЛИМАТИЧЕСКИ НЕЙТРАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

И.Н. Адиатуллина, Л.В. Волкова
Проблемы переработки вторичных продуктов молочной промышленности 11

Ю.А. Антонова, Г.М. Батракова
Контроль выбросов промышленного предприятия спецхимии в городе Соликамске 17

Е.В. Астраханцева, А.М. Непогодин, А.С. Веретенников
Методы очистки фильтрата полигонов твердых коммунальных отходов 24

Д.С. Бабкин, Г.В. Ильиных, С.В. Полыгалов
Переработка полимерных канистр из-под автомобильных масел 29

П.С. Бажина, И.С. Глушанкова
Обоснование применения каталитического пиролиза для утилизации осадков сточных вод нефтехимических производств 34

А.Н. Басамыкина, М.А. Камеристая, Е.И. Горелов
Организация оборотного цикла водоснабжения на ТЭС 39

Н.И. Батуев, А.А. Сурков
Эколого-экономический анализ эксплуатации электромобилей в России 45

Я.В. Васильева, М.В. Паршикова, Е.М. Микрюкова
Современное и энергоэффективное оборудование для пневматической аэрации 51

Я.Д. Ведерников, О.А. Рублева
Определение оптимальных параметров конструкции оснастки для ресурсосберегающей технологии торцового прессования древесины 56

Н.А. Воронин, Д.А. Воронин, В.А. Сомин
Изучение влияния тяжелых металлов на жизнедеятельность моллюсков рода *Lissachatina Fulica* 62

М.С. Девяткова, С.В. Полыгалов, Г.В. Ильиных
Переработка отходов полипропилена 66

Д.Е. Добрынин, В.А. Сомин
Использование отходов целлюлозно-бумажной промышленности в качестве сырья для вермикомпостирования 72

А.В. Елькин, К.Г. Пугин
Оценка геоэкологической устойчивости дренажных систем и подземных коммуникаций 78

Д.А. Ефремова, Г.С. Арзамасова
Обзор зарубежного и российского опыта применения экологических маркировок..... 84

О.С. Залыгина, В.И. Чепрасова, Т.Л. Старовойтова
Отходы литейного производства как вторичное сырье 89

Д.А. Зубкова, Д.Д. Мерзлякова, А.М. Непогодин, И.В. Пестерева
Очистка природных вод от антропогенных примесей..... 94

В.А. Калинина, Ю.М. Маргина
Биотестирование кородревесных отходов с использованием семян редиса (*Raphanus Sativus*) 99

А.А. Калякина, С.Б. Чачина
Сравнение качественной характеристики полученного биодизеля из органического сырья..... 104

А.Г. Кислый, И.А. Мороз, В.В. Гуляева, Ю.Г. Прохоров, А.В. Клевцова, С.А. Мареев
Анодное окисление водных растворов гидрохинона на гранулированном электроде из субстехиометрического оксида титана..... 108

В.К. Коняев, С.В. Полыгалов, Г.В. Ильиных
Определение содержания остаточных примесей в хлопьях полиэтилентерефталата..... 113

А.И. Косухина, А.Г. Старостин
Проблема негативного воздействия сточных вод животноводства на окружающую среду и пути ее решения 119

М.Ю. Лузина, В.О. Шестакова, Е.С. Белик
Микропластик в косметических средствах..... 124

А.П. Лукьяненко, В.А. Сомин
Решение вопросов ресурсосбережения в производстве пластиковых изделий..... 129

Д.В. Мальцев, Е.В. Астраханцева, А.М. Непогодин
Пример расчета аэротенка с глубоким удалением биогенных элементов по немецкой технологии 133

А.А. Мальцева, А.А. Букин, К.Л. Чертес
Ликвидация загрязнений в экосистемах, образованных в результате вывода из эксплуатации шламонакопителей 138

А.В. Михайлова, А.А. Сурков, Н.Н. Слюсарь
Экологические здания кампусов университетов: улучшение окружающей среды и качества жизни студентов 145

Е.Ю. Михайлова, С.В. Полыгалов, Г.В. Ильиных
Переработка отходов полиэтилентерефталата 150

Н.А. Муравьева, Ю.В. Куликова, О.О. Бабич
Анализ динамической сорбции ионов меди углем, полученным методом гидротермального ожижения 157

З.Р. Муфтахутдинова
Мероприятия по энергосбережению в системах вентиляции 161

А.Г. Николаева, А.А. Абрамова, Н.С. Горбунов
Эффективная водоподготовка в современных блочно-модульных котельных малой мощности 165

А.А. Перевощикова, Л.В. Рудакова, Я.И. Вайсман
Формирование устойчивых фитоценозов на солеотвалах 170

Е.А. Пичугин
К вопросу оценки загрязнения почвы вблизи объектов накопленного вреда окружающей среде 176

Д.А. Романов, В.Н. Панченко
Плавающие фотокатализаторы для разложения красителя метилового оранжевого 182

В.К. Салахова, Л.В. Рудакова, В.Н. Коротаев
Геоэкологическая опасность тары для моторного масла из полиэтилена 188

Б.Д. Тавадзе, М.А. Бабаева
Влияние радиации на здоровье людей и на среду их обитания 194

И.Н. Ташкинова
Определение углеродоемких процессов производства аммиачной селитры на примере предприятия в Пермском крае 200

К.А. Цыгурина, В.Д. Рулева, М.А. Пономарь, Н.Д. Письменская
Совершенствование электродиализного концентрирования ионов аммония путем модифицирования анионообменных мембран 205

М.Е. Чужба, А.В. Цыбина
Обоснование актуальности утилизации отходов АБС-пластика с получение филамента для 3D-печати 210

В.А. Швалева, А.С. Соловьева, Е.С. Белик, Л.В. Рудакова
Определение параметров роста периодической культуры микроводоросли *Chlorella*, полученной из различных биопрепаратов, и оценка возможности их использования для утилизации углекислого газа 215
Н.С. Шулаев, В.В. Пряничникова, Р.Р. Кадыров
Специфика применения катодоцентрической схемы электроочистки почв 221
Д.Р. Юдина, М.П. Шабалина, Э.Х. Сакаева
Влияние углеводородов нефти на интенсивность дыхания почв 225

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОТЕХНОЛОГИИ

Т.А. Аблина, Л.В. Волкова
Разработка технологии репаративных лекарственных форм, содержащих альбумин человека в качестве действующего вещества 229
Е.Р. Ахмадулина, Л.В. Волкова
Ферментированная субстанция биомассы листьев *A. Lappa l.*, обогащенная пробиотическими метаболитами 233
Р.Р. Ахмедзянова, Р.Т. Валеева, Д.В. Тунцев
Предварительная обработка подсолнечной шелухи для использования в биотехнологических производствах 237
А.С. Барашкова, Я.А. Климова, Л.Д. Аснин
Хроматографическое разделение пентапептидов энкефалинов на хиральных неподвижных фазах 242
Е.Е. Белоусова, С.Б. Чачина, Д.А. Гиндер, К.В. Клюкина
Определение солей фитиновой кислоты в растительном молоке 246
Е.В. Буденчук, С.Б. Чачина
Определение и анализ сахаролитической активности нитрифицирующих, азотофиксирующих, аммонифицирующих, денитрифицирующих и нитратредуцирующих бактерий 251
А.О. Габова, А.В. Тюленев, Г.В. Смирнова, О.Н. Октябрьский
Стресс-индуцируемая продукция H_2S у бактерий *Bacillus subtilis* 255
К.Е. Габченко, А.Д. Конюхова, С.Б. Чачина
Значение определения редуцирующей (восстанавливающей) способности бактерий 259

А.А. Глушаева, А.В. Портнова
Влияние условий хранения на содержание ионов NH_4^+ и PO_4^{3-} в стоках животноводства.....264

Ю.А. Головкова, Л.С. Пан
Получение и изучение свойств биосорбентов на основе морских водорослей для удаления цезия из водных растворов 269

М.В. Додина, А.В. Ахова, А.Г. Ткаченко
Влияние условий культивирования на эффективность конверсии аргинина в агматин бактериями *Escherichia coli* 274

Д.И. Зиганшина, Е.А. Морева, А.В. Кудинов, Л.Д. Аснин
Изучение влияния длины пептидной цепи низкомолекулярных пептидов на энантиоселективное разделение на хиральных неподвижных фазах 279

Д.А. Зимина, С.Б. Чачина
Получение белка из вермикультуры со сниженными антипитательными факторами.....284

Д.А. Зимина, С.Б. Чачина
Получение возобновляемого источника белка из вермикультуры 288

А.В. Игнатенко
Седиментационный анализ регенерации вспухшего активного ила 292

Я.А. Климова, А.С. Барашкова, Д.И. Зиганшина, Е.А. Морева, Л.Д. Аснин
Энантиоселективное разделение стереоизомеров дипептидов на хиральных неподвижных фазах на основе производных хининовых алкалоидов 298

Е.А. Колмакова
Видовая структура фауны инфузорий малых рек г. Хабаровска.....303

К.Н. Колыхматова, О.И. Бахирева
Изучение возможности применения микробиологического метода для очистки воды от ионов марганца (II).....308

Д.А. Кочергина, Н.Е. Завьялова, М.В. Кузнецова
Микробиологическая оценка органических удобрений на основе куриного помета.....313

Е.В. Кравцова, А.В. Портнова
Оптимизация метода определения амилолитической активности ферментов, выделяемых культурой *Bacillus subtilis* 319

А.А. Кусакин, Т.С. Соколова
Коррозия стали под воздействием тионовых бактерий в карбонатных средах 323

Е.А. Лебедев, В.В. Мартазова
Производство вакцин V поколения на основе аденовирусов 328

А.Ю. Левкович, А.С. Карунос, С.М. Ленивко
Влияние различных концентраций тидиазурона на культивирование двух типов зрелых эксплантов фаленопсиса гибридного 333

А.А. Лобанова, О.И. Бахирева
Биологическая очистка сточных вод от фенола 339

Е.А. Лобачева, Е.А. Першин, Е.А. Фарберова
Оценка возможности биохимического модифицирования нефтяного кокса с целью получения активированных углей 344

Д.Г. Мавлетшина, Р.Т. Валеева
Питательные среды для пробиотических препаратов на основе рода *Bacillus* 349

А.Е. Маковец, С.Б. Чачина
Изучение биохимических свойств железоокисляющих микроорганизмов 354

А.Е. Маковец, С.Б. Чачина
Определение концентрации железа, выделенного железоокисляющими микроорганизмами 359

Е.А. Морева, Д.И. Зиганшина, Е.Н. Решетова, Л.Д. Аснин
Хроматографическое разделение стереоизомеров дипептидов в контроле качества продуктов биотехнологического производства 364

А.А. Новикова, А.П. Чернова
Оценка чистоты сладких белков 368

А.М. Обухова
Выделение активных культур аэробных нефтеокисляющих бактерий из грунта и донных отложений 372

С.В. Павленко, А.А. Ботева
Изучение антиоксидантной активности 2,3-диацил-4-хинолонов и их [b]-анелированных аналогов 376

А.В. Перемотина, А.Ю. Максимов
Биотрансформация акрилонитрила иммобилизованными на гидроксиапатите бактериями *Rhodococcus ruber* gt1 381

В.И. Перескокова, А.Ю. Максимов
Трансформация акрилонитрила иммобилизованными клетками *Rhodococcus ruber* gt1 и *Pseudomonas fluorescens* C2 386
А.О. Петухова, И.А. Пермякова
Изучение скорости биодеградации эфиров жирных кислот 392
С.К. Плетнева, З.Ю. Самойлова
Оценка антиоксидантной активности отходов целлюлозно-бумажного производства 397
Д.С. Пухнярская, А.П. Чернова
Исследование влияния солей лития на микроорганизмы 401
Е.В. Рассохина, А.А. Векшин, М.Ю. Дягелев
Почвенная утилизация осадка сточных вод 406
В.И. Сагидуллина, А.В. Ахова, А.Г. Ткаченко
Подбор оптимальных условий реакции биоконверсии лизина в кадаверин с применением ферментных биокатализаторов 411
З.Ю. Самойлова, Л.В. Суторминa, Г.В. Смирнова, О.Н. Октябрьский
Противомикробные эффекты экстрактов кормовых трав в отношении штаммов *Escherichia coli* – возбудителей птичьего колибациллеза 416
Л.А. Саникович, Н.Б. Ходяшев
Экологическая опасность складирования отработанного активного ила и отдельные направления его утилизации 421
К.Г. Семенова, Ю.Г. Максимова
Фосфатмобилизующие и фитазопродуцирующие бактерии содового шламохранилища 426
Л.В. Суторминa, К.В. Безматерных, Г.В. Смирнова, О.Н. Октябрьский
Изменение уровня цистеина у *Escherichia coli* при действии ципрофлоксацина 431
Н.А. Сыпачева, Г.А. Козлова
Биодеградация гербицида смешанными культурами микроорганизмов 435
П.А. Ташкинова, А.В. Ахова, А.Г. Ткаченко
Влияние условий культивирования на эффективность конверсии лизина в 1,5-диаминопентан бактериями *Escherichia coli* 440
Е.А. Фесенко, С.Б. Чачина
Изучение снижения антипитательных факторов у соевой муки с помощью методов ультрафиолетовой, ультразвуковой, СВЧ и термообработки 445
Е.А. Фесенко, С.Б. Чачина
Изучение активности уреазы и амилазы у соевой муки, обработанной ультрафиолетом, ультразвуком, СВЧ и повышенной температурой 450

Э.Ф. Хаирова, С.И. Ибрагимова, О.М. Судакова
Современные проблемы биотехнологии в химической промышленности.....455

Е.А. Хаова, А.Г. Ткаченко
Создание штамма *Escherichia coli* с делецией гена sra, кодирующего фактор гибернации рибосом.....458

Е.А. Цыпкина, Л.С. Пан
Биоразлагаемые сорбенты на основе морских водорослей и йода для обеззараживания воды.....464

М.А. Чаленко, Ю.М. Епишкина, Н.Ю. Хромова, Ю.М. Аверина, Б.А. Кареткин, И.В. Шакир, В.И. Панфилов
Исследование процессов фильтрации как стадии получения бактериоцинов на растительном сырье.....469

С.Б. Чачина, Е.П. Денисова
Биохимические свойства бактерий-нефтедеструкторов на основе микроорганизмов *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus subtilis*, *Rhodococcus*.....475

С.Б. Чачина, Е.П. Денисова
Рекультивация почв, загрязненных нефтью, с использованием вермикультуры дождевых червей и микроорганизмов-нефтедеструкторов.....481

С.Б. Чачина, Е.П. Денисова, В.В. Жукова
Влияние азотных биоудобрений на всхожесть и рост растений редиса и гороха.....487

С.Б. Чачина, Е.П. Денисова, В.В. Жукова
Исследование биохимических свойств аммонифицирующих, нитрифицирующих, азотофиксирующих микроорганизмов.....493

А.М. Шарифуллина, С.Б. Чачина
Определение каталазы и оксидазы в пробах с углеводородокисляющими бактериями.....499

А.М. Шарифуллина, С.Б. Чачина, А.В. Аверина
Определение биохимических свойств препаратов углеводородокисляющих микроорганизмов.....503

М.Ю. Шурбина, Р.Т. Валеева, Д.В. Тунцев
Использование свекловичного жома в производстве кормовых дрожжей.....508

Д. Энхтур, О.И. Бахирева
О возможности очистки сточных вод от ионов цинка, меди, никеля биотехнологическими методами.....513

ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ. ПРИРОДОСБЕРЕГАЮЩИЕ И КЛИМАТИЧЕСКИ НЕЙТРАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 664

И.Н. Адиатуллина, Л.В. Волкова

ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕРАБОТКИ ВТОРИЧНЫХ ПРОДУКТОВ МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В статье затронуты проблемы современного дефицита молочного сырья, его биологическая и функциональная ценность, а также обозначена проблематика переработки и утилизации вторичных молочных продуктов, таких как пермеат молочный и молочная сыворотка.

Ключевые слова: пермеат молочный, сывороточный белок, лактоза, нанофильтрация.

I.N. Adiatullina, L.V. Volkova

PROBLEMS OF PROCESSING SECONDARY PRODUCTS OF THE DAIRY INDUSTRY

The article touches upon the problems of the modern shortage of dairy raw materials, its biological and functional value, as well as the problems of processing and disposal of secondary dairy products, such as milk permeate and whey.

Keywords: milk permeate, whey protein, lactose, nanofiltration.

По данным Федеральной службы государственной статистики в России, на 1 апреля 2022 г. насчитывалось 17,9 млн голов крупного рогатого скота (КРС), среди них количество коров составляло 7,8 млн штук. Это примерно на 2,4 и 1 % соответственно ниже, если сравнивать с аналогичным периодом 2021 г. Из 17,9 млн КРС, которые содержатся в российских хозяйствах, количество коров составляет 7,8 млн голов. Снижение год от года составило 1,7 %. В стране также

сократилось поголовье коз и овец на 3,8 %, до 21,5 млн. Тенденция к снижению количества сельскохозяйственных животных наблюдается и в Евросоюзе: там поголовье сократилось на 8,9 % в период с 2001 по 2020 г. [6, 9].

Молоко и продукты его переработки являются важнейшими источниками питательных и полезных веществ, таких как белки, аминокислоты, углеводы, жиры и жирные кислоты, витамины и микроэлементы, соли. В настоящий момент ученые открыли в составе молока около 2000 веществ.

Стоит также отметить, что в молоке содержатся лактальбумин и лактоглобулин. Состав молока в зависимости от вида млекопитающего может значительно отличаться. В таблице приведены основные показатели молока различных видов млекопитающих [7, 8].

Состав молока различных видов млекопитающих

Вид молока	Массовая доля, %					
	Вода	Сухие вещества	Белок	Жир	Лактоза	Зола
Коровье	87	13	3,6	4,0	4,6	0,7
Козье	86	3,2	3,2	4,5	4,3	0,8
Грудное	88	12	1,6	4,5	7,1	0,2

Молочные белки. Молочные белки представляют собой огромную ценность в детском и диетическом питании. Для переваривания белков пищеварительной системой организму необходимо продуцировать ферменты, содержащиеся в желудочном соке. В зависимости от вида перевариваемых белков количество необходимых ферментов может вырабатываться в большем или меньшем количестве. Молочные белки, содержащиеся в жидкой коллоидной системе, имеют относительно небольшие размеры молекулы, что помогает организму наиболее полно усваивать белки, а количество затраченной энергии на их переваривание значительно ниже по сравнению с мясными белками. Благодаря этим свойствам молоко и молочные продукты относятся к диетическим продуктам пита-

ния. В состав молока входят такие белки, как казеин, белки оболочек жировых шариков, сывороточные белки и др. [1, 3, 7, 8].

Жиры. Жиры в молоке содержится в виде шариков, в которых растворены ретинол (витамин А), каротин (провитамин А), холекальциферол (витамин D) и токоферол (витамин Е). Благодаря этой структуре молочные жиры являются не только источником энергии для организма, но и источником наиболее усвояемых форм витаминов, поэтому этот фактор оказывает благотворное влияние на рост и здоровье детского организма. В соответствии с Приказом № 735-68 «Рекомендуемые величины физиологических потребностей в пищевых веществах и энергии» (утв. Главным государственным санитарным врачом СССР 16.04.1968) молоко является неотъемлемой частью детского и школьного питания [8].

Углеводы. Молочный сахар или лактоза является не только источником энергии в питании человека, но и в питании бактерий и дрожжей, содержащихся в парном молоке. При создании определенных условий (температура, перемешивание и др.) протекает молочнокислое, спиртовое, пропионовокислое, уксуснокислое, маслянокислое брожение, благодаря которым получаются такие ценные продукты питания, как кефир, ряженка, йогурт, кумыс, сыр, творог и др. Помимо этого, молочный сахар и его структура оказывают особое влияние на вкусовые качества мороженого. Лактоза также является самостоятельным лекарственным препаратом для улучшения функций кишечника, а также используется в качестве таблетируемого наполнителя других лекарственных средств [2, 8].

Ввиду того что молоко имеет уникальный химический состав и физические свойства, продукты питания на его основе имеют не только высокую энергетическую, но и физиологическую ценность, при этом наблюдается тенденция снижения поголовья КРС не только в России, но и других странах и, как следствие, снижение выработки молока.

Стоит отдельно отметить, что ассортимент молочной продукции достаточно широк. Одними из самых популярных являют-

ся сыр и творог. Свою популярность они получили не только благодаря вкусовым качествам, но и высокому содержанию белков и кальция [2].

Помимо сырья для пищевой промышленности, молоко также используется в качестве сырья для фармпрепаратов. Например, казеин широко используется в качестве добавок к диетическим препаратам для больных людей и к питанию космонавтов и спортсменов [4].

В процессе получения сыра, творога и казеина образуется вторичный продукт – молочная сыворотка. В домашних условиях переработки молока молочная сыворотка, как правило, выливается или скармливается другим домашним животным, например свиньям. Однако в промышленных условиях переработки молока утилизация молочной сыворотки не только усложнена, но и является экономически нецелесообразной ввиду высокого содержания полезных сывороточных белков и незаменимых для человека аминокислот в ее составе. Белковая ценность сывороточных белков превалирует над белковой ценностью молочных белков почти в 2 раза.

Современные технологии переработки стремятся к максимальной эффективности переработки такого ценного сырья, как молоко и его вторичных продуктов – сыворотки, обрата и пахты. Например, для сохранения ценных сывороточных белков и лактозы на молокоперерабатывающих заводах все чаще применяют технологию получения сухой сыворотки, которая в дальнейшем используется в пищевой промышленности. Однако в процессе нанофильтрации сыворотки образуется пермеат молочный. Доля молочного пермеата, образующегося в процессе сушки сыворотки, составляет 70÷75 %.

Существуют дальнейшие пути переработки молочного пермеата в сухой продукт, однако востребованность его на рынке ниже экономических издержек, затраченных на внедрение данной технологии. Вместе с тем молочный пермеат содержит лактозу, которая представляет опасность для окружающей среды, и ее по-

падание в сточные воды нежелательно. Это влечет за собой дополнительные расходы на строительство сооружений биологической очистки [5].

Все эти аспекты позволяют судить о том, что поиск новых технологий и путей переработки как молочной сыворотки, так и пермеата молочного представляет интерес для научного исследования.

Список литературы

1. Батырева В.С., Атрепьева Л.В. Свойства и применение природного биополимера казеина // Горизонты биофармацевтики. – Курск, 21–22 апреля 2017 г. – Курск, 2017. – С. 184–187.
2. Витушкина М.А. Использование молочной сыворотки в пищевой промышленности // Вестник науки: междунар. науч. жур. – 2021. – Т. 5, № 1 (34). – С. 127–132.
3. Витушкина М.А. Дулепова М.А. Сывороточные белки молока и их свойства // Вестник науки: междунар. науч. жур. – 2020. – Т. 5, № 8 (29). – С. 51–58.
4. Идеи академика Владимира Дмитриевича Харитонова в наукоемких технологиях переработки молока: коллективная монография / под общ. ред. акад. РАН А.Г. Галстяна. – М.: ВНИМИ, 2021. – 268 с.
5. Методология решения проблемы очистки стоков молокоперерабатывающих предприятий / Д.С. Мамай [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2022. – Т. 84, № 1. – С. 214–221.
6. Новикова Е.Ч. Моя работа в министерстве здравоохранения СССР (1972–1984) // Российский педиатрический журнал. – 2018. – № 21 (1). – С. 61–64.
7. Рогожин В.В. Биохимия молока и мяса. – СПб.: ГИОРД, 2012. – 456 с.
8. Тепел А. Химия и физика молока. – СПб.: Профессия, 2012. – 832 с.

9. Федоченко Н.В. Общественные инициативы «охранения жизни младенцев и воспитания детей»: из истории народного просвещения // Мир науки: интернет-журнал. – 2018. – Т. 6, № 6. – С. 1–12.

Об авторах

Адиатуллина Ирина Николаевна – аспирант кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: inadiatullina@yandex.ru

Волкова Лариса Владимировна – доктор медицинских наук, профессор кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: wolkowalw@mail.ru

УДК 504.3.054

Ю.А. Антонова, Г.М. Батракова

КОНТРОЛЬ ВЫБРОСОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ СПЕЦХИМИИ В ГОРОДЕ СОЛИКАМСКЕ

Приведен анализ данных о загрязнении атмосферного воздуха в г. Соликамске за период 2008–2020 гг. Проведена инвентаризация организованных источников выбросов загрязняющих веществ предприятия спецхимии с целью модернизации производственного экологического контроля источников загрязнения атмосферного воздуха. Внедрение технических средств автоматического контроля позволит в режиме реального времени контролировать эмиссию газообразных веществ пыли от стационарных источников.

Ключевые слова: загрязнение атмосферного воздуха, выбросы, мониторинг, автоматические средства контроля выбросов.

Yu.A. Antonova, G.M. Batrakova

EMISSION CONTROL IN INDUSTRY SPECIAL CHEMISTRY IN SOLIMKAMSK

The analysis of data on air pollution in the city of Solikamsk for the period 2008–2020 was carried out. An inventory of organized sources of pollutant emissions of a special chemical enterprise was carried out in order to modernize the production environmental control of s ources of atmospheric air pollution. The introduction of technical means of automatic control will allow real-time control of the emission of gaseous substances and dust from stationary sources.

Keywords: air pollution, emissions, monitoring, automatic means of emissions control.

Проблема загрязнения атмосферного воздуха является многогранной, особенное внимание уделяется качеству воздуха урбанизированных территорий с большой концентрацией промышленных предприятий. Загрязнение атмосферы оказывает негативное воздействие не только на окружающую среду, животных и растения, но и на здоровье населения.

Большую нагрузку на воздушный бассейн оказывает деятельность промышленных предприятий химической отрасли, в том числе предприятий спецхимии. Они являются источниками выбро-

сов в окружающую среду многокомпонентных смесей загрязняющих веществ всех классов опасности. С учетом огромного разнообразия предприятий химической промышленности, видов выпускаемой ими продукции, очевидно, что номенклатура загрязняющих веществ, выбрасываемых ими в атмосферу, оценивается как самая широкая среди всех отраслей промышленности.

Организация мониторинга загрязнения атмосферного воздуха с использованием современных технических средств контроля является актуальным направлением обеспечения экологической безопасности промышленных городов и формирования условий санитарно-эпидемиологического благополучия территорий населения.

В число регионов Российской Федерации со сложной экологической обстановкой входит Пермский край, поскольку он является одним из наиболее промышленно развитых субъектов страны. По данным Росстата за 2021 г., Пермский край среди субъектов Российской Федерации по объемам выбросов в атмосферу занимал 4-е место [1]. Основными источниками загрязнения воздушной среды в Пермском крае являются нефтеперерабатывающая и химическая промышленность. В атмосферный воздух поступает около 360 видов химических веществ, в том числе 30 веществ 1-го класса опасности [2].

Одним из развитых промышленных регионов Пермского края является Березниковско-Соликамский промышленный узел. Высокая концентрация промышленных предприятий обусловливает напряженную экологическую ситуацию в северной части г. Соликамска. Из-за фактической розы ветров (преобладание ветров Ю и Ю-З направления составляет 23 и 19 % [3]) территория Соликамского района подвергается мощному воздействию выбросов промышленных предприятий г. Березники.

По данным обзора [2], начиная с 2009 по 2013 г. величина выбросов загрязняющих веществ в атмосферу увеличивалась, что обусловлено увеличением мощностей промышленных предприятий г. Соликамска; с 2015 г. наблюдалось снижение валового выброса загрязняющих веществ, что связано с постепенным внедрением

наилучших доступных технологий производства продукции и очисткой пылегазовых выбросов, сокращением некоторых технологических линий (рисунок).

В г. Соликамске насчитывается 41 хозяйствующий субъект, из них 3 объекта отнесены к I категории предприятий в соответствии с критериями отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, утвержденных Постановлением Правительства РФ от 31.12.2020 № 2398 (с изм. на 7.10.2021). АО «Соликамский завод «Урал» отнесен к объекту I категории, т.к. осуществляет деятельность по производству химических веществ и химических продуктов.

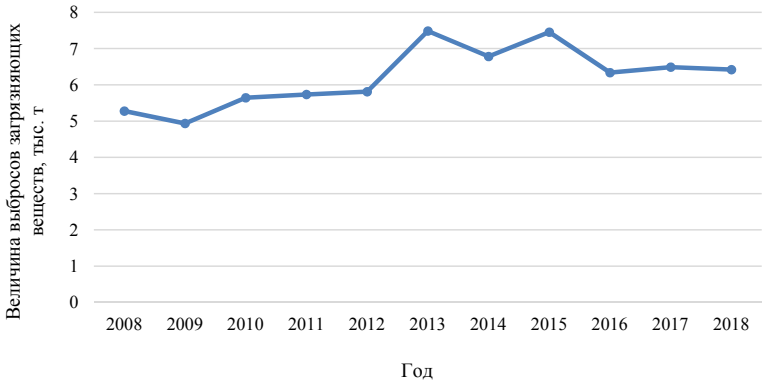


Рис. Выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников в г. Соликамске за 2008–2018 гг. [2]

В соответствии с Федеральным законом от 21.07.2014 г. №219-ФЗ (в ред. от 29.12.2014 г.) «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» все предприятия, имеющие источники выбросов I-й категории, обязаны получить комплексное экологическое разрешение (КЭР), разработать программу автоматического контроля выбросов загрязняющих веществ, выполнить подбор технических средств для модернизации системы контроля выбросов и оценки негативного воздействия.

Система контроля должна быть создана на объекте в срок не более четырех лет с момента получения КЭР либо в иной срок с учетом реализации мероприятий по реконструкции источников выбросов, предусмотренных программой повышения экологической эффективности.

Требования к автоматическим средствам измерения и учета показателей, а также техническим средствам фиксации и передачи информации о показателях выбросов и (или) сбросов установлены Постановлением Правительства от 13.05.2019 № 262 [5]. Автоматические средства измерения должны обеспечивать измерение и учет следующих параметров: концентрация загрязняющих веществ в мг/м; объемный расход отходящих газов в м/ч; давление отходящих газов в кПа; температура отходящих газов в °С; содержание кислорода в отходящих газах в % (при необходимости); влажность отходящих газов в % (при необходимости).

С целью обоснования технического задания для модернизации производственного экологического контроля стационарных источников выбросов загрязняющих веществ проведена инвентаризация источников эмиссии, выполнен расчет рассеивания загрязняющих веществ, обоснованы нормативы допустимых выбросов и проведен сравнительный анализ технических средств для систем автоматического контроля выбросов загрязняющих веществ отечественного производства.

Приоритетные загрязняющие вещества в атмосферном воздухе урбанизированных территорий – диоксид серы, диоксид азота, оксид углерода, твердые частицы (пыль, сажа, зола). На их долю приходится около 98 % выбросов вредных веществ в атмосферу [4].

По данным наблюдений Пермского ЦГМС филиала ФГБУ «Уральское УГМС», фоновое загрязнение атмосферы в районе расположения АО «Соликамский завод «Урал» представлено в таблице.

Загрязнение атмосферы в районе расположения
АО «Соликамский завод «Урал»

Примесь	Фоновые концентрации, мг/м³				
	при скорости ветра 0–2 м/с	при скорости ветра 3-U м/с			
		С	В	Ю	З
Азота диоксид	0,078	0,065	0,067	0,076	0,070
Углерод оксид	2,62	1,63	1,61	1,50	1,81
Марганец и его соединения	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Азота оксид	0,021	0,013	0,016	0,015	0,014
Серы диоксид	0,006	0,005	0,007	0,006	0,007

Основными загрязняющими веществами, поступающими в атмосферу от организованных источников выбросов предприятия, являются: азота диоксид, углерод оксид, марганец и его соединения, серы диоксид [6]. Перечисленные примеси входят в перечень загрязняющих веществ, *в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды* в соответствии с Распоряжением Правительства Российской Федерации от 08.06.2015 г. №1316 – р (с изм. на 10.05.2019).

В настоящее время существует огромное разнообразие систем автоматического контроля выбросов загрязняющих веществ. Для данного предприятия наиболее подходящими системами автоматического контроля являются:

– система контроля качества воздуха «Атмосфера». (СККВ «Атмосфера») производства НПО «Прибор», г. Москва;

– автоматическая система контроля промышленных выбросов – АСКПВ1. Производитель – ЗАО НПФ «ДИЭМ», г. Москва;

– комплекс автоматического измерения и учета выбросов загрязняющих веществ АКПВ. Производитель – ООО «ЭНЕРГОЛОГИКА», г. Москва;

– автоматическая система непрерывного контроля выбросов ООО «СервисСофт Инжиниринг», г. Москва и др.

Вышеперечисленные системы в полном объеме смогут обеспечить контроль выбросов загрязняющих веществ в атмосферу

и снизить плату предприятия за негативное воздействие на атмосферу.

При сравнении технических средств автоматического контроля выбросов загрязняющих веществ учитывались следующие характеристики:

– применяемые средства измерений внесены в реестр средств измерении Российской Федерации и допущены к применению в сфере государственного регулирования;

– результаты измерений приводятся к нормальным условиям, обеспечивая расчет валовых выбросов (г/с или тонн/год);

– количество примесей, наличие в перечне измеряемых примесей приоритетных загрязняющих веществ;

– контроль целостности данных и недопущение несанкционированного вмешательства в работу систем контроля выбросов;

– сохранение работоспособности, а также целостности данных при сбоях в системе энергоснабжения, возникновении нештатных ситуаций и аварий, сбоях в технологическом процессе;

– передача данных, собранных системой, должны передаваться на удаленный сервер для обработки и архивирования, возможность интеграции в АСУ ТП предприятия.

Список литературы

1. О состоянии и об охране окружающей среды Пермского края в 2021 году: докл. / Министерство природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Пермского края. – Пермь, 2022. – 295 с.

2. Мещурова Т.А. Оценка загрязнения атмосферного воздуха в городах Пермского края // Вестник Нижневартовского государственного университета. – 2020. – № 1. – С. 110–119.

3. Соликамск, температура и статистика [Электронный ресурс] // Климатический справочник России. – URL: https://climate-energy.ru/weather/spravochnik/temp/climate_sprav-temp_280280711.php (дата обращения: 26.02.2023).

4. Колесников С.И. Экология: учеб. пособие. – М.: Дашков и К$_о$; Ростов н/Д: Наука-Пресс, 2007. – 384 с.

5. Мешалкин В.П., Скобелев Д.О., Попов А.Ю. Автоматический контроль выбросов: опыт применения предсказывающих систем // Компетентность / Competency (Russia). – 2020. – № 9–10. – С. 15–21.

6. Справка о состоянии загрязнения окружающей среды Пермского края июль 2022 года [Электронный ресурс] // Министерство природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Пермского края. – URL: https://priroda.permkrai.ru/ (дата обращения: 26.02.2023).

Об авторах

Антонова Юлия Александровна – студентка магистратуры кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: juliapeskisheva02@gmail.com

Батракова Галина Михайловна – доктор технических наук, профессор кафедры «Охрана окружающей среды», доцент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: GMbatrakova@mail.ru

УДК 628.349.08

Е.В. Астраханцева, А.М. Непогодин, А.С. Веретенников

МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ФИЛЬТРАТА ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Фильтрат, образующийся на полигонах твердых коммунальных отходов, является экологически опасным с санитарно-гигиенической точки зрения. Его химический состав достаточно сложный, поэтому для очистки применяют комбинацию из традиционных методов очистки сточных вод (механические, физико-химические, биохимические).

Ключевые слова: фильтрат, методы очистки фильтрата, полигон твердых коммунальных отходов.

E.V. Astrakhantseva, A.M. Nepogodin, A.S. Veretennikov

METHODS OF FILTRATE PURIFICATION OF MUNICIPAL SOLID WASTE LANDFILLS

The filtrate formed at landfills of municipal solid waste is environmentally and sanitary-hygienically dangerous. Its chemical composition is quite complex, for the reason, a combination of traditional wastewater treatment methods (mechanical, physico-chemical, biochemical) is used for purification.

Keywords: filtrate, filtrate purification methods, municipal solid waste landfill.

Полигоны твердых коммунальных отходов (далее – ТКО) предназначены для защиты окружающей среды от продуктов разложения отходов. Одним из опасных факторов является фильтрат – вода, образующаяся за счет просачивания атмосферных осадков через тело полигона. В процессе прохождения массы отходов фильтрационные воды наполняются отравляющими веществами. Для защиты грунтовых и подземных вод проектируется защитный экран основания полигона – противофильтрационный экран. Санитарно-эпидемиологическая опасность фильтрационных вод заключается в том, что они содержат патогенные микроорганизмы [1–3].

Фильтрат отличается от других стоков по содержанию высокотоксичных соединений. Показатели концентраций загрязняющих веществ в фильтрационных водах согласно СП 320.1325800.2017 представлены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели концентраций загрязняющих веществ в фильтрационных водах

Параметр, единица измерения	«Молодой» полигон (кислая фаза)	«Старый» полигон (метаногенная фаза)
pH	4,5–7,5	7,5–9
ХПК, мг O_2/дм^3	900–40 000	500–9000
БПК$_5$, мг O_2/дм^3	600–30 000	20–700
Аммонийный азот, мг/дм^3	300–5000	300–3000
Fe, мг/дм^3	20–2000	4–150
Ca, мг/дм^3	10–2500	50–1100
Mg, мг/дм^3	30–1200	40–350
Mn, мг/дм^3	0,3–65	0,03–45
SO_4, мг/дм^3	40–1500	25–400
Cl, мг/дм^3	300–5000	300–2500
Zn, мг/дм^3	0,1–120	0,03–4

Сложность в выборе метода очистки фильтрата заключается в том, что:

– на разных стадиях жизненного цикла полигона химический состав фильтрационных вод претерпевает изменения;

– в зависимости от времени года выпадает неравномерное количество осадков, что способствует скачкам уровня накопляемости;

– фильтрационные воды содержат высокотоксичные соединения, патогенные микроорганизмы.

Наиболее качественные способы очистки фильтрата в зависимости от возраста полигона представлены в табл. 2.

Таблица 2

Способы очистки фильтрата в зависимости от возраста полигона

Возрастная фаза полигона ТКО	Способ очистки
Аэробная и анаэробная фаза (1–3 года)	Коагуляция, биологическая очистка, известкование, ультрафильтрация, озонирование
Фаза ацетогенеза (3–10 лет)	Коагуляция с флокуляцией, биологическая очистка, ультрафильтрация, ионообменные и сорбционные методы очистки
Фаза активного метаногенеза (10–30 лет)	Реагентная коагуляция, озонирование с последующей биохимической и сорбционной очисткой, биологические пруды, ультрафильтрация, обратный осмос, ионный обмен
Фаза стабильного метаногенеза (до 100 лет)	Сорбция и биосорбция, ионный обмен

Методы очистки фильтрата делятся на механические, физико-химические, биохимические [4].

Механическая очистка считается предварительной стадией, благодаря которой снижается нагрузка на последующие. Включает в себя отстаивание и выпаривание. В первом удаляются взвешенные механические примеси, второе целесообразно применять при общем солесодержании более 40 г/л.

Физико-химические методы позволяют избавиться от минеральных и органических веществ, тонкодисперсных твердых и жидких частиц, растворенных газов в стоках. Применяются:

– коагуляция и флокуляция (известь, глинозем, $Ca(OH)_2$, $Fe_2(SO_4)_3$, $Al_2(SO_4)_3$) – достигается частичное осветление сточной воды и снижение химического потребления кислорода (ХПК) до 40 %; повышается солесодержание исходной воды; вводится большое количество дополнительных реагентов;

– химическое окисление (газообразный и сжиженный хлор, гипохлорит кальция и натрия, перманганат калия или озонирование) – снижение ХПК до 48 %, токсичные примеси преобразуются в менее токсичные соединения и впоследствии удаляются другими

способами; озонирование осветляет воду, удаляет патогенные микроорганизмы; недостатки – образуются токсичные радикалы и большие энергозатраты;

– мембранные методы – глубокая степень очистки от растворенных примесей и минеральных солей, бионеразлагаемых примесей и тяжелых металлов; не требуются дополнительные реагенты, но требуется тщательно подготовить исходную воду; наиболее известен и эффективен процесс обратного осмоса, в котором фильтрационные воды разделяются на два потока: концентрат, содержащий примеси, требует удаления методом повторной инфильтрации, сушки, отверждения и стабилизации, и пермеат, представляющий собой очищенную воду, поступающую на ионообменные фильтры для окончательной очистки;

– адсорбция активированным углем – используется на последней стадии очистки, поскольку необходимо часто заменять угольную загрузку, для доочистки от растворенной органики; очистка по ХПК может достигать до 85 %;

– ионный метод – используется в специальных случаях, т.к. имеется проблема с утилизацией элюатов после регенерации ионообменной смолы, способствует обезжелезиванию и обессоливанию;

– биохимическая очистка делится на аэробную и анаэробную. Первый метод наиболее широко распространен для удаления растворенных органических соединений. Применим только при невысоких концентрациях загрязнений фильтрата, чувствителен к присутствию токсичных веществ и высоким значениям pH. Использование также ограничено по ХПК и солесодержанию. Образуется много избыточной биомассы. Второй метод эффективен при ХПК более 2000 мг/л. Можно применять без предварительного осветления сточных вод. Требуемая температура не ниже 25 °С. Лучше использовать на этапе «молодого» фильтрата.

Сложно найти универсальную технологию для очистки фильтрата полигонов ТКО, поскольку на выбор способа очистки влияет много факторов. Необходимо подобрать совместимые методы для высокого качества очистки фильтрата и достижения допустимых предельных концентраций веществ перед сбросом вод в водоем.

На данный момент наиболее эффективной методикой считается процесс обратного осмоса.

Список литературы

1. Вайсман Я.И. Физико-химические методы защиты биосферы. Очистка фильтрационных вод полигонов захоронения твердых бытовых отходов: учеб. пособие. – Пермь: Перм. гос. техн. ун-т., 2005. – 197 с.

2. Вайсман Я.И. Чудинов С.Ю., Кравченко Д.С. Управление водным балансом полигона ТБО на примере полигона в г. Краснокамске // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Урбанистика. – 2012. – № 1 (5). – С. 43–57.

3. Калинина Е.В., Ахмадиев М.В. Анализ европейского и российского опыта в области обращения с жидкими бытовыми отходами // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Урбанистика. – 2013. – № 2 (10). – С. 97–119.

4. Воронов Ю.В., Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод. – М.: Изд-во АСВ, 2006. – 704 с.

Об авторах

Астраханцева Екатерина Вадимовна – студентка бакалавриата Института энергетики, кафедра «Водоснабжение и водоподготовка», Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, e-mail: katya_astrahanseva27@mail.ru

Непогодин Александр Михайлович – старший преподаватель Института энергетики, кафедра «Водоснабжение и водоподготовка», Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, e-mail: sa-nepogodin@rambler.ru

Веретенников Артем Сергеевич – студент бакалавриата Института энергетики, кафедра «Водоснабжение и водоподготовка», Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, e-mail: veretennikov2001@gmail.com

УДК 504.062.2

Д.С. Бабкин, Г.В. Ильиных, С.В. Полыгалов

ПЕРЕРАБОТКА ПОЛИМЕРНЫХ КАНИСТР ИЗ-ПОД АВТОМОБИЛЬНЫХ МАСЕЛ

Невысокая стоимость и доступность ПНД в совокупности с отличными потребительскими свойствами способствовали тому, что в настоящее время ПНД-канистры являются самой популярной тарой для упаковки нефтепродуктов. После опорожнения в таре остается до 60 мл остаточного масла, что делает ее опасным отходом, с которым нужно обращаться соответственно. Именно поэтому проблема переработки ПНД-канистр остается актуальной.

Ключевые слова: полиэтилен низкого давления, полимерные канистры, автомобильные масла, нефтепродукты, переработка.

D.S. Babkin, G.V. Ilinykh, S.V. Polygalov

RECYCLING OF POLYMER CANS FROM UNDER CAR OILS

The low cost and availability of HDPE combined with excellent consumer properties have contributed to the fact that HDPE cans are currently the most popular packaging for petroleum products. After emptying, up to 60 ml of residual oil remains in the container, which makes it a hazardous waste that needs to be handled accordingly. That is why the problem of processing HDPE cans remains relevant.

Keywords: low-pressure polyethylene, polymer cans, automotive oils, petroleum products, processing.

Во многих развивающихся странах за последние десятилетия наблюдается экспоненциальный рост количества автомобилей. Увеличение количества транспортных средств способствовало росту использования продуктов, требуемых для технического обслуживания и эксплуатации, таких как смазочные масла. Около 56 % всего спроса на этот продукт приходится на автомобильной сектор [1].

Автомобильные масла, производимые для розничной продажи, обычно упаковываются в канистры небольшого объема (1–6 л), изготовленные из полиэтилена низкого давления (ПНД). Получе-

ние полимера осуществляется за счет низкого давления в специальной камере, давление в которой не превышает 2,0 кг/см^2 [2]. В сравнении с другими видами полимеров, ПНД обладает большей плотностью. Благодаря этому его второе название – полиэтилен высокой плотности (ПВП). Невысокая стоимость и доступность ПНД в сочетании с отличными потребительскими свойствами (легко поддается формированию при нагреве, химически нейтрален и устойчив) стали причиной того, что в настоящее время ПНД-канистры являются самой популярной тарой для упаковки нефтепродуктов.

После опорожнения в «пустой» таре остается 30–60 мл смазочного масла [1]. Следовательно, сама канистра также считается опасным отходом, и с ней следует обращаться соответственно. ПНД канистры не подвергаются биологическому разложению, однако такие канистры чаще всего отправляются для захоронения на свалки и полигоны, на которых могут пролежать сотни лет. Накопление отработанных ПНД-канистр и высокая стоимость изготовления первичного полимера обусловили разработку технологии по их переработке во вторичную гранулу, в дальнейшем используемую для изготовления изделий из пластика.

Технология переработки ПНД-канистр осуществляется в 5 этапов:

1. *Сбор и сортировка*. Производственные отходы – литники и брак – отличаются чистотой и однородностью и, как правило, не требуют дополнительной сортировки. Полиэтилен, извлекаемый из ТБО, сортируется по цвету, размеру, качеству и уровню загрязненности.

2. *Дробление*. Чаще всего дробление осуществляется в два этапа. Сначала канистры проходят через шредер, а затем через дробилку для пластика. Принцип действия шредеров и дробилок может быть основан на режущих, разрывных, ударных или давящих усилиях.

3. *Мойка*. Дробленка из производственных и коммерческих источников в большинстве случаев не промывается. Сырье, полу-

ченное от мусоросортировочных комплексов или с пунктов сбора вторичного сырья, как правило, загрязнено. Его подвергают мойке с сепарацией во флотационных ваннах или гидроциклонах для отделения твердых примесей. Если сырье не будет качественно промыто, нежелательные включения попадут в конечное изделие, негативно сказываясь на его характеристиках. Для повышения эффективности удаления нефтепродуктов с поверхности частиц используются специальные щелочные пенные моющие средства.

4. *Сушка*. Как правило, сушка осуществляется в несколько этапов. Для первичного отделения воды используются центрифуги или шнековые прессы, остаточная влажность после которых составляет 6–12 %. После первичного отделения воды сырье досушивают термическим способом.

5. *Получение гранул*. Дробленку ПНД загружают в экструдер (гранулятор), где отдельные частицы плавятся и перемешиваются. На этом этапе происходит извлечение оставшихся твердых примесей и термическое разложение нежелательных включений. Полученный расплав проходит через формовочные отверстия – фильеры, придающие ему форму нитей. Нити (стренги) охлаждаются до температуры кристаллизации и режутся на гранулы.

При получении гранул возможны два варианта:

– получение гранул темно-серого цвета из дробленки смешанных цветов (без дополнительной сортировки по цвету);

– получение гранул определенного цвета после предварительной сортировки дробленки по цветам.

Для того чтобы оценить возможность и целесообразность разделения дробленки из ПНД-канистр по цветам, на одной из действующих линий дробления и мойки пластиков в разные дни были отобраны две пробы готовой дробленки из ПНД канистр (после дробления, мойки, сушки, но до экструзии) массой 352,62 г и 303,66 г. Пробы были рассортированы по цветам. Результаты, усредненные по двум пробам, показаны на рисунке.

Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что разделение дробленки по цветам целесообразно, т.к. в результате можно получить светлые и темные гранулы.

Рис. Состав ПНД дробленки по цветам

Удобность, легкодоступность и низкая себестоимость ПНД обеспечили широкое применение этого материала в сфере упаковки нефтепродуктов. Однако стойкость ПНД к биологическому разложению приводит к захламлению территорий и занятию значительных объемов на объектах захоронения отходов.

Проблема переработки ПНД-канистр является актуальной и решается преимущественно за счет механических методов – дробления, мойки и получения дробленки. Совершенствование этих технологий позволит получать вторичное сырье более высокого качества.

Список литературы

1. Oliveira M.C., Magrini A. Life Cycle Assessment of Lubricant Oil Plastic Containers in Brazil // Sustainability. – 2017. – № 9. – P. 576.

2. Cleaning of lubricant-oil-contaminated plastic using liquid carbon dioxide / M. Charoenchaitrakool, S. Tungkasatan, T. Vatanatham, S. Limtrakul // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. – 2016. – № 34. – P. 313–320.

Об авторах

Бабкин Дмитрий Сергеевич – студент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: dimylkinzzz@yandex.ru

Ильиных Галина Викторовна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: galina.perm.59@yandex.ru

Полыгалов Степан Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: polyste17@mail.ru

УДК 665.632

П.С. Бажина, И.С. Глушанкова

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ КАТАЛИТИЧЕСКОГО ПИРОЛИЗА ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Утилизация осадков сточных вод (ОСВ), образующихся в процессах очистки сточных вод нефтехимических производств, является одной из экологических проблем. В работе представлен состав осадков сточных вод и методы их утилизации. Рассмотрена возможность применения метода каталитического пиролиза для утилизации отходов.

Ключевые слова: осадки сточных вод, утилизация ОСВ, каталитический пиролиз.

P.S. Bazhina, I.S. Glushankova

SUBSTANTIATION OF THE POSSIBILITY OF USING CATALYTIC PYROLYSIS FOR THE DISPOSAL OF SEWAGE SLUDGE FROM PETROCHEMICAL INDUSTRIES

Utilization of sewage sludge (OSV) generated in the wastewater treatment processes of petrochemical industries is one of the environmental problems. The paper presents the composition of sewage sludge and methods of their disposal. The possibility of using the method catalytic pyrolysis for waste disposal is considered.

Keywords: sewage sludge, waste disposal, catalytic pyrolysis.

Нефтехимическая промышленность является одним из крупных потребителей воды, которая используется как для охлаждения продуктов или сырья, так и непосредственно в технологических процессах синтеза. Современные крупные нефтехимические предприятия потребляют до 50 тыс. м^3 воды в сутки. Для очистки образующихся промышленных стоков используются различные физико-химические и биохимические методы, при эксплуатации очистных сооружений образуются шламы и твердые отходы, которые включают избыточный активный ил, флотопену, шлам после коагуляционной очистки и др.

На предприятиях нефтехимической отрасли образуется около 300 тыс. тонн ОСВ в год. В большинстве случаев они подвергаются обезвоживанию на различных установках (центрифуги, фильтр-прессы и др.) и складируются на технологических площадках или передаются на полигоны твердых коммунальных или промышленных отходов. Складирование отходов сопровождается выбросами загрязняющих веществ в атмосферу, приводит к рискам загрязнения водных объектов. Утилизация ОСВ – это одна из самых сложных проблем в отрасли.

Обзор публикаций по проблеме показал, что существуют различные методы утилизации как нефтешламов, так и ОСВ. Наличие высокого содержания органических веществ позволяет использовать для их обезвреживания термические методы.

Процесс сжигания обычно производится при температуре 800–1000 °С. В результате образуется зола, в которой могут накапливаться ионы тяжелых металлов, что усложняет ее дальнейшее использование. При сжигании возможно образование недожога, органических токсичных соединений – диоксинов, бензапирена, поэтому требуется создание сложной технологии очистки газовых выбросов. При сжигании в большинстве случаев неэффективно используются энергоресурсы процесса – тепло реакций, необходимы значительные затраты топлива для поддержания температурного режима процесса [1].

Наиболее целесообразно применение для обезвреживания ОСВ метода низкотемпературного пиролиза, в результате которого происходит разложение органической составляющей вне доступа кислорода. Продуктами пиролиза является пиролизный газ, из которого при охлаждении можно выделить топливную фракцию, ее можно использовать как дизельное топливо или для нужд предприятия. Неконденсируемые пиролизные газы имеют достаточно высокую теплоту сгорания и используются в процессе обезвреживания. Карбонизат может быть использован как сорбент или структуратор для биоремедиации нефтезагрязненных грунтов [2]. Метод отвечает современным требованиям по снижению выбросов парниковых газов, диоксида углерода углеродного следа, сопровождается консервацией углерода.

Одним из способов регулирования состава и количества продуктов пиролиза является использование катализаторов в процессе пиролиза. Катализаторы могут изменять температуру процесса пиролиза, повышать степень конверсии отходов и увеличивать выход газообразных и жидких продуктов.

В настоящее время исследовано применение способов каталитического пиролиза для утилизации нефтешламов. В работе К.В. Чалова представлены результаты исследования каталитического пиролиза нефтешлама, содержащего 20 % нефтепродуктов, с использованием в качестве катализаторов различных хлоридов щелочных металлов, хлоридов никеля, кобальта и др. [3].

Показано, что наибольшей каталитической активностью при деструкции нефти с образованием топливной фракции обладает хлорид кобальта.

Высокое содержание в осадках сточных вод нефтехимических производств органических примесей позволило говорить о возможности использования каталитического пиролиза для их утилизации.

Целью работы являлось исследование возможности применения каталитического пиролиза при утилизации отходов нефтехимических производств.

В настоящее время проведен анализ образцов ОСВ, образующихся на ряде нефтехимических предприятий

Проведен анализ ОСВ. Анализ физико-химических свойств осадков сточных вод показал, что по основным показателям: влажность, зольность, содержание органических веществ, ионов тяжелых металлов, они аналогичны.

В таблице представлен усредненный состав отходов.

Минеральные компоненты ОСВ представлены оксидами кремния (песок), алюминия, железа, кальция, магния и другими соединениями.

Высокое содержание органических веществ в ОСВ свидетельствует и о высоком энергетическом потенциале отходов, который может быть использован при утилизации отходов.

Результаты лабораторного исследования
осадков сточных вод

Наименование параметров и характеристик	Усредненные значения параметров и характеристик	Метод определения (НД)
Влажность, %	60–70	ПНД Ф 16.2.2:2.3:3.27-02
Содержание сухого вещества ОСВ, %	18	ПНД Ф 14.1:2.114–97
Зольность в сухом веществе, %	35–40	ФР 1.31.2008.04399
Органическая составляющая ОСВ в пересчете на сухое вещество, %	60–65	ГОСТ Р 56226–2014
Органические вещества, мг/кг (в пересчете на сухое вещество)		
Ароматические углеводороды	17 000–200 000	ПНД Ф 16.1:2.2:2.3:3.79-2013
Нефтепродукты	33 000–35 000	ПНД Ф 16.1:2:2.2:2.3:3.64-10
Металлы в валовой форме, мг/кг (в пересчете на сухое вещество)		
Алюминий (вал), мг/кг	107 000±28 000	ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98
Железо (вал), мг/кг	19 000±5000	ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98
Металлы в подвижной форме, мг/кг (в пересчете на сухое вещество)		
Алюминий	6000	ПНД Ф 16.1:2.3:3.50-08
Железо	600	
Цинк	50–120	
Марганец	100–120	
Медь	5–15	
Кадмий	<0,2	
Никель	30–60	
Хром общий	1,6±0,4	
Кобальт	150–200	

Задачами исследования являются:

1. Исследование процесса каталитического пиролиза ОСВ. Проведение термического анализа образцов с использованием методов термогравиметрии.

2. Обоснование выбора катализаторов для проведения процесса. На основании анализа литературных данных были выбраны катализаторы: сульфат алюминия и сульфат никеля.

3. Исследование влияния температуры, времени выдержки при заданной температуре, дозы катализаторов.

В настоящее время проводятся исследования процессов пиролиза образцов с использованием в качестве катализаторов сульфата алюминия и сульфата никеля (II) $NiSO_4 \cdot 7H_2O$. Исследуется влияние температуры, длительности выдержки при конечной температуре на выход твердой и газообразной фракции при деструкции отходов. Пиролиз осадков сточных вод проводился в диапазоне температур 450–650 °С. В зависимости от условий проведения эксперимента в ходе исследования определялись массы твердых и газообразных продуктов каталитического пиролиза.

Список литературы

1. Чинакулова А.Н., Ниязбекова Р.К. Обработка и утилизация нефтешламов // Инновации. Наука. Образование. – 2021. – № 38. – С. 557–569.

2. Шестакова В.Э. Применение и разработка технологии пиролиза при переработке нефтешламов // Синтез науки и образования в решении экологических проблем современности: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвященной Всемирному дню охраны окружающей среды, Воронеж, 03 июня 2022 г. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2022. – С. 261–267.

3. Влияние хлоридов металлов на процесс пиролиза нефтесодержащих отходов / К.В. Чалов, Ю.В. Луговой, Ю.Ю. Косивцов, Э.М. Сульман // Химическая промышленность сегодня. – 2013. – № 9. – С. 8–12.

Об авторах

Бажина Полина Сергеевна – студентка кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: polina.bazhina.03112001@mail.ru

Глушанкова Ирина Самуиловна – доктор технических наук, профессор кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: irina_chem@mail.ru

УДК 628.179.2

А.Н. Басамыкина, М.А. Камеристая, Е.И. Горелов

ОРГАНИЗАЦИЯ ОБОРОТНОГО ЦИКЛА ВОДОСНАБЖЕНИЯ НА ТЭС

Рассмотрены основные технологии модернизации тепловых электростанций (ТЭС) по уменьшению водопотребления, утечек и загрязненных стоков. Даны характеристики семи технических систем ТЭС с их приоритетными загрязнителями, влияющими на сложность очистки сточных вод. Выделены три основных класса в рамках стандартных технологий очистки воды ТЭС. Описан метод биологической очистки сточных вод ТЭС, позволяющий свести к минимуму забор ресурса для деятельности предприятия из водных объектов, полностью исключить сброс очищенных производственных стоков в водоемы и осуществить возврат очищенной воды в производство.

Ключевые слова: тепловые электростанции, оборотное водоснабжение, очистка сточных вод, биологическая очистка.

A.N. Basamykina, M.A. Kameristaya, E.I. Gorelov

RECYCLING WATER SUPPLY FOR THERMAL POWER PLANTS

The general technologies for the thermal power plants modernization to reduce water consumption, leaks and polluted effluents are considered. The characteristics of seven technical systems of thermal power plants with their priority pollutants that affect the complexity of wastewater treatment are given. Three main classes have been identified within traditional water treatment technologies. A biological wastewater treatment from thermal power plants, which makes it possible to minimize the resource intake for the enterprise's activities from water bodies, is described. Technologies for wastewater treatment at thermal power plants, that completely eliminates the discharge of treated industrial effluents into water bodies, and return the treated water to production are considered.

Keywords: thermal power plant, recycling water supply, wastewater treatment, biological wastewater treatment.

Актуальность проблемы оборотного водоснабжения тепловых электростанций обусловлена тем, что производство тепловой и электрической энергии сопровождается использованием большо-

го количества технической воды (для конденсации пара, охлаждения, обмывки оборудования и т.д.) и ее потерями в связи с капельным уносом и продувкой градирен, а также потерями питательной воды, связанными с продувкой барабанных котлов, неплотностями трубопроводов и арматуры, и сбросом сильнозагрязненных сточных вод [1].

Вследствие стремления продлить срок службы оборудования, снизить расходы ресурсов, минимизировать эксплуатационные расходы, улучшить экологические показатели в соответствии с динамично меняющимся природоохранным законодательством основными направлениями материальных вложений предприятий топливно-энергетического комплекса являются модернизация производства и экологические программы [2].

Одним из перспективных решений модернизации является усовершенствование системы водопользования, водоподготовки и водоочистки. Для минимизации затрат на забор и сброс воды, сокращения ее потерь, содержания загрязнителей в составе сточных вод существуют мероприятия по уменьшению водопотребления, утечек и стоков (рисунок).

Рис. Перечень мероприятий по уменьшению водопотребления

Следует учесть, что количество и наличие сточной воды на ТЭС зависит от большого числа факторов: мощность, тип и обслуживание электростанции, вид используемого топлива, типы энергоустановок котлов, характеристики используемых химических реагентов в различных технических системах и квалификация персонала.

Несмотря на то, что современные станции должны иметь замкнутые системы водоснабжения, это не означает, что на них не должны быть системы очистки. Напротив, для того чтобы вернуть

отработавшую в цикле техническую воду обратно, ее необходимо подготовить и очистить от полученных загрязнений.

Характер загрязнений воды тесно и напрямую связан с тем, в какой технической системе она используется.

В таблице выделены семь технических систем (в порядке уменьшения количества стоков) с их приоритетными загрязнителями, влияющими на сложность очистки сточных вод ТЭС.

Характеристика вод в технических системах ТЭС [1–3]

Тип воды	Образование	Загрязнители
Вода систем охлаждения	Охлаждение установок на ТЭС. Более 90 % воды данного стока – охлаждение конденсаторов турбин	Тепловое загрязнение (превышает температуру водоемов на 8–10 °С)
Вода систем гидрозолоудаления (для угольных электростанций)	Гидравлическое удаление золы на ТЭС после сжигания угля	Взвешенные вещества – зола, С, MgO, CaO (загрязнители зависят от месторождения угля)
Вода химической промывки оборудования	Промывка оборудования большим количеством моющих средств, растворенных в воде	Щелочи; неорганические и органические кислоты; соли (нитраты, нитриты, соли аммония, трилон Б); поверхностно-активные вещества
Загрязненные воды водоподготовительных установок	В процессе водоподготовки котловой воды (рабочего тела генерации пара)	Катионы: Na^{+}, Mg^{2+}, Ca^{2+}; анионы: Cl^{-}, CO_3^{2-}, SO_4^{2-}(загрязнители зависят от источника воды и его начального состава)
Вода, загрязненная нефтепродуктами	Уборка цехов; протечки различных систем смазки, насосов, вращающихся элементов в оборудовании и машинах	Нефтепродукты (масла, бензины, парафины)
Обмывка поверхностей нагрева котлов и оборудования	В процессе обмывки поверхностей нагрева перед окончательным выводом котла или перед его отправкой на ремонт	Остатки и продукты сгорания мазута (С, CO, CO_2, SO_2, SO_3, NO_2)
Канализация (бытовые стоки и дождевые)	В процессе жизнедеятельности людей; в результате выпадения осадков на территории ТЭС	Аналогичны загрязнениям бытовых сточных вод

В рамках технологий очистки воды, применяемых на ТЭС, выделяются три класса: физические (отстаивание, фильтрование, флотация, коагуляция, центрифугирование); физико-химические (известкование, вымораживание, выпаривание, экстракция); химические (окисление, разложение) [3]. По отношению к устаревшим отечественным ТЭС обычно не выделяют класс биологических методов, в основе которых лежит жизнедеятельность живых организмов (как правило, гидробионтов), потребляющих органическое вещество, тем самым очищая воду.

Современная мировая практика очистки сточных вод разнообразна: современные энергоблоки, главным образом основанные на новых технических решениях, включают в себя полный цикл производства, замкнутые системы водоснабжения и полную очистку сточных и ливневых вод. Оптимальным вариантом является применение химико-биологической очистки сточных вод.

При этом очистные сооружения включают:

1) систему сбора оборотной воды – сеть подземных трубопроводов, проложенных по всей территории, включая мазутное хозяйство, корпус, насосное оборудование, водоподготовку;

2) оборудование, обеспечивающее механическую очистку (удаление крупных загрязнителей), в том числе нефтеуловитель, задерживающий нефтепродукты при помощи естественной гравитации;

3) оборудование, обеспечивающее физико-химическую очистку (растворимые металлы обрабатывают химическими веществами (гидроксидом натрия или кальция) с образованием нерастворимых гидроксидов металлов, выпадающих в осадок и отделяющихся от воды);

4) оборудование, обеспечивающее биологическую очистку, представленное следующими вариациями: аэробная фаза (процесс биологического окисления аммонийных соединений до нитратов); аноксидная фаза (процесс биологического восстановления нитратов до газообразного азота); анаэробная фаза (процесс удаления фосфора при помощи фосфор-аккумулирующих бактерий);

5) этап доочистки, предназначенный для дополнительного и более глубокого удаления загрязнений (механическая фильтрация, а также обеззараживание воды от патогенных микроорганизмов при помощи ультрафиолетовых лучей, хлора или озона);

6) систему водоподготовки с накопительным резервуаром для повторного использования воды (представлена угольными фильтрами, ионообменными установками, обратным осмосом и др.), оборудование может меняться в зависимости от дальнейшего технического назначения воды.

В дальнейшем очищенную до соответствия нормативам предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения воду можно очищать дополнительно и использовать повторно.

Таким образом, оборотная схема водоснабжения, представляющая собой комплекс инженерных узлов автономной многоступенчатой очистки, на основе химико-биологической очистки сточных вод минимизирует забор воды для нужд ТЭС из водных объектов и полностью исключает сброс очищенных производственных стоков в реку и канализацию и по праву является наиболее перспективной технологией модернизации ТЭС.

Список литературы

1. Буров В.Д., Дорохов Е.В. Тепловые электрические станции: учебник для вузов. – 3-е изд., стереот. – М.: Изд. дом МЭИ, 2009. – 466 с.

2. Достияров А.М., Кибарин А.А. Эксплуатация ТЭС: учебник для вузов. – М.: Изд. дом Академии естествознания, 2020. – 153 с.

3. Сточные воды тепловых электростанций, 2001–2023 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.voda.ru/articles/stochnyie-vodyi-teplovyih-elektrostantsiy/tehnologii-ochistki.html (дата обращения: 24.02.2023).

Об авторах

Басамыкина Алена Николаевна – старший преподаватель департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции Института экологии, Российский университет дружбы народов, e-mail: alena.basamykina@gmail.com

Камеристая Мария Андреевна – студентка магистратуры факультета географии и геоинформационных технологий, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», e-mail: mkameristaya@bk.ru

Горелов Егор Игоревич – студент бакалавриата Института экологии, Российский университет дружбы народов, e-mail: egorka.gorelov.2002@mail.ru

УДК 629.331

Н.И. Батуев, А.А. Сурков

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ В РОССИИ

Представлено сравнение электромобилей и автомобилей с двигателем внутреннего сгорания с точки зрения выбросов в окружающую среду и сопутствующих экономических затрат на данные транспортные средства. Предложено несколько сценариев, которые предполагают полный переход на электромобили.

Ключевые слова: электромобили, выбросы углерода, энергия.

N.I. Batuev, A.A. Surkov

ECOLOGICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF THE OPERATION OF ELECTRIC VEHICLES IN RUSSIA

This article compares electric vehicles and internal combustion engine vehicles in terms of environmental emissions and associated economic costs of these vehicles. Several scenarios have been proposed that involve a complete transition to electric vehicles.

Keywords: electric vehicles, carbon emissions, energy.

Замещение обычных автомобилей электромобилями способно решить одну из важных проблем современности – увеличение выбросов парниковых газов в результате дорожного движения. И хотя электромобили не выделяют никаких выбросов при эксплуатации, но для их работы требуется электричество.

Россия произвела в 2021 г. 1 114 548,10 млн кВт·ч электроэнергии, из них на АЭС приходится 19,9 %; на ГЭС – 18,8 %; на возобновляемые источники – 0,5 %; ТЭС-газ – 48 %; ТЭС-уголь – 12,8 % [1]. Каждый из этих источников имеет разное значение углеродного следа на единицу производимой энергии: АЭС – 26 г CO_2-эквивалента/кВт·ч; ГЭС – 7 г CO_2-эквивалента/кВт·ч; возобновляемые источники – 41,25 г CO_2-эквивалента/кВт·ч; ТЭС-газ – 170 г CO_2-эквивалента/кВт·ч; ТЭС-уголь – 220 г CO_2-эквивалента/кВт·ч [2].

Для использования в сравнении электромобилей и автомобилей с двигателем внутреннего сгорания (ДВС) далее приводятся характеристики наиболее продаваемых моделей за 2021 г. (табл. 1).

Таблица 1

Электромобили, приобретенные в России в 2021 г.

Модель	Размер батареи (кВт·ч)	Потребление (кВт·ч/100 км)	Количество, шт	Цена, млн руб
Porsche Taycan	93,4	26,4	581	8,38
Tesla Model 3	82	26	432	6
Audi e-tron	95	26,2	387	7,4
Tesla Model Y	78,1	27,4	218	6,4
Nissan Leaf	24	14	131	0,3

Наиболее продаваемые автомобили с ДВС в 2021 г. представлены в табл. 2.

Таблица 2

Традиционные автомобили, приобретенные в России в 2021 г.

Модель	CO_2 (г/км)	Цена, млн руб	Количество, шт	Потребление (Л/100 км)
Vesta Lada	169	1,5	113 698	7,8
Granta Lada	164	0,8	111 430	7,7
Rio Kia	161	1,6	82 941	9,8
Creta Hyundai	175	2,1	68 081	8
Solaris Hyundai	198	1,5	61 061	6,6

Вышеназванные данные используются в следующих формулах.

Определение среднего значения потребления электроэнергии у электромобилей [2]:

$$AEC = \sum_{i=1}^{n} (\mathrm{EC_i} \cdot \mathrm{PP_i}), \quad (1)$$

где *AEC* – потребление электроэнергии (кВт·ч/100 км), а *PP* – процентная доля автомобилей в зависимости от купленных моделей; *n* – количество автомобилей, включенных в исследование. *AEC* для электромобиля в России составляет 25,4 кВт·ч/100 км.

Энергопотребление одного автомобиля можно определить как [3]

$$RE = (ADT{:}100) \cdot AEC, \quad (2)$$

где *RE* – требуемая электроэнергия для одного электромобиля (кВт·ч), *ADT* – годовое пройденное расстояние, а *AEC* – среднее потребление электроэнергии электромобилем (кВт·ч/100 км), находится по формуле (1).

В России годовой пробег легковой машины 15 637 км. Электроэнергия для одного электромобиля 3972 кВт·ч. После определения она умножается на количество легковых автомобилей: в России автопарк на начало 2022 г. составлял 50 304 000 [3]. Общие потери электроэнергии в России составляют 10 %. Это потери от общего объема вырабатываемой электроэнергии, следовательно, для компенсации этого потребуется выработать 10 % дополнительной энергии. Из этого находим общую энергию, необходимую для всех электромобилей в России, при их вводе в эксплуатацию взамен автомобилей с ДВС. Она составляет 219 788,24 млн кВт·ч.

Уровень выбросов углерода может быть рассчитан для каждого источника электроэнергии с использованием уравнения [3]:

$$CE = AE \cdot CF, \quad (3)$$

где *CE* – выбросы парниковых газов при производстве электроэнергии в кг CO_2-экв.; *AE* – количество электроэнергии в кВт·ч; *CF* – углеродный след источника энергии в кг CO_2-экв/кВт·ч.

Текущие выбросы парниковых газов от легковых автомобилей: углекислого газа, метана и оксида азота – составляют 10 408 420 т CO_2-экв. в год [4].

Уравнение (3) помогает вычислить примерный объем выбросов парниковых газов от производства электроэнергии из каждого источника за 2021 г. Однако полный переход на электромобили конкретно для России без изменений в самой отрасли электроэнергетики может отрицательно сказаться на окружающей среде с точки зрения выбросов парниковых газов, в связи с чем предлагается несколько сценариев: а) автомобили – источник парниковых газов (текущий); б) переход без изменений в электроэнергетике; в) переход, при котором электроэнергия не будет производиться из газа, а ее доля распределится между другими источниками; г) переход, при котором электроэнергия не будет производиться из газа, при этом энергия, произведенная из угля, останется на уровне сценария, а доли распределятся между другими источниками. Графическое представление расчета сценариев показано на рисунке. Как видно из графика, снизить количество выбросов парниковых газов по сравнению с текущим уровнем позволит только сценарий г).

Используя данные по самым продаваемым автомобилям за 2021 г., а также применяя формулы (1) и (2) по аналогии для автомобилей с ДВС, получаем 1254 л бензина при уже известных 3972 кВт·ч электроэнергии для годового пробега 15 637 км. Траты на бензин равны примерно 64 581 руб. в год, на электроэнергию – 12 909 руб. Ясно, что электромобили примерно на 80 % дешевле в эксплуатации. Также электрические автомобили на 79 % дороже, чем обычные автомобили без каких-либо субсидий: 6,7 млн руб. в среднем за электромобиль против 1,4 млн за автомобиль с ДВС.

В этом анализе затраты на техническое обслуживание не учитываются для обоих типов транспортных средств. С учетом ставки дисконтирования 7,5 % срок окупаемости электромобиля, если брать во внимание то, что вы купили его вместо автомобиля с ДВС, составляет 12 лет.

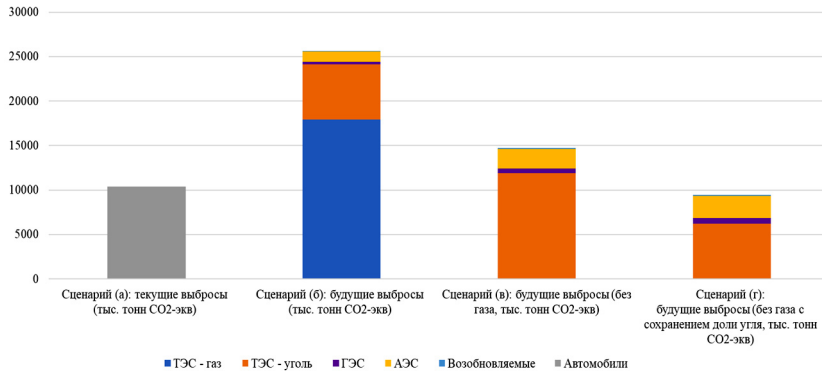


Рис. Объем выбросов парниковых газов от разных источников

Таким образом, можно сделать вывод о том, что сам по себе переход на электромобили в РФ не уменьшит объем выбросов парниковых газов, он лишь снизит объем выбросов непосредственно в местах скопления автомобилей, например, в городах, от чего в них улучшится экологическая обстановка, но для общего снижения следует использовать мощности более экономных в плане выбросов электростанций – АЭС и ГЭС. Также финансовая выгода от покупки электромобиля проявляется только спустя несколько лет, даже с учетом более низкой цены на электричество по сравнению с топливом; это объясняется тем, что средняя цена на электромобиль выше цены на автомобиль с ДВС.

Список литературы

1. Системный оператор Единой энергетической системы. Информационный обзор «Единая энергетическая система России: промежуточные итоги, 2022» (оперативные данные) [Электронный ресурс]. – URL: https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/ups-review/2022/ups_review_0722.pdf (дата обращения: 22.02.2023).

2. House of Parliament. Carbon Footprint of Electricity Generation. Parliamentary Office of Science & Technology [Электронный

ресурс]. – URL: https://www.parliament.uk/documents/post/postpn_383-carbon-footprint-electricitygeneration.pdf (дата обращения: 22.02.2023).

3. Milev G., Hastings A., Al-Habaibeh A.B. The environmental and financial implications of expanding the use of electric cars – A Case study of Scotland // Energy and Built Environment. – 2021. – № 2. – P. 204–213.

4. Охрана окружающей среды в России. 2022: стат. сб. / Росстат. – 0–92. – М., 2022. – 115 с.

Об авторах

Батуев Никита Игоревич – магистрант кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: nikkibut@mail.ru

Сурков Александр Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: surkov-a@mail.ru

УДК 628.356

Я.В. Васильева, М.В. Паршикова, Е.М. Микрюкова

СОВРЕМЕННОЕ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ АЭРАЦИИ

Рассмотрены характеристики аэраторов отечественного производителя, их предназначение, технические характеристики и результаты исследований.

Ключевые слова: система аэрации, энергоэффективность, канализационные очистные сооружения.

Ya.V. Vasileva, M.V. Parshikova, E.M. Mikrukova

MODERN AND ENERGY-EFFICIENT EQUIPMENT FOR PNEUMATIC AERATION

The characteristics of aerators of the domestic manufacturer, their purpose and technical characteristics are considered.

Keywords: aeration system, energy efficiency, sewage treatment.

На очистных сооружениях канализации при смешивании сточной воды и активного ила образуется иловая смесь, обеспечивающая протекание биохимических процессов и взаимодействие активного ила с загрязнениями [1]. В процессе аэрации происходит постоянное перемешивание и насыщение кислородом. В случае несанкционированных сбросов токсичных, лакокрасочных веществ или нефтепродуктов активный ил подвергается шоковому воздействию. Современное и энергоэффективное оборудование на очистных сооружениях канализации может предусматривать применение пористых трубчатых аэраторов в аэротенках, выполненных из каркаса и диспергирующего покрытия, и определенные конструкции «ловушек», предупреждающих о поступлении залповых сбросов нефтепродуктов и токсичных веществ [4].

На процесс исследования влияния залповых сбросов нефтепродуктов и токсичных веществ на жизнедеятельность активного ила в аэротенке оказывают существенное влияние следующие факторы:

– состав активного ила;

– температура, при которой происходит процесс залповых сбросов нефтепродуктов и токсичных веществ, содержащихся в осадке сточных вод;

– количество сброшенных нефтепродуктов и токсичных веществ, выраженных в мг/л [2].

С целью исследования данных факторов и повышения энергоэффективности процесса очистки сточных вод в лабораторных условиях базовой кафедры «Инженерные системы ЖКХ» проводились опыты.

Разрабатывалась лабораторная установка для исследования процесса влияния залповых сбросов нефтепродуктов и токсичных веществ на жизнедеятельность микроорганизмов в аэротенке на водоканалах Удмуртской Республики.

Для исследования влияния залповых сбросов нефтепродуктов и токсичных веществ на жизнедеятельность активного ила в аэротенке был проведен эксперимент. Последовательность проведения эксперимента:

1. Конструирование экспериментальной установки с дальнейшим анализом полученных результатов.

2. Исследование образцов активного ила из аэротенка в лабораторных условиях с помощью микроскопа для получения сведений об изменении состава ила в результате воздействия нефтепродуктов и токсичных веществ. В период исследований сконструирована установка в лаборатории биотехнологий.

Экспериментальная установка состоит:

1) из двух аэраторов;

2) трех полиэтиленовых канистр $V = 5$ л;

3) фитингов и гибких подводок различной длины.

Проведены опыты по влиянию залповых сбросов нефтепродуктов и токсичных веществ на свойства активного ила. Экспериментальные кюветы с осадками сточных вод аэрировали при помощи двух аэраторов. Время проведения эксперимента на лабора-

торной установке составило 168 ч. – 1 неделя. Ежедневно проводились замеры количества колоний микроорганизмов посредствам микроскопа OLYMPUS на базовой кафедре «Инженерные системы ЖКХ». Проведено три эксперимента по добавлению бензина АИ-95, АИ-76 и машинного масла в осадки сточных вод.

Для концентрации компонентов С = 10мг/л.

Исходные данные:

– плотность бензина $p_{бенз}^{АИ95}$ = 0,75 гр/см^3;
– плотность бензина $p_{бенз}^{АИ76}$ = 0,72 гр/см^3;
– плотность машинного масла $p_{маш.}$ = 0,90 гр/см^3;
– молярная масса бензина АИ-95 $М^{АИ95}$ = 114 гр/моль;
– молярная масса бензина АИ-76 $М^{АИ76}$ =112 гр/моль;
– молярная масса машинного масла $М^{маш.}$ = 275 гр/моль;
– объем активного ила в одной канистре $V^{акт. ила}$ = 2,5 л.

В период опыта определяли объем добавляемого в активный ил бензина марок АИ-95, АИ-76 и машинного масла ($V_{бенз.}^{АИ-95}$; $V_{бенз.}^{АИ-76}$; $V_{маш\ мас}$) соответственно.

В ходе эксперимента было проведено исследование активного ила после воздействия сброса бензина марок АИ-95, АИ-76 и машинного масла с концентрацией C = 10 мг/л, C = 5 мг/л и C = 3 мг/л в течение 168 ч аэрации в рамках экспериментальной программы с помощью стереомикроскопа OLYMPUS SX 41 с видеокамеры.

Проанализированы полученные экспериментальные данные, а также построена математическая модель эксперимента. Выполнены математическая обработка полученных экспериментальных данных, а также анализ свойств полимерных материалов аэраторов для производства мембран для пневматической аэрации.

По результатам теоретического анализа даны рекомендации по применению мембранных аэраторов, которые позволят повысить эффективность процесса очистки сточных вод.

В таблице приведены свойства полимерных материалов для производства мембран аэратора [3].

Свойства полимерных материалов для производства мембран

Материал мембраны	Стойкость по отношению к элементам	Разрушают следующие элементы
EPDM (этилен пропилен диен мономер)	Тепло, кислород, озон	Растворители, ароматические углеводороды, минеральные масла, животные и растительные жиры и масла
Полиуретан (полиэфир, полиэстер)	Масла, растворители, высокая абразивная стойкость	Кислоты, кетоны, полиэфиры
Силикон	Тепло, кислород, озон, ароматические углеводороды, растительные и животные жиры и масла, промышленные сточные воды	Растворители кислоты

По результатам теоретического анализа и практических исследований даны рекомендации по применению дисковых аэраторов, предназначенных для размещения в резервуарах типов: прямоугольных, круглых, цилиндрических.

Внедрение систем пневматической мелкопузырьковой аэрации МА-Д-350, а также их технически грамотное размещение позволяет экономить до 15 % потребляемой электроэнергии. Использование мембран с различными свойствами по отношению к реальным проектам очистных сооружений канализации позволяет поддерживать длительный срок службы оборудования.

Список литературы

1. Оптимальное проектирование сооружений со взвешенным активным илом и их автоматизация / В.И. Баженов, А.Н. Эпов, М.А. Канунникова, И.А. Носкова // Водоснабжение и канализация. – 2012. – № 5–6. – С. 42–51.

2. Белоконова Н.А. Совершенствование методологии контроля и управления технологическими процессами подготовки воды на

ТЭС / Уральский государственный технический университет. – Екатеринбург, 2016. – 72 с.

3. Давидян С.Ю. Повышение энергоэффективности современных процессов биологической очистки сточных вод с помощью уникальной системы управления аэрацией // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. – 2017. – № 4. – С. 50–55.

4. Копылов А.С., Лавыгин В.М., Очков В.Ф. Водоподготовка в энергетике. – М.: Изд-во МЭИ, 2016. – 310 с.

Об авторах

Васильева Яна Владимировна – старший преподаватель кафедры «Водоснабжение и водоподготовка», Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, e-mail.ru: belyana5@mail.ru

Паршикова Марианна Викторовна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Водоснабжение и водоподготовка», Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, e-mail.ru: marianna.svalova@yandex.ru

Микрюкова Елена Михайловна – старший преподаватель кафедры «Водоснабжение и водоподготовка», Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, e-mail.ru: t90q@mail.ru

УДК 674.052

Я.Д. Ведерников, О.А. Рублева

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОНСТРУКЦИИ ОСНАСТКИ ДЛЯ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ТОРЦОВОГО ПРЕССОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

Сращивание древесины по длине с использованием прямоугольных прессованных шипов, полученных способом торцового прессования, является ресурсосберегающей энергоэффективной технологией. Данная технология позволяет более рационально использовать древесину за счет использования короткомерных отходов деревообработки. Применение данной технологии в серийном производстве требует разработки оптимальной конструкции средств технологического оснащения.

Ключевые слова: ресурсосбережение, древесина, прессование, штамп, технологическая оснастка.

Ya.D. Vedernikov, O.A. Rubleva

DETERMINATION OF OPTIMAL PARAMETERS OF THE TOOLING DESIGN OF THE RESOURCE-SAVING TECHNOLOGY FOR PRESSING WOOD IN LONGITUDINAL DIRECTION

Splicing of wood along the length using rectangular pressed spikes obtained by face pressing is a resource-saving energy-efficient technology. This technology allows for a more efficient use of wood due to the use of short-term woodworking waste. The use of this technology in mass production requires the development of an optimal design of technological equipment.

Keywords: resource saving, wood, pressing, stamp, technological equipment.

Одним из важнейших показателей ресурсосбережения и эффективности производства в деревоперерабатывающей отрасли является коэффициент использования материала, характеризующий глубину переработки древесины. Задача его повышения может быть

решена за счет вовлечения максимально возможного количества древесины в основной производственный процесс изготовления продукции: путем использования маломерных заготовок, уменьшения припусков на обработку, минимизации количества брака, снижения количества отходов. Этим принципам отвечают востребованные в современном производстве технологии клееных изделий из древесины. Их совершенствование направлено на повышение качества получаемых изделий, снижение размеров минимально допустимых отрезков древесины [1].

В технологическом процессе производства клееных изделий из древесины для сращивания заготовок по длине наиболее часто применяют соединение на фрезерованные зубчатые шипы. Технология их изготовления несовершенна ввиду ограничений на минимальную длину заготовок от 150 мм, образования отходов в виде стружки и др. Альтернативным вариантом сращивания является инновационный способ – соединение на прямоугольные шипы, изготовленные способом торцового прессования. Такая технология формирования шипов прессованием требует обеспечения производственного процесса технологической оснасткой.

В работе [1] представлена установка для единичного производства деталей с прямоугольными шипами. Предложенная конструкция предназначена для применения в лабораторных условиях и имеет ряд конструктивных особенностей, не позволяющих применять ее в качестве оснастки для серийного производства заготовок шиповых соединений.

Целью данного исследования является разработка конструкции технологической оснастки, позволяющей реализовать ресурсосберегающую технологию сращивания короткомерных отходов деревообработки в условиях поточного производства.

Рационально спроектированная штамповая оснастка способствует существенному сокращению трудозатрат на единицу продукции, тем самым повышая производительность труда.

Задачи:

1) определить критерии качества штамповой оснастки;

2) определить основные характеристики оснастки;

3) определить соответствие критериев качества характеристикам оснастки;

1) провести анализ существующих конструктивных решений основных узлов оснастки для прессовой обработки различных материалов;

5) определить оптимальные решения, подходящие для задач торцового прессования древесины;

6) предложить конструкцию оснастки с учетом результатов проведенного анализа.

Обобщение информации, приведенной в источниках [2, 3], позволило определить следующие критерии качества штамповой оснастки и их взаимосвязь с характеристиками самой конструкции (рис. 1).

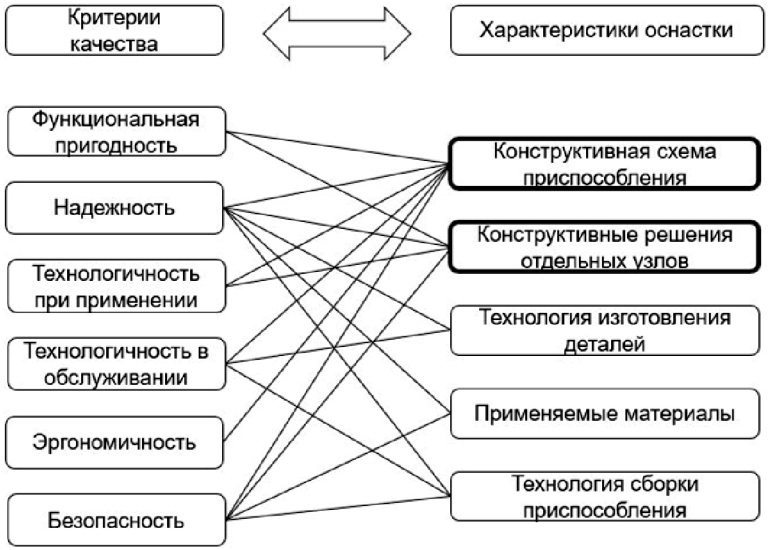


Рис. 1. Соответствие критериев качества и характеристик оснастки

Мы уделили внимание в первую очередь наиболее существенным характеристикам: конструктивной схеме и конструктивным решениям.

Признак (параметр)	Варианты			
По типу штампа	Простого действия	Совмещенного действия	Последовательного действия	—
По назначению штампа	Специальный	Специализированный	Универсальный	—
По уровню стандартизации плиты	Стандартные	Индивидуальные	—	—
По типу направляющих устройств	Без втулки	Втулка без шариков	Втулка с шариками	—
По количеству направляющих колонок	Две колонки с задним расположением	Две колонки с диагональным расположением	Три колонки	Четыре колонки
По типу крепления хвостовика	Без хвостовика	Резьбовое соединение	Прессовая посадка	—
По способу крепления пуансона	Пуансон в виде плиты	Крепление с помощью пуансонодержателя	Крепление напрямую к плите	Крепление с применением направляющего элемента
По наличию подкладной плитки	С подкладной плиткой	Без подкладной плитки	—	—
По способу крепления матрицы	Крепление с помощью матрицедержателя	Крепление напрямую к плите	—	—
По расположению съемника	Съемник отсутствует	Съемник сверху	Съемник снизу	—
По типу съемника	Мягкий (подвижный) съемник	Жесткий (неподвижный) съемник	—	—
По источнику движения мягкого съемника	Пружина	Толкатель	Пневмо-гидропривод	—
По виду пружины мягкого съемника	Витая	Тарельчатая	Резина	—
По типу применяемых фиксирующих деталей	Упоры	Фиксаторы	Ловители	Направляющие планки с прижимами
По виду упоров	Стационарные	Неподвижные	Утапливаемые	—
По типу фиксации заготовки	По наружному контуру	По внутреннему контуру	—	—

Рис. 2. Морфологическая схема выбора оптимальных конструктивных решений

Каждый вид конструктивных элементов лучше всего выбирать с использованием формализованной оценки. Для облегчения выбора оптимальных решений по конструкции оснастки в

целом информация была систематизирована с использованием морфологической таблицы. Окончательный выбор конструктивных элементов производится последовательно по строкам этой таблицы (рис. 2).

На основе приведенного выше анализа предлагается комбинированный вариант штампа с двумя направляющими колонками, подвижным съемником и направляющим плунжером-матрицей (рис. 3). Такая конструкция обладает оптимальным комплексом всех необходимых характеристик, в том числе имеет высокую точность позиционирования пуансона относительно матрицы, высокую надежность и безопасность работы.

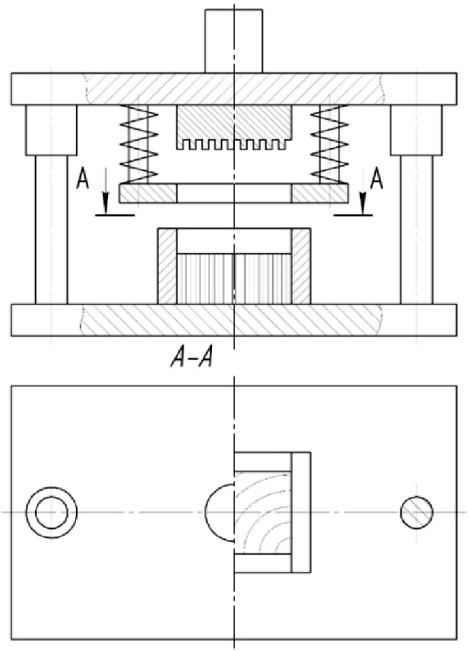


Рис. 3. Предлагаемый вариант оснастки

Минусом данной конструкции является сложность конструкции матрицы-пуансона и подвижного съемника. Задачей для дальнейшего решения является подбор и оптимизация зажимного уст-

ройства для обеспечения разделения пуансона и заготовки после прессования.

Найденные в настоящей работе решения позволяют подобрать оптимальную конструкцию технологической оснастки для ресурсосберегающей технологии сращивания короткомерных отходов деревообработки и внедрить ее в существующие технологические процессы.

Список литературы

1. Рублева О.А. Формирование шиповых соединений деталей из древесины на основе технологии торцового прессования: дис. … д-ра техн. наук / Уральский государственный лесотехнический университет. – Екатеринбург, 2020. – 346 с.

2. Автоматизированное проектирование штампов: учеб. пособие / А.Г. Схиртладзе [и др.]; под ред. проф. В.В. Морозова. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2007. – 284 с.

3. Проектирование штампов листовой и объемной штамповки: учеб: пособие / В.Н. Кокорин, Ю.А. Титов, О.И. Морозов, Н.В. Мишов / Ульян. гос. техн. ун-т. – Ульяновск, 2021. – 66 с.

Об авторах

Ведерников Ярослав Дмитриевич – старший преподаватель кафедры «Механика и инженерная графика», Вятский государственный университет, e-mail: vedernikov@vyatsu.ru

Рублева Ольга Анатольевна – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Машины и технологии деревообработки», Вятский государственный университет, e-mail: olga_ru@vyatsu.ru

УДК 57.084.1

Н.А. Воронин, Д.А. Воронин, В.А. Сомин

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МОЛЛЮСКОВ РОДА *LISSACHATINA FULICA*

Представлены результаты исследований по определению возможности использования моллюсков рода *Lissachatina Fulica* в переработке пищевых отходов, включающих соединения тяжелых металлов. Выявлено, что превышение содержания тяжелых металлов до 10 предельно допустимой концентрации для почвы негативно влияет на их жизнедеятельность.

Ключевые слова: тяжелые металлы, моллюски, пищевые отходы, биогумус.

N.A. Voronin, D.A. Voronin, V.A. Somin

STUDY OF THE INFLUENCE OF HEAVY METALS ON THE LIFE ACTIVITIES OF MOLLUSKS OF THE GENUS *LISSACHATINA FULICA*

The paper presents the results of studies to determine the possibility of using molluscs of the genus *Lissachatina Fulica* for the processing of food waste, including heavy metal compounds. It was revealed that the excess of the content of heavy metals up to 10 of the maximum permissible concentration for the soil negatively affects their vital activity.

Keywords: heavy metals, molluscs, food waste, biohumus.

В современном мире с ростом населения и, как следствие, объемов пищевой продукции увеличивается количество бытовых отходов, в том числе пищевых.

Основным способом их утилизации является захоронение на полигонах твердых коммунальных отходов, что приводит к выделению различных газов в процессе деструкции, в том числе парниковых. Поэтому острой становится проблема утилизации образующихся органических отходов.

Установлено, что пищевые отходы занимают порядка 45 % от общего объема образующихся твердых коммунальных отходов, при этом бумага и картон составляют около 25 % в этой массе [1]. Следовательно, 70 % твердых коммунальных отходов можно переработать при помощи моллюсков, с получением ценного органического удобрения – биогумуса. Биогумус – это конечный продукт деструкции органических отходов, который может использоваться как субстрат для удобрения или выращивания различных растений, в том числе сельскохозяйственных культур.

Нами разработан способ деструкции пищевых отходов растительного происхождения при помощи сухопутных улиток рода *Lissachatina Fulica* и земляных червей *Lumbricina*. Использование зооценоза моллюсков и червей является весьма перспективным направлением в переработке твердых коммунальных отходов растительного происхождения. Условия содержания зооценозов довольно просты, т.к. им достаточно обеспечить температуру в диапазоне от 18 до 29 °С и влажность от 75 до 90 %. Освещенность не играет лимитирующей роли. Применение данного метода позволит частично решить проблему утилизации органических отходов и получить ценное органо-минеральное удобрение.

Поскольку в составе твердых коммунальных отходов могут присутствовать различные неорганические соединения, в том числе металлы, они могут попадать вместе с пищевыми отходами в тела моллюсков. В связи с этим актуальным является изучение влияния тяжелых металлов на жизнедеятельность моллюсков.

С этой целью нами был проведен ряд опытов, в каждом из которых использовались улитки разных размеров и возраста. Кормосмесь, представляющая собой тонкоизмельченную фракцию высушенных пищевых отходов, размачивалась раствором соответствующей соли в соотношении раствор соли: сухая смесь 2:1, после чего поступала в рацион питания моллюсков. В качестве модельных были приготовлены смеси, содержащие соответственно уксуснокислую медь, нитрат цинка, нитрат кобальта и нитрат никеля в количестве 10 ПДК для почвы в каждом образце [2].

Для исследования были отобраны 5 групп разновесных моллюсков количеством 5 шт в каждой и массой от 1 до 10 г. Эксперимент проводился в условиях контейнерного содержания организмов в течение осеннего сезона 2022 г.

Через одни сутки после начала эксперимента поведение и активность моллюсков никак не изменились.

Спустя 10 сут. с момента начала проведения опыта во всех контейнерах была значительно снижена активность моллюсков, через 20 дней был отмечен падеж, выживаемость составила 60 %.

Спустя 60 дней в контейнере с солью нитрата кобальта смертность составила 80 %, в остальных контейнерах – 100 % (рисунок).

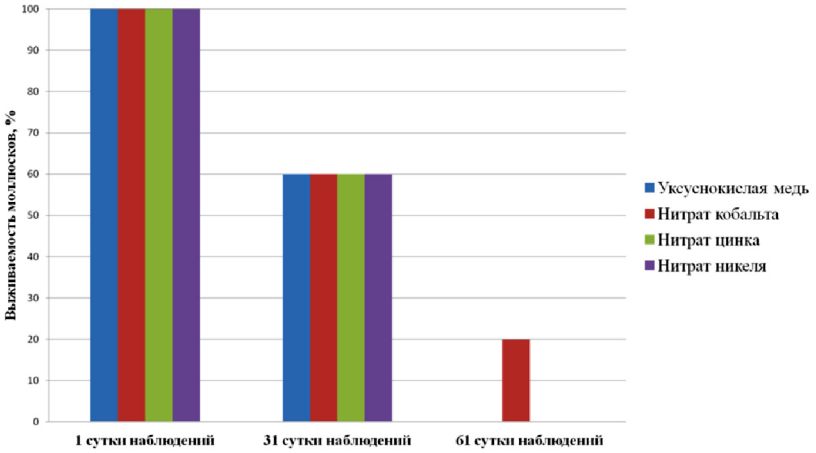


Рис. Выживаемость моллюсков при внесении в кормосмесь солей металлов

Таким образом, для сухопутных улиток *Lissachatina fulica* превышение содержания тяжелых металлов до 10 единиц предельно допустимой концентрации для почвы негативно влияет на их жизнедеятельность. Вместе с тем использование данных моллюсков в перспективе позволит оптимизировать переработку пищевых отходов с получением биогумуса.

Список литературы

1. Васильев А.В., Кондратьев А.Ф. Определение морфологического состава твердых бытовых отходов и степени их токсичности в условиях Самарской области России // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2020. – Т. 22, № 2 (94). – С. 51–54.

2. СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий».

Об авторах

Воронин Никита Андреевич – студент кафедры «Химическая техника и инженерная экология», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: voroninna00@gmail.com

Воронин Даниил Андреевич – студент кафедры «Химическая техника и инженерная экология», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: daniilvoronina@gmail.com

Сомин Владимир Александрович – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Химическая техника и инженерная экология», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: vladimir_somin@mail.ru

УДК 504.064.45

М.С. Девяткова, С.В. Полыгалов, Г.В. Ильиных

ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ПОЛИПРОПИЛЕНА

Полипропилен (ПП) имеет самый большой спрос на мировом рынке среди полимеров. Объем производства полипропилена в России с каждым годом возрастает. В статье представлены этапы переработки ПП тары в ПП гранулы. Проанализированы свойства полипропилена и их изменение от количества циклов переработки.

Ключевые слова: вторичный полипропилен, переработка полипропилена, свойства полипропилена.

M.S. Devyatkova, S.V. Polygalov, G.V. Il`inykh

RECYCLING OF POLYPROPYLENE WASTE

Polypropylene has the largest demand in the world market among polymers. The volume of polypropylene production in Russia is increasing every year. The article presents the stages of processing PP containers into PP pellets. The properties of polypropylene and their change from the number of processing cycles are analyzed.

Keywords: recycled polypropylene, polypropylene recycling, polypropylene properties.

Полимеры в современном мире широко используются практически во всех сферах деятельности и жизни человека. По данным доклада с обзором рынка крупнотоннажных полимеров самый большой спрос приходится на полипропилен (ПП) – 28 % (рис. 1) [1].

Полипропилен применяют для производства биаксиально-ориентированной пленки (БОПП), пакетов и скотча, используемых в качестве упаковки. В строительстве распространены трубы, фитинги и теплоизоляционные материалы из данного полимера, также из полипропилена изготавливаются корпуса бамперов и аккумуляторов. Но чаще всего полимер используется для производства товаров народного потребления, контейнеров для еды, ведер, игрушек, медицинских изделий, садовой и офисной мебели.

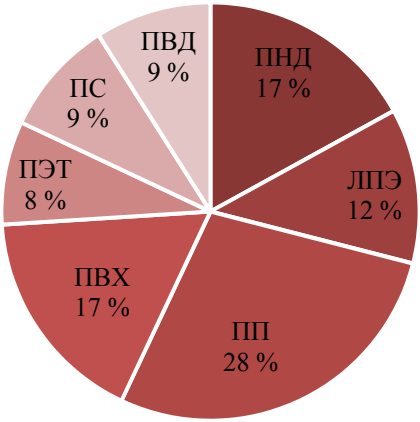


Рис. 1. Структура мирового спроса на базовые полимеры в 2018 г.: ПП – полипропилен; ПВХ – поливинилхлорид; ПЭТ – полиэтилентерефталат; ПС – полистирол; ПВД – полиэтилен высокого давления; ПНД – полиэтилен низкого давления; ЛПЭ – линейный полиэтилен

В 2022 г. объем производства полипропилена в России составил 1992 тыс. т и вырос на 3,8 % в сравнении с 2021 г. Лидерами по производству полипропилена стали Уральский и Приволжский федеральные округа [2].

В связи с большим спросом на полипропилен растет его объем образования в качестве отхода. В России из всего образующегося за год полипропилена вторичным сырьем становится только 17 %. Способы переработки данного полимера известны, но низкий процент обусловлен плохо организованным сбором вторичного сырья [3].

Вторичный полипропилен для дальнейшего производства продукции может использоваться в виде хлопьев или гранул. На рис. 2 представлена схема получения ПП-гранул из ПП-тары.

Производство вторичных ПП-гранул начинается с приема ПП-тары россыпью в биг-бэгах или прессованной в кипы. Далее ПП-тара подвергается предварительной сортировке, где удаляются крупные включения, такие как металлические ручки от ведер, крышки из алюминиевой фольги или силиконовые прокладки в

крышках пищевых контейнеров и очень загрязненный пластик. После этого ПП-тара отправляется в дробилку, на выходе из которой образуются ПП-хлопья, которые требуют дальнейшей мойки и сушки. На этапе мойки происходит очистка ПП-хлопьев от загрязнений и отделение посторонней фракции, которое происходит за счет разницы плотностей (ПП и ПЭ всплывает, а ПЭТ оседает). На завершающей ступени получения ПП-хлопьев стоит еще одна сортировка, благодаря которой удаляется мелкая фракция ПП, остаточные включения фольги и этикеток.

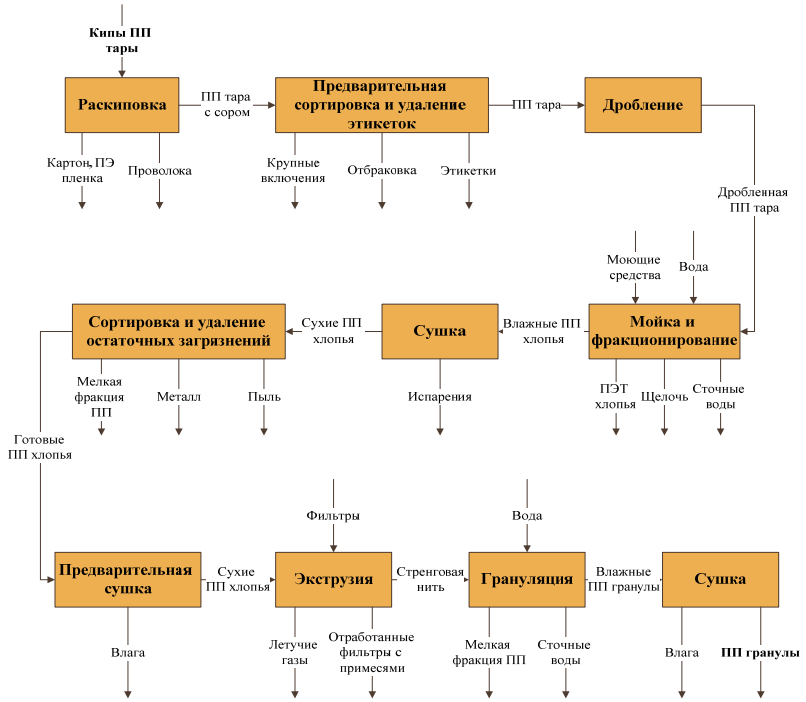


Рис. 2. Получение ПП-гранул из ПП-тары

Процесс получения ПП-гранул из ПП-хлопьев начинается с предварительной сушки, которая необходима, в случае если ПП-хлопья производят на одном предприятии, а ПП-гранулы – на другом. Тщательная сушка перед началом процесса экструзии обеспе-

чивает удаление остаточной влажности в ПП-хлопьях. Далее путем экструзии и грануляции осуществляется получение влажных ПП-гранул, которые требуют дальнейшей сушки. В экструдере ПП-хлопья расплавляются, и уже расплав проходит через фильтр. Грануляция полипропилена может осуществляться разными типами охлаждения расплава, а именно водокольцевым и стренговым. При стренговом охлаждении полученный материал подается в систему грануляции с образованием стренговой нити, которая проходит через ванну с водой с целью охлаждения. Далее сырье нарезается на гранулы нужного размера. При водокольцевом – резка на гранулы осуществляется сразу на голове экструдера, охлаждение происходит воздухом или водой. Размер и форма гранул также будет зависеть от выбора способа охлаждения расплава.

К самым часто определяемым свойствам первичного и вторичного полипропилена относятся содержание золы и влаги, плотность, ударная вязкость по Изоду, показатель текучести расплава, твердость по Рокквелу или Шору и температура плавления.

Показатель текучести расплава (ПТР) определяют по ГОСТ 11645–73. Чем выше ПТР, тем более текучая и менее вязкая гранула. Полипропилен с низким ПТР используют для производства труб, со средним ПТР – для производства пленок, а с высоким – для изготовления волокон, мебели, игрушек и тары [4].

Влажность полимера негативно влияет на его ударную прочность, а также может вызвать трудности при переработке. Зольность указывает на содержание в полипропилене минеральных веществ. Чем ниже содержание золы, там более долговечен полимер. Ударная вязкость по Изоду у полипропилена, по сравнению с другими полимерами, высокая, что положительно отражается на его прочностных характеристиках.

Полипропилен не обладает высокой плотностью, поэтому является одним из самых легких полимеров и может применяться для производства соответствующих конструкций.

Свойства вторичного полипропилена практически не отличаются от первичного, но последующие циклы переработки могут повлиять на его характеристики. В исследовании ученых Польского

и Словацкого университетов представлены результаты зависимости количества циклов переработки полипропилена и следующих свойств: твердости по Шору и напряжения при разрыве [5].

Для определения влияния многократной переработки на твердость формованных изделий, полученных в ходе исследования, были проведены исследования твердости по Шору. По мере увеличения количества циклов твердость немного повышалась. Напряжение при разрыве первые три цикла практически не изменялось, а при последующих снижалось пропорционально количеству циклов.

На основе проанализированных данных можно сделать вывод, что полипропилен пригоден, как минимум, для трех циклов переработки. Переработка полипропилена экономически более выгодна, т.к. требует меньше ресурсов, чем производство первичного полимера.

Список литературы

1. Волкова А.В. Рынок крупнотоннажных полимеров, 2020 [Электронный ресурс]. – URL: https://dcenter.hse.ru/data/2020/07/07/-1595325171/Рынок%20крупнотоннажных%20полимеров-2020.pdf (дата обращения: 25.02.2023).

2. Рынок полипропилена в России 2017-2023 гг. Цифры, тенденции, прогноз [Электронный ресурс]. – URL: https://tk-solutions.ru/russia-rynok-polipropilena (дата обращения: 28.02.2023).

3. Отчет Greenpeace о пластиковом загрязнении берегов водных объектов в России, 2020 [Электронный ресурс]. – URL: https://greenpeace.ru/wp-content/uploads/2020/03/Greenpeace-plastic-pollution-report.pdf (дата обращения: 28.02.2023).

4. Свойства и назначение различных марок полипропилена [Электронный ресурс]. – URL: https://www.polymery.ru/letter.php ?n_id=5147&cat_id=3 (дата обращения: 02.03.2023).

5. Głogowska, Karolina & Sikora, Janusz & Dulebová, Ľudmila. The effect of multiple processing of polypropylene on selected properties of injection moulded parts // Advances in Science and Technology Research Journal. – 2016. – Vol. 10. – P. 65–72. DOI: 10.12913/ 22998624/65139

Об авторах

Девяткова Мария Сергеевна – студентка кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: mari.devyatkova@mail.ru

Полыгалов Степан Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: polyste17@mail.ru

Ильиных Галина Викторовна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: galina.perm.59@yandex.ru

УДК 676.038.22

Д.Е. Добрынин, В.А. Сомин

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В КАЧЕСТВЕ СЫРЬЯ ДЛЯ ВЕРМИКОМПОСТИРОВАНИЯ

Любой технологический процесс неизбежно связан с образованием различного рода отходов, которые при поступлении в окружающую среду могут оказывать на нее негативное влияние. Для минимизации воздействия или исключения вреда, наносимого при этом компонентам биосферы, необходим поиск компромиссных решений между удовлетворением потребностей человека за счет природных ресурсов и возможностью биосферы выдерживать антропогенное воздействие. В связи с этим все большего внимания требует к себе проблема утилизации твердых коммунальных отходов (ТКО), которые в нашей стране преимущественно попадают на полигоны ТКО или несанкционированные свалки. Вместе с тем содержащиеся в ТКО компоненты могут быть успешно переработаны с получением эффективной продукции, например компоста. Одной из таких широко известных технологий является вермикомпостирование. Метод основан на способности червей семейства *Lumbricidae* в процессе жизнедеятельности поглощать органическую массу, пропускать ее через пищеварительную систему, расщепляя сложные органические соединения, и получать на выходе комплексное удобрение – биогумус. Исходным сырьем для вермикомпостирования могут служить навоз крупного рогатого скота, конский навоз, куриный помет, опилки, компост, а также различные отходы переработки продуктов питания. В настоящем материале авторами приводятся результаты экспериментов по изучению возможности использования вермикультуры для компостирования отходов целлюлозно-бумажной промышленности, а именно газетной бумаги.

Ключевые слова: вермикомпостирование, утилизация отходов, макулатура, земляные черви, деструкция.

D.E. Dobrynin, V.A. Somin

USE OF WASTE FROM THE PULP AND PAPER INDUSTRY AS A RAW MATERIAL FOR VERMICOMPOSTING

Any technological process is inevitably associated with the formation of various kinds of waste, which, when released into the environment, can have a negative impact on it. To minimize the impact or eliminate the harm caused by this to the

components of the biosphere, it is necessary to find compromise solutions between meeting human needs at the expense of natural resources and the ability of the biosphere to withstand anthropogenic impact. In this regard, the problem of recycling requires more and more attention. municipal solid waste (MSW), which in our country mainly end up in MSW landfills or unauthorized dumps. At the same time, the components contained in MSW can be successfully processed to obtain effective products, such as compost. One such widely known technology is vermicomposting. The method is based on the ability of worms of the *Lumbricidae* family to absorb organic matter during their life activity, pass it through the digestive system, breaking down complex organic compounds, and receive a complex fertilizer – vermicompost. The feedstock for vermicomposting can be cattle manure, horse manure, chicken manure, sawdust, compost, as well as various food processing wastes. In this material, the authors present the results of experiments to study the possibility of using vermiculture for composting waste from the pulp and paper industry, namely newsprint.

Keywords: vermicomposting, waste disposal, waste paper, earthworms, destruction.

Проблема утилизации твердых бытовых отходов, а также повторного использования компонентов, содержащихся в них, является актуальной для России, поскольку большая часть таких отходов размещается на полигонах, в то время как перерабатывается не более 7 % от общего их объема. Поскольку в бытовых отходах значительную долю составляют органические материалы, способные к биологической деструкции, для решения данной проблемы можно использовать технологию вермикомпостирования. Это направление утилизации является весьма перспективным, поскольку результатом такого рода биотехнологической переработки будет не только сокращение объемов ТКО, утилизируемых на полигонах, и, как следствие, снижение антропогенного воздействия, но и получение ценного органического удобрения – биогумуса.

ТКО по морфологическому составу подразделяются на ряд компонентов, из которых бумага и картон составляют от 20 до 30 % общей массы в зависимости от климатической зоны. Бумага и картон являются вторым компонентом морфологического состава ТКО по процентному содержанию, первое место занимают пищевые отходы. Существенное влияние на долю бумаги и картона от общей массы ТКО оказывает организация сбора в городах утильной бума-

ги. Известно, что значительная часть макулатуры захоранивается на полигонах совместно с другими категориями отходов и не поступает на повторную переработку. В статье [3] приводится информация о том, что в последние десятилетия увеличивается содержание бумаги в составе ТКО. Также стоит отметить тот факт, что переработка различных видов бумаги и картона – это энергозатратный технологический процесс, требующий использования больших объемов воды. При этом следует принимать во внимание, что макулатура – один из самых распространенных видов вторсырья, имеющий важное значение для сохранения такого ценного природного ресурса, как древесина.

Исходя из вышесказанного необходим поиск альтернативных способов переработки макулатуры с получением полезной продукции, одним из которых является вермикомпостирование [1, 2].

С целью определения возможности использования макулатуры в качестве исходного сырья для вермикомпострования, а также скорости его деструкции был поставлен эксперимент по переработке газетной бумаги червями двух видов: *Eisenia fetida* и *Dendrobaena veneta*. Для этого было отобрано по две выборки общей массой особей 10 г каждого из перечисленных видов. Эксперимент проводился в полипропиленовых цилиндрических емкостях объемом 1000 мл. В качестве инертного наполнителя использовался торф верховой нейтрализованный с pH не менее 5,2, массой 25 г для каждой емкости. Выборки червей переносились в контейнеры с торфом, затем на поверхность помещалась измельченная газетная бумага массой 30 г для каждой емкости (рис. 1).

Эксперимент проводился в оптимальных для червей условиях: при температуре от 20 до 25 °С и влажности от 75 до 80 %, влажность поддерживалась путем периодического орошения макулатуры водой. Также обеспечивался постоянный контакт емкостей с атмосферным воздухом. Контроль за состоянием макулатуры – визуальный, навеска бумаги в ходе эксперимента оставалась неизменной. Предполагалось эксперимент считать успешным в случае отсутствия макулатуры на поверхности и в объеме

торфа. По истечении 16 недель бумага визуально была полностью деструктурирована в емкостях с червями вида *Dendrobaena veneta* (рис. 2).

Рис. 1. Фотографии емкостей с макулатурой
в начале эксперимента

В емкостях с червями вида *Eisenia fetida* в одинаковых условиях проведения эксперимента видимого уменьшения объема макулатуры не произошло, процесса деструкции не наблюдалось. Расхождение результатов предположительно можно объяснить физиологическими особенностями вида *Dendrobaena veneta*, при этом для определения более точных параметров деструкции требуется проведение дальнейших исследований.

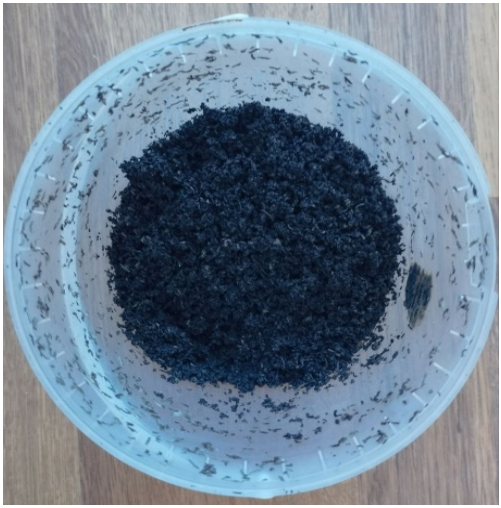


Рис. 2. Фотография емкости с переработанной бумагой
по истечении 16 недель с момента начала эксперимента

Таким образом, вермикомпостирование можно применять как инновационный и экологически чистый способ переработки отходов целлюлозно-бумажной промышленности. При этом такого рода переработка будет сопровождаться получением целевого продукта – комплексного органоминерального удобрения – биогумуса. В дальнейшем предполагается масштабирование экспериментов с использованием других видов червей семейства *Lumbricidae*, а также биотестирование полученного биогумуса на различных растительных культурах. Популяризация технологии вермикомпостирования и широкое ее внедрение в практику позволит существенно снизить негативное воздействие на окружающую среду при обращении с ТБО.

Список литературы

1. Состав ТБО [Электронный ресурс]. – URL: https://ztbo.ru/-o-tbo/lit/sanitarnaya-ochistka-i-uborka-mest/sostav-tbo (дата обращения: 24.02.2023).

2. Таракин А.В., Степанова Л.П. Экологическая оценка влияния вермикультуры на содержание тяжелых металлов и их

подвижность в вермикомпостах на основе лузги гречихи, дефеката, шлака и цеолитов // Вестник аграрной науки. – 2017. – № 4 (67). – С. 51–56.

3. Кулыгина А.В. Вермикомпостирование как способ переработки органических отходов аграрного производства // Молодой исследователь: от идеи к проекту: материалы I студенческой науч.-практ. конф. Марийский государственный университет. – Йошкар-Ола, 2017. – С. 99–102.

Об авторах

Добрынин Данил Евгеньевич – студент кафедры «Химическая техника и инженерная экология», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: dobrynin_danil_00@mail.ru

Сомин Владимир Александрович – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Химическая техника и инженерная экология», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: vladimir_somin@mail.ru

УДК 502/504

А.В. Елькин, К.Г. Пугин

ОЦЕНКА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ДРЕНАЖНЫХ СИСТЕМ И ПОДЗЕМНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

Для устройства дренажных систем различного назначения, используемых для отвода воды при освоении сельскохозяйственных земель и строительстве жилых и производственных зданий и автомобильных дорог, в настоящее время активно используются конструкции из полимерных материалов. Широкое использование полимерных материалов требует оценки геоэкологической устойчивости возводимых конструкций. Дренажные системы и подземные коммуникации могут находиться в эксплуатации длительные сроки, что увеличивает риски техногенного воздействия ввиду деструкции полимерного материала под действием агрессивных действий окружающей среды. Предложено проводить оценку геоэкологической устойчивости с учетом выявленных взаимосвязей и характера взаимовлияния элементов природно-технической системы. Установлено, что при оценке геоэкологической устойчивости ведущими стейкхолдерами являются: материал; время жизненного цикла; возможность материала ассимилироваться природной средой без нарушения жизнеобеспечивающих функций. Полимерные материалы, используемые для гидродренажей, не обеспечивают геоэкологическую устойчивость природно-техногенных систем. Это связано с низкой способностью полимеров ассимилироваться природной средой.

Ключевые слова: геоэкология, дренажные системы, окружающая среда, полимерные материалы, природно-техногенные системы.

A.V. Elkin, K.G. Pugin

ASSESSMENT OF THE GEOECOLOGICAL STABILITY OF DRAINAGE SYSTEMS AND UNDERGROUND UTILITIES

For the device of drainage systems for various purposes, used to drain water during the development of agricultural land and the construction of residential and industrial buildings and roads, structures made of polymer materials are currently actively used. The widespread use of polymeric materials requires an assessment of the geo-environmental stability of the constructed structures. Drainage systems and underground utilities can be in operation for a long time, which increases the risks of

technogenic impact due to the destruction of the polymer material under the influence of aggressive environmental influences. The article proposes to assess the geoecological sustainability, taking into account the identified relationships and the nature of the mutual influence between the elements of the natural and technical system. It has been established that when assessing geoecological sustainability, the leading stakeholders are: material; life cycle time; the ability of the material to be assimilated by the natural environment without violating life-supporting functions. Polymeric materials used for hydraulic drainage do not provide geoecological stability of natural-technogenic system. This is due to the low ability of polymers to assimilate the natural environment.

Keywords: geoecology, drainage systems, environment, polymeric materials, natural-technogenic systems.

В настоящее время продолжается активное освоение подземного пространства для размещения объектов, обеспечивающих функционирование строительных и сельскохозяйственных объектов с использованием различных технологий и материалов. Для устройства дренажных систем различного назначения, используемых для отвода вод при освоении сельскохозяйственных земель, строительстве жилых и производственных зданий и автомобильных дорог, в настоящее время активно используются полимерные материалы. Использование полимерных материалов для сооружения подземных коммуникаций позволяет сократить капитальные вложения, увеличить скорость монтажа и получить другие технологические преимущества перед используемыми ранее такими материалами, как металл, цементобетон, керамика. Долговременное размещение дренажных систем и подземных коммуникаций в верхних слоях педосферы, которая является средой обитания большого количества видов живых организмов, увеличивает риски техногенного воздействия на объекты окружающей среды за счет изменения химического, физического состояния при внешнем воздействии. Как показывает анализ научных публикаций, полимерные материалы при своей деструкции способны загрязнять окружающую среду не только опасными химическими соединениями, но также микропластиком, который может встраиваться в пищевые цепочки живых организмов с повреждением важных органов [1–5]. В связи с этим

задача оценки геоэкологической устойчивости коммунальных сооружений является актуальной.

Критерии выбора экологически безопасных технологий строительства дренажных и коммунальных подземных объектов должны обосновываться с учетом прогнозирования механических и гидрогеологических процессов в окружающем их грунте. Подземные дренажные и коммунальные сооружения, располагаясь в верхнем слое педосферы, образуют открытую природно-техногенную систему (ПТС), в которой происходит взаимное влияние искусственных сооружений и окружающей среды с изменением характеристик и свойств.

Для оценки изменений, происходящих в природном и техногенном объектах ПТС, необходимо установить состав основных компонентов системы и определить их иерархические уровни, техногенно и природно обусловленные воздействия с учетом физико-химических и биохимических факторов малой интенсивности. Состав и иерархические уровни ПТС «педосфера-гидродренажная система», имеющие ведущее значение, показаны на рисунке.

Представленная выше модель организации ПТС «педосфера-гидродренажная система» позволяют выделить укрупненно подсистемы, которые определяют значимые элементы ПТС, их функциональное назначение и возможную реакцию на внешнее воздействие. Компоненты подсистем определяют индивидуальные особенности формирования воздействия на сопредельную подсистему и возможность нейтрализовать воздействие от нее. В отличие от общепринятого подхода анализа функционирования ПТС, для анализа ПТС «педосфера-гидродренажная система» предлагается учитывать суммарное воздействие факторов малой интенсивности. К ним можно отнести солнечную радиацию, биодеструкцию, химические особенности почвы, температуру, которые могут сформировать опасное суммарное воздействие, позволяющее нарушить геоэкологическую устойчивость системы.

Риск формирования техногенного воздействия гидродренажной системы на геосферы возрастает с увеличением сроков экс-

плуатации гидродренажной системы. Это обусловлено накопительным эффектом воздействий малой интенсивности, которые в настоящем времени недостаточно учитываются. Полимерные материалы обладают высокой устойчивостью к воздействиям окружающей среды, что формирует ложное представление о геоэкологической их безопасности.

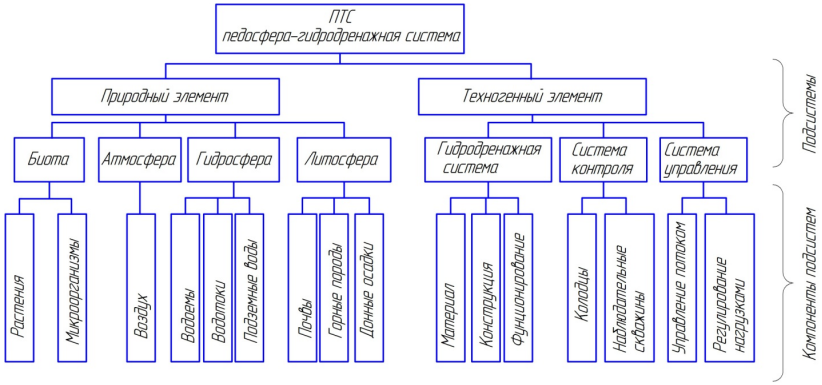


Рис. Состав и иерархические уровни
«педосфера-гидродренажная система»

Педосферу с размещенной в ней гидродренажной системой можно отнести к гетеротрофным антропогенным системам, состояние которых зависит от поступления энергии и изменения водного и кислородного баланса. Для них характерно развитие гетеротрофной сукцессии. В педосфере благодаря содержанию в ней живых организмов возможны процессы биологического и биохимического разложения, идущие с участием и без участия кислорода. Это формирует возможность биологического разрушения материала гидродренажных систем с образованием продуктов распада и изменением жизнеобеспечивающих функций педосферы.

При оценке геоэкологической устойчивости рассматриваемой ПТС ведущими стейкхолдерами являются: материал; время жизненного цикла; возможность материала ассимилироваться природной

средой без нарушения жизнеобеспечивающих функций. Полимерные материалы, используемые для гидродренажей, не обеспечивают геоэкологическую устойчивость ПТС. Это связано с низкой способностью полимеров ассимилироваться природной средой.

Список литературы

1. Пугин К.Г., Юшков В.С. Использование вторичных материалов для цементобетонных покрытий // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. – 2013. – № 1. – С. 144–151.

2. Власов А.С., Пугин К.Г. Обеспечение геоэкологической устойчивости сельскохозяйственных земель при добыче нефти // Инженерное обеспечение в реализации социально-экономических и экологических программ АПК: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Курган, 2021. – С. 192–195.

3. Пугин К.Г., Салахова В.К., Елькин А.В. Оценка и обеспечение геоэкологической устойчивости гидродренажных систем // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2021. – № 4. – С. 21–28.

4. Пугин К.Г. Научные основы минимизации негативных воздействий на геосферу при использовании отходов производства в строительстве: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. / Моск. гос. строит. ун-т. – М., 2016. – 44 с.

5. Пугина В.К., Пугин К.Г. Геоэкологическая оценка использования полимерных отходов в производстве различных строительных материалов // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2021. – № 1. – С. 63–69.

Об авторах

Елькин Александр Васильевич – аспирант кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: alexandr.elkin.96@mail.ru

Пугин Константин Георгиевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные технологии», Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова, профессор кафедры «Специальности водного транспорта и управления на транспорте», Пермский филиал Волжского государственного университета водного транспорта, e-mail: 123zzz@rambler.ru

УДК 504.062.2

Д.А. Ефремова, Г.С. Арзамасова

ОБЗОР ЗАРУБЕЖНОГО И РОССИЙСКОГО ОПЫТА ПРИМЕНЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ МАРКИРОВОК

Рассматриваются понятие, классификация и характеристика экологических маркировок. Представлен опыт применения экологических маркировок в различных странах, приведены наиболее распространенные типы экологических маркировок. Представлена классификация экологических маркировок в зависимости от степени учета экологических аспектов, вида декларирования и типа товаров.

Ключевые слова: экологическая маркировка, осознанное потребление, товар.

D.A. Efremova, G.S. Arzamasova

OVERVIEW OF FOREIGN AND RUSSIAN EXPERIENCE IN THE USE OF ENVIRONMENTAL LABELS

The article discusses the concept, classification and characteristics of environmental labels. The article presents the experience of different countries in the application of environmental labeling of goods and services. The article proposes a classification of environmental labels depending on the consideration of environmental aspects, the type of declaration and the type of goods.

Keywords: environmental labeling, conscious consumption, product.

Экологическая маркировка продукции и услуг как инструмент снижения негативной нагрузки на окружающую среду появилась сравнительно недавно и в последние годы получает все большее распространение. Общемировой уровень потребления розничных товаров с 2015 г. вырос на 18,7 %. По данным Росстата, в нашей стране такой прирост составляет 27,8 %. Исследования Tukker A. и Jansen B. показали, что более 70 % общего воздействия на окружающую среду в течение жизненного цикла всех продуктов и услуг приходится на потребительский сектор, жилищное строительство и транспорт [1]. Так, по данным, представленным в статье

A. Müller и E. Süßbauer, среднестатистическое домашнее хозяйство образует около 336 кг упаковки в год [2].

Переход на принципы ответственного потребления является одной из целей Концепции устойчивого развития (ЦУР № 12), подразумевающий не только переход на экологически безопасные способы производства товаров и услуг, но и формирование соответствующих моделей поведения потребителей. Исследования крупных международных производителей показывают, что на поведение потребителей в отношении выбора товаров оказывает значительное влияние информация на этикетке об экологических характеристиках продукта и его производстве, что позволяет принять решение о покупке и направляет в вопросах ответственного использования и утилизации приобретенной продукции [3].

Такая информация на упаковке носит название экологической маркировки (экомаркировка), которая направлена на информирование о влиянии товара на окружающую среду на всех этапах его жизненного цикла. Маркировка продукции по экологическим характеристикам решает две задачи: во-первых, предоставляет покупателям информацию о влиянии их потребления на окружающую среду и способствует переходу к более экологически безопасным моделям; во-вторых, содействует развитию, как на государственном, так и на корпоративном уровне системы экологической стандартизации продукции / услуг [4, 5].

Экомаркировки можно разделить на «официальные», основанные на государственных или добровольных стандартах и предполагающие обязательное прохождение процедуры сертификации продукции и услуг. Такие экологические маркировки наиболее распространены в странах Европы, к ним относятся, например, «Северный Лебедь», «Голубой Ангел» и др. Также в последние годы получили распространения «экомаркировки», устанавливаемые компаниями-производителями самостоятельно и размещаемые на упаковке товаров. Такие маркировки по содержанию и форме полностью являются внутренней ответственностью производителя и, как правило, не подтверждаются в рамках процедуры сертификации производимой продукции.

Исследование официальных экомаркировок позволило выделить ключевые отличия между ними и предложить их классификацию по области применения, количеству оцениваемых стадий производства и степени вовлечения третьих лиц к процедуре сертификации (рисунок).

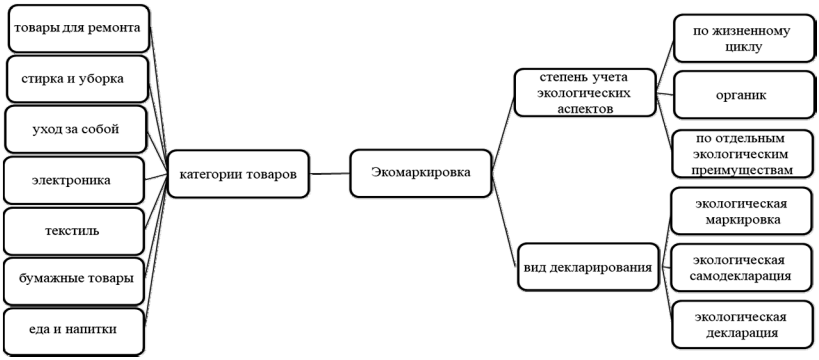


Рис. Классификация экомаркировок

Экомаркировки существуют во всех странах мира. Самые надежные из них – экомаркировки I типа, которые учитывают весь жизненный цикл продукта: от добычи сырья до переработки упаковки. Большая часть таких экомаркировок по всему миру объединена во Всемирную ассоциацию экомаркировки (The Global Ecolabelling Network, GEN). В базу данных GEN входят 37 компаний-производителей из 60 стран мира. В таблице представлены наиболее распространенные экомаркировки из базы GEN.

В странах Азии наиболее применимы следующие экологические маркировки товаров и услуг: GreenPro (Индия), Eco Mark (Япония), Зеленая марка (Тайвань) и Китайская экологическая маркировка (Китай). В РФ экомаркировкой по жизненному циклу, признанной мировым сообществом и входящей в GEN, является «Листок жизни», который в 2001 г. был разработан и внедрен некоммерческим партнерством «Экологический союз». Знаком «Листок жизни» отмечен 251 товар, применяемый для ремонта, стирки и уборки, ухода за собой, в качестве электроники и продовольст-

венных товаров. Другим примером использования экомаркировки в нашей стране является органик-маркировка в соответствии с ГОСТ 33980-2016 «Продукция органического производства. Правила производства, переработки, маркировки и реализации», по которому сертифицировано 126 продовольственных товаров различных российских производителей.

Обзор распространенных экомаркировок

Маркировка (страна)	Область применения	Количество товаров	Количество запросов в интернете
По жизненному циклу			
Голубой ангел (Германия)	Товары для ремонта, стирка и уборка, электроника, текстиль, бумажные товары	> 20 000	> 35 000
Северный лебедь (Дания, Швеция, Норвегия и др.)	Товары для ремонта, стирка и уборка, уход за собой, электроника, текстиль, бумажные товары	> 25 000	> 29 000
Европейский цветок (страны ЕС)	Товары для ремонта, стирка и уборка, уход за собой, электроника, текстиль, бумажные товары	2270	> 35 000
GECA (Австралия)	Товары для ремонта, стирка и уборка, уход за собой, электроника, текстиль	> 2500	> 28 000
Органик-маркировка			
Евролист (страны ЕС)	Еда и напитки	55 613	> 4 000
USDA Organic (США)		17 445	> 55 000
ABCERT (Германия)		> 17 000	> 4 000
Demeter (Германия)		17 946	> 15 000
Знаки по отдельным экопреимуществам (международные)			
FSC	Бумажные товары	> 50 000	> 39 000
Energy Star	Электроника	80 407	> 28 000
GOTS	Текстиль	> 12 000	> 10 000
MSC	Еда и напитки	20 447	> 71 000

Внедрение компаниями экологической маркировки позволяет повысить информированность покупателей об экологически безопасных для окружающей среды товарах и способствует их

выбору. Мировой опыт развития экологической сертификации демонстрирует актуальность и необходимость расширения сфер охвата и появления новых категорий экологически чистых товаров.

Список литературы

1. Tukker A., Jansen B. Environmental Impacts of Products: A Detailed Review of Studies // Journal of Industrial Ecology. – 2006. – Vol. 10, № 3. – P. 159–182. DOI: 10.1162/jiec.2006.10.3.159

2. Müller A., Süßbauer E. Disposable but indispensable: The role of packaging in everyday food consumption // European Journal of Cultural and Political Sociology. – 2022. – Vol. 9, № 3. – P. 299–325. DOI: 10.1080/23254823.2022.2107158

3. Ответственное потребление все чаще определяет выбор покупателей в России, [Электронный ресурс]. – URL: https://www.procterandgamble.ru/blogs/consumer_trends/ (дата обращения: 26.02.2023).

4. Sharma N.K., Kushwaha G.S. Eco-labels: A tool for green marketing or just a blind mirror for consumers // Electronic Green Journal. – 2019. – Vol. 1, № 42. DOI: 10.5070/g314233710

5. Environmental Labeling: An Analysis of the Past 22 Years of Research / R. Dórea, D. Silva, J. Almeida Neto, L. Rodrigues // Journal of International Consumer Marketing. – 2021. – Vol. 34, № 3. – P. 184–200. DOI: 10.1080/08961530.2021.1951918

Об авторах

Ефремова Дарья Александровна – студентка кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: efremova.daria2014@yandex.ru

Арзамасова Галина Сергеевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: arzamasova_g@mail.ru

УДК 628.345:669.05.83

О.С. Залыгина, В.И. Чепрасова, Т.Л. Старовойтова

ОТХОДЫ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА КАК ВТОРИЧНОЕ СЫРЬЕ

Дана характеристика отходов литейного производства и предложены направления их переработки. Землю формовочную горелую предложено использовать для производства керамического кирпича, а железосодержащую пыль – для производства коагулянтов.

Ключевые слова: земля формовочная горелая, железосодержащая пыль, керамический кирпич, коагулянт.

V.S. Zalyhina, V.I. Cheprasova, T.L. Starovoitova

FOUNDRY WASTE AS A SECONDARY RAW MATERIAL

The characteristic of foundry production wastes is given and directions of their processing are offered. It is proposed to use burnt molding earth for the production of ceramic bricks, and iron-containing dust for the production of coagulants.

Keywords: burnt molding earth, iron-containing dust, ceramic brick, coagulant.

В настоящее время литейное производство широко представлено во многих странах мира, т.к. без него невозможно развитие машиностроения, самолетостроения, станкостроения и других отраслей промышленности. В Республике Беларусь литейное производство функционирует более чем на 1500 предприятиях [1], крупнейшими из которых являются белорусский металлургический завод (г. Жлобин), Речицкий метизный завод, Могилевский металлургический завод и др. [2].

Литейное производство является одним из наиболее опасных источников загрязнения окружающей среды, оказывающим воздействие прежде всего на атмосферный воздух. На современных предприятиях внедряют различные системы очистки газовоздушных выбросов, которые позволяют снизить выбросы загрязняющих веществ до установленных нормативов. Также в литей-

ном производстве образуются отходы, которые используются не в полной мере, а частично вывозятся на полигоны либо хранятся на территории предприятий.

В литейном производстве можно выделить следующие основные виды отходов: земля формовочная горелая (ЗФГ), металлургические шлаки и железосодержащая пыль. Земля формовочная горелая, как правило, подвергается регенерации и возвращается в технологический процесс. Однако при ее регенерации образуется пылевидная фракция с размером зерен менее 180 мкм, которая рассматривается как отход и отправляется на хранение или захоронение. Металлургические шлаки, которые образуются в печах при плавке металла, в настоящее время практически полностью используются в дорожном строительстве. Железосодержащая пыль в литейном производстве образуется при очистке газовоздушных выбросов от плавильных печей и при очистке отливок от остатков формовочной смеси и не находит дальнейшего применения.

В работе рассматривалась возможность переработки не используемых в настоящее время отходов литейного производства, а именно пылевидной фракции, остающейся после регенерации земли формовочной горелой и железосодержащей пыли.

С помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-5610 LV с системой химического анализа EDX JED-2201 (JEOL, Япония) был определен элементный состав пылевидной фракции ЗФГ различных предприятий, мас. %: Si 49,5–60,97; O 30,68–38,14; Al 3, 26–4,6; Fe 2,44–3,65; Mg 1,35–2,03; Ca 0,92–0,98; K 0,32–0,86; Mn 0–0,3. Рентгенофазовый анализ, осуществленный на рентгеновском дифрактометре D8 Advance Bruker AXS (Германия), свидетельствует, что основной фазой исследуемого отхода является песок SiO_2, что подтверждает возможность его использования в производстве керамического кирпича. Методом пластического формования были получены образцы керамического кирпича с различным содержанием пылевидной фракции ЗФГ, которые после сушки подвергались обжигу при различной температуре (от 900 до 1100 ^{o}C) с различной изотермической выдержкой при максимальной температуре (от 30 мин до 2 ч).

Для полученных образцов определялись такие свойства, как плотность, водопоглощение, прочность при сжатии и изгибе. На основании проведенных исследований была установлена возможность введения в состав керамического кирпича 20 мас. % пылевидной фракции ЗФГ, и для образцов этого состава выбран оптимальный режим термообработки: максимальная температура 1000 ^{o}C, время изотермической выдержки при ней – 1 ч. Полученные образцы соответствуют ГОСТ 530-2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия» (марка М300) [3].

Элементный состав железосодержащей пыли различных предприятий свидетельствует о том, что в ее состав входит от 4,5 до 9,7 мас. % Fe. Установить, в какой форме присутствует железо в отходе рентгенофазовым анализом, не удалось, возможно, из-за его низкой чувствительности либо из-за аморфности соединений железа. Учитывая большую потребность Республики Беларусь в коагулянтах для очистки сточных вод от коллоидных и мелкодисперсных примесей, было предложено использовать этот отход литейного производства для получения коагулянта. Сначала была проведена электромагнитная сепарация, что позволило повысить содержание Fe в отходе до 50 мас. %. Магнитная фракция, удаляемая во время электромагнитной сепарации, также содержит немагнитный материал (SiO_2), по-видимому, вследствие его спекания с железом при высоких температурах, имеющих место в литейном производстве. Немагнитную фракцию, состоящую практически полностью из SiO_2, предлагается также использовать в керамической промышленности (в производстве керамического кирпича, плитки, художественных изделий), а магнитную фракцию использовать для получения железосодержащего коагулянта.

Для получения коагулянта магнитную фракцию железосодержащей пыли обрабатывали различным количеством соляной кислоты при нагревании до 100 ^{o}C. Процесс сопровождался интенсивным выделением газа (водорода), после окончания которого суспензию охлаждали, выдерживали в течение различного времени

(от 1 до 7 с), отфильтровывали и промывали. В фильтрате определяли концентрацию Fe^{3+}, Fe^{2+} и $Fe_{общ}$, а также определяли элементный состав твердой фазы, на основании которого было установлено, что полное извлечение железа из отхода происходит после хранения суспензии в течение 2 с.

На основании проведенных исследований были предложены следующие условия получения коагулянта из железосодержащей пыли литейного производства: предварительная электромагнитная сепарация, добавление к магнитной фракции 18%-ной соляной кислотой в соотношении отход: кислота 1:7, нагревание при 100 ^{o}C 30 мин, хранение в течение 2 сут, фильтрация. После разбавления полученного коагулянта до концентрации Fe^{3+} 3 г/дм^3 исследовали эффективность его использования для очистки сточных вод, загрязненных различными коллоидными и мелкодисперсными примесями неорганического и органического происхождения.

Эффективность очистки сточных вод с использованием разработанного коагулянта составила от 96 до 99 % в зависимости от вида примесей и во всех случаях не уступает эффективности очистки с использованием железосодержащего коагулянта, выпускаемого промышленностью, а в некоторых случаях оказывается даже несколько выше за счет флокулирующих свойств полученного коагулянта.

Список литературы

1. Промышленность Республики Беларусь: Статистический буклет / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Минск, 2021. – 51 с.

2. Витязь П.А., Толстой А.В., Садоха М.А. Анализ состояния литейных производств Республики Беларусь // Литье и металлургия. – 2019. – № 3. – С. 35–40.

3. ГОСТ 530-2012. Кирпич и камень керамические. Общие технические условия / Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – М., 2013. – 31 с.

Об авторах

Залыгина Ольга Сергеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленна экология», Белорусский государственный технологический университет, e-mail: zalyhina@mail.ru

Чепрасова Виктория Игоревна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Промышленная экология», Белорусский государственный технологический университет, e-mail: cheprasova@belstu.by

Старовойтова Татьяна Леонидовна – студентка IV курса специальности «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов», Белорусский государственный технологический университет, e-mail: alimpiya26@gmail.com

УДК 624.131.137

Д.А. Зубкова, Д.Д. Мерзлякова,
А.М. Непогодин, И.В. Пестерева

ОЧИСТКА ПРИРОДНЫХ ВОД ОТ АНТРОПОГЕННЫХ ПРИМЕСЕЙ

Приведен обзор схем очистки природных вод, и обозначена проблема применения устаревшей технологии водоподготовки. Авторы подчеркивают необходимость эффективного использования станции водоподготовки при уменьшении объемов и площадей сооружений. Среди современных методов водоподготовки авторы особое внимание уделяют применению скорых и сорбционных фильтров, методам предочистки, режиму хлорирования, применение окислителей, применение более эффективных коагулянтов и флокулянтов.

Ключевые слова: очистка природных вод, скорый фильтр, сорбционные фильтры, контактная камера, коагулянты, флокулянты, подщелачивающие реагенты, хлопьеобразование, питьевая вода.

D.A. Zubkova, D.D. Merzlyakova,
A.M. Nepogodin, I.V. Pestereva

PURIFICATION OF NATURAL WATERS FROM ANTHROPOGENIC IMPURITIES

This article gives an overview of natural water treatment schemes and the problem of using outdated water treatment technology. The authors emphasize the necessity of effective use of water treatment plant while reducing the volume and area of facilities. Among modern methods of water treatment, the authors pay special attention to the use of rapid and sorption filters, pretreatment methods, chlorination regime, the use of oxidants, the use of more effective coagulants and flocculants.

Keywords: natural water treatment, rapid filter, sorption filters, contact chamber, coagulants, flocculants, alkalizing reagents, flaking, drinking water.

Вода необходима для жизни, поэтому обеспечение доступа к безопасной и чистой воде является серьезной проблемой для развития здравоохранения на местном, национальном и региональном

уровнях [1]. Для повышения качества воды за счет улучшения санитарных систем необходимо глубокое понимание химии и микробиологии воды.

Инженерная инфраструктура водоснабжения во многих населенных пунктах зависит от поверхностных вод как источника питьевой воды. Изменение качества поверхностных вод является важным фактором при проектировании инфраструктуры водоподготовки. Большая часть инфраструктуры водоподготовки проектируется на основе многолетних статистических данных о качестве воды [2–6].

Загрязнители природных вод подразделяются на точечные и неточечные. Когда загрязнение воды происходит из одного источника, это называется загрязнением из точечного источника (например, химические вещества с одного завода). И наоборот, когда загрязнение, воздействующее на водоем, происходит из нескольких источников (несколько заводов), это называется загрязнением из неточечных источников. Загрязнители из точечных источников – это все загрязнители в сухую погоду, которые попадают в водотоки по трубам или каналам. Загрязнение точечными источниками происходит в основном от промышленных объектов и городских очистных сооружений. Ливневые стоки, сельскохозяйственные стоки, строительные площадки и другие нарушения земель считаются неточечными источниками загрязнения. Поэтому в современных условиях для улучшения и оптимизации водоподготовки необходимо использовать разные способы и методы очистки природных вод [1].

Использование разных способов для улучшения и оптимизации водоподготовки позволяет организовать технологические схемы для улучшения органолептических свойств воды, которые описаны в таблице.

В целом реализация системного подхода на практике позволяет обеспечить достаточную санитарную и экологическую надежность станций водоподготовки и экономное использование дорогостоящих материалов и оборудования в условиях повышенных антропогенных нагрузок на водоисточники.

Технологические схемы водоподготовки с целью улучшения органолептических свойств воды

Номер схемы	Технологическая схема (последовательность расположения основных сооружений и процессов)	Применение технологической схемы
1	Микрофильтр → контактная камера озонирования → смеситель (введение реагентов) → камера хлопьеобразования → комбинированный тонкослойный осветлитель → скорый фильтр → контактная камера озонирования → сорбционный фильтр → хлорирование	Подготовка мутных и цветных вод сложного физико-химического состава с преобладанием органических загрязнений и водорослями. Используется окислительно-сорбционный метод, при котором на заключительном этапе продукты озонолиза задерживаются на сорбционных гранулированных фильтрах
2	Контактная камера озонирования → смеситель (введение реагентов) → двухслойный фильтр ФПЗ → контактная камера озонирования → сорбционный фильтр → хлорирование	Подготовка цветных вод сложного физико-химического состава с преобладанием органических загрязнений. Применяется озонирование и осветлительно-сорбционные фильтры
3	Смеситель (введение реагентов и порошкового активированного угля) → отстойник с камерой хлопьеобразования → введение порошкового активированного угля → скорый фильтр → хлорирование	Подготовка воды при ухудшении ее качества в некоторые периоды года. При обработке воды используется порошковый активированный уголь
4	Входная камера, совмещенная с биореактором → смеситель (введение реагентов) → комбинированный блок, включающий камеру хлопьеобразования, токослойный отстойник и скорый фильтр → контактная камера озонирования → сорбционный фильтр → хлорирование	Очистка сильнозагрязненных мутных поверхностных вод с большим содержанием органических веществ в течение всего года. На первой стадии происходит обработка воды в биореакторе с носителями прикрепленных микроорганизмов
5	Микрофильтр → контактная камера озонирования → смеситель (введение реагентов) → префильтр с контактной камерой → двухслойный контактный осветлитель → хлорирование	Очистка вод малой и средней мутности, содержащих водоросли и труднокисляемую органику

Список литературы

1. Исаков В.Г., Абрамова А.А., Непогодин А.М. Зеленые технологии в очистке поверхностных и сточных вод объектов ЖКХ // Технические университеты: интеграция с европейскими и мировыми системами образования: материалы VIII Междунар. конф. в 2 т., Ижевск, 23–24 апреля 2019 г. Т. 1. – Ижевск: Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова, 2019. – С. 460–465.

2. Разработка экспериментальной установки очистки питьевых вод посредством совмещения методов напорной флотации и фильтрации / Е.В. Астраханцева, М.В. Феоктистова, А.А. Абрамова, А.М. Непогодин // Выставка инноваций – 2020 (осенняя сессия): сб. материалов XXX респуб. выставки-сессии студенческих инновационных проектов. – 2021. – С. 12–16.

3. Akhmetshina A., Nepogodin A. Reconstruction of water treatment building of drinking water for the purpose of improvement of organoleptic indicators // Fourth Forum of Young Researchers. In the framework of International Forum «Education Quality – 2014». Conference Proceedings. Editorial board: Boris Yakimovich; Yury Turygin. – 2014. – P. 107–108.

4. Владыкина А.Н., Пушина П.Ю., Дягелев М.Ю. Исследование качества воды родников по физико-химическим показателям города Ижевска // Энергоресурсосбережение в промышленности, жилищно-коммунальном хозяйстве и агропромышленном комплексе: материалы регион. науч.-практ. семинара, Ижевск, 26 февраля 2016 года. – Ижевск: ИННОВА, 2016. – С. 152–154.

5. Лабораторная флотационная установка / В.Г. Исаков, А.М. Непогодин, Г.В. Свалов, М.Ю. Дягелев // Химия. Экология. Урбанистика. – 2020. – Т. 1. – С. 104–108.

6. Разработка экспериментальной установки очистки питьевых вод посредством совмещения методов напорной флотации и фильтрации / Е.В. Астраханцева, М.В. Феоктистова, А.А. Абрамова, А.М. Непогодин // Выставка инноваций – 2020 (осенняя сессия): сб. материалов XXX респуб. выставки-сессии студенче-

ских инновационных проектов, Ижевск, 19 ноября 2020 г. – Ижевск: Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова, 2021. – С. 12–16.

Об авторах

Зубкова Дарья Алексеевна – студентка кафедры «Теплоэнергетика», Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, e-mail: dahsazubkova93_10@mail.ru

Мерзлякова Дарья Денисовна – студентка кафедры «Водоснабжение и водоподготовка», Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, e-mail: dasha.merzlyakova.02@mail.ru

Непогодин Александр Михайлович – старший преподаватель кафедры «Водоснабжение и водоподготовка», Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, e-mail: sa-nepogodin@rambler.ru

Пестерева Ирина Владимировна – магистрант кафедры «Водоснабжение и водоподготовка», Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, e-mail: irohka.pestereva@mail.ru

УДК 676.0

В.А. Калинина, Ю.М. Маргина

БИОТЕСТИРОВАНИЕ КОРОДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕМЯН РЕДИСА (*RAPHANUS SATIVUS*)

Представлены результаты исследований фитотоксического эффекта кородревесных отходов (КДО) короотвала ЦБК, расположенного в Пермском крае. Определение фитотоксического эффекта проводилось на семенах двудольного растения – редис *Raphanus sativus*. Для 21 % исследуемых образцов КДО было установлено отсутствие фитотоксического эффекта, а для 58 % наличие стимулирующего действия на развитие корневой системы редиса. Для 87 % образцов КДО наблюдалось угнетение роста надземной части редиса предположительно по причине нехватки питательных веществ в составе КДО.

Ключевые слова: кородревесные отходы, короотвал ЦБК, биотестирование, фитотоксичность.

V.A. Kalinina, Yu.M. Margina

BIOTESTING OF BORKWOOD WASTE USING RADISH SEEDS (*RAPHANUS SATIVUS*)

The results of studies of the phytotoxic effect of bark-wood waste (BWW) of the pulp and paper mill located in the Perm Region are presented. The phytotoxic effect was determined on the seeds of a dicotyledonous plant – radish *Raphanus sativus*. For 21 % of the studied BWW samples, the absence of a phytotoxic effect was found, and for 58 % the presence of a stimulating effect on the development of the radish root system. For 87 % of the BWW samples, inhibition of the growth of the aboveground part of the radish was observed, presumably due to a lack of nutrients in the BWW composition.

Keywords: bark-wood waste, pulp and paper mill, biotesting, phytotoxicity.

Для целлюлозно-бумажных комбинатов одной из актуальных проблем является образование отходов, большая часть которых состоит из древесной коры и щепы [1]. На протяжении долгого времени эти отходы хранятся на короотвалах, оказывая негативное воздействие на окружающую среду [2], занимая большие площади

территорий. В связи с этим остро стоит вопрос утилизации кородревесных отходов (КДО) целлюлозно-бумажных комбинатов накопленных на короотвалах. Выбор технологии утилизации кородревесных отходов должен осуществляться на основании данных о состоянии и свойствах КДО в короотвалах.

Фитотестирование позволяет оценить способность испытуемых кородревесных субстратов оказывать угнетающее действие на растения в виде нарушения физиологических процессов и ухудшения качества растительной продукции [3]. Фитотестирование было проведено для 24 образцов КДО (размер фракции менее 1 см), отобранных с разных глубин из массива короотвала целлюлозно-бумажного комбината Пермского края.

Фитотестирование КДО проводилось на семенах *Raphanus sativus L* (редис сорт «Красный круглый с белым кончиком»). Посадка осуществлялась в пластиковых прозрачных контейнерах (объемом 200 мл), масса исследуемого субстрата КДО в каждом контейнере составляла 100 г (высота 1,5–2 см). Семена размещали на равном расстоянии друг от друга по 10 шт. в каждом контейнере в трех повторностях. В качестве контроля использовалась коммерческая почва (грунт универсальный питательный «Просто»). Эксперимент проводили в течение 3 сут. в помещении при соблюдении одинаковых условий по температуре, влажности и освещенности. Периодический полив осуществлялся дистиллированной водой. Оценку результатов проводили по следующим параметрам: всхожесть семян, длина корня, длина стебля.

Критерием фитотоксичности были приняты различия между исследуемыми образцами и контролем, превышающие 20 % [4].

Результаты оценки фитотоксического эффекта КДО по показателям всхожести семян, длины корня и длины стебля редиса представлены на графиках (рис. 1–3).

Максимально низкое значение всхожести семян было отмечено для одной пробы КДО на уровне –100 %, всего проявление фитотоксического эффекта было установлено для семи образцов КДО. Для пяти проб было отмечено увеличение показателя всхожести семян на 3,7 % (рис. 1).

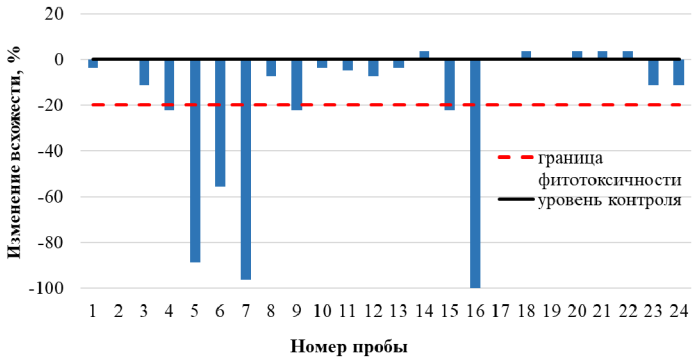


Рис. 1. Изменение всхожести семян редиса относительно контроля

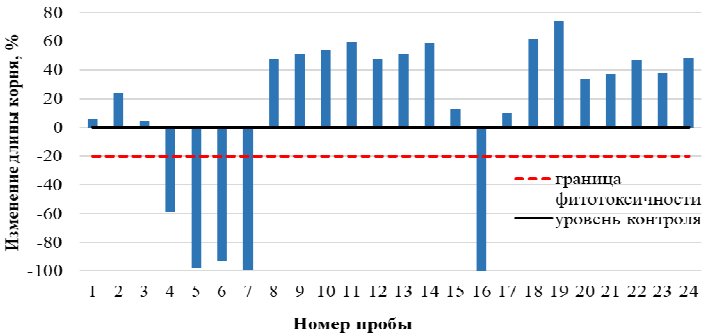


Рис. 2. Изменение длины корня редиса относительно контроля

Результаты оценки длины корня редиса, представленные на рис. 2, показали наличие стимулирующего эффекта у 14 проб КДО, среднее увеличение относительно контроля составило 13,19 %, максимальный стимулирующий эффект был отмечен на уровне 73,8 %. Для 5 проб фитотоксический эффект был на уровне нормы. Угнетающий эффект на рост корня был отмечен для пяти проб КДО, среднее значение угнетения для которых составило – 89,74 %, максимальный угнетающий эффект был отмечен на уровне – 100 % у одной пробы. Наличие стимулирующего эффекта на развитие корневой системы редиса у более половины образцов КДО может быть объяснено физическими свойствами исследуемых кородре-

весных субстратов, которые отличаются от свойств контрольной торфяной почвы. Кородревесные субстраты, в отличие от торфяной почвы, имели в своем составе частицы большего размера, до 1 см, что делало их более проницаемыми для развития корневых систем при отсутствии фототоксичных факторов у образцов КДО.

Оценка фитотоксического эффекта по длине корня и длине стебля дала противоположные результаты. При норме и увеличении длины корня редиса у 79 % образцов КДО мы наблюдали уменьшение длины стебля редиса у 87 % образцов КДО (рис. 3) более чем на 20 % относительно контроля.

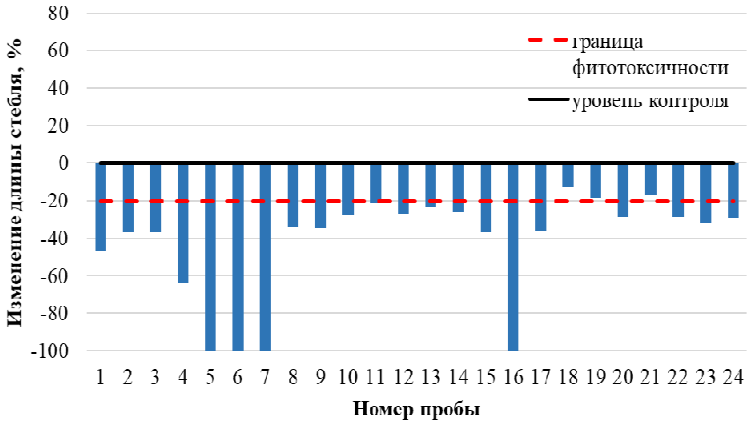


Рис. 3. Изменение длины стебля редиса относительно контроля

Наличие угнетающего эффекта на рост стебля редиса у образцов КДО при хорошо развитой корневой системе, на наш взгляд, в больше степени было результатом нехватки питательных веществ, а не присутствия фитотоксикантов в составе образцов КДО. В ряде работ было установлено низкое содержание азота в составе КДО короотвалов [5]. Азот непосредственно отвечает за развитие надземной части растения.

Основываясь на результатах всхожести семян и замерах длины корня редиса, можно сделать вывод, что у пяти образцов КДО одновременно наблюдался фитотоксический эффект по обоим контрольным показателям, а у двух образцов – только по всхожести

семян. Как результат эксперимента, наличие фитотоксичности установлено у 7 из 24 исследованных образцов КДО. Необходимо дополнительно определить содержание питательных элементов в образцах КДО, при дефиците которых подтвердится их лимитирующее действие на развитие надземной части редиса.

Список литературы

1. Максимов А.Ю., Максимова Ю.Г., Шилова А.В. Исследование свойств и микробиологического состава кородревесных отходов короотвала г. Краснокамска // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2014. – № 4. – С. 98–112.
2. Кулябин А.Ф., Слюсарь Н.Н. Лабораторные исследования процесса компостирования отходов короотвалов целлюлозно-бумажной промышленности // Химия. Экология. Урбанистика. – 2021. – Т. 1. – С. 162–165.
3. ФР 1.39.2006.02264. Методика выполнения измерений всхожести семян и длины корней проростков высших растений для определения токсичности техногенно-загрязненных почв.
4. ГОСТ Р ИСО 18763-2019. Качество почвы. Определение токсического воздействия загрязняющих веществ на всхожесть и рост на ранних стадиях высших растений.
5. Курило О.Н., Ширинкина Е.С., Вайсман Я.И. Способ использования ресурсного потенциала коры длительного срока хранения // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2014. – № 1. – С. 79–87.

Об авторах

Калинина Виктория Александровна – студентка кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: kalinina-v.99@bk.ru

Маргина Юлия Михайловна – инженер кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: makarova_u85@mail.ru

УДК 620.92

А.А. Калякина, С.Б. Чачина

СРАВНЕНИЕ КАЧЕСТВЕННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУЧЕННОГО БИОДИЗЕЛЯ ИЗ ОРГАНИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

Определена актуальность получения биодизельного топлива. Описаны методы исследования полученного топлива. Представлена сравнительная оценка полученных результатов с целью выявления лучшего органического сырья для получения биодизеля.

Ключевые слова: биодизельное топливо, биотопливо, возобновляемый источник энергии, органическое сырье.

A.A. Kalyakina, S.B. Chachina

COMPARISON OF THE QUALITATIVE CHARACTERISTICS OF THE OBTAINED BIODIESEL FROM DIFFERENT RAW MATERIALS

The description of the feedstock and the resulting biodiesel is given. The methods of investigation of the obtained fuel are described. The evaluation of the obtained results is presented.

Keywords: biodiesel, biofuels, renewable energy source, organic raw materials.

В настоящее время тема получения возобновляемых источников энергии является одной из наиболее динамично развиваемых. К возобновляемым источникам относится биотопливо, оно имеет большие преимущества перед другими видами топлива, т.к. является относительно дешевым и практически безвредным для окружающей среды. При правильном подходе биодизель может стать неисчерпаемым источником энергии [1].

Известны многие способы получения биодизельного топлива в зависимости от классификации по типу исходного сырья. К самому распространенному используемому сырью можно отнести сою, рапс, отходы сельского хозяйства, подсолнечное масло, водоросли, древесину [2].

Для исследований были использованы следующие объекты: отработанное подсолнечное масло и технический жир, водоросли. В качестве методов исследования использовали определение плотности, кинематической вязкости биодизеля вискозиметром Штабенгера. Также определялись показатели активной кислотности pH масла с содержанием в нем свободных жирных кислот с помощью лабораторного цифрового pH-метра.

Наиболее перспективным сырьем для получения биотоплива является отработанное подсолнечное масло (таблица).

Оценка полученных результатов

Показатель	Биодизель из отработанного подсолнечного масла	Биодизель из технических жиров	Биодизель из водорослей	ГОСТ Р 52368-2005 летнее топливо
Плотность при 15°С, кг/м³	837	843	828	820–845
Кинематическая вязкость при 20 °С, кг/м³	6,066	6,102	6,052	3,00–6,00
Кинематическая вязкость при 40 °С, кг/м³	4,502	4,573	4,512	2,00–4,50
Кислотность топлива	6,79	7,02	6,77	6,00–8,00
Цетановое число	53,0	52,4	51,7	Не менее 46,0

Известно, что наиболее важными характеристиками для топлива являются плотность, кинематическая вязкость, цетановое число [3].

Плотность топлива показывает возможность застывания топлива при низких температурах, а также влияет на энергетичность. При сгорании в цилиндре биодизеля из водорослей и отработанного подсолнечного масла будет выделяться больше энергии, а вероятность застывания топлива при низких температурах меньше, чем при использовании топлива из технических жиров.

Низкая кинематическая вязкость приводит к быстрому износу топливного насоса и форсунок, высокая же вязкость топлива неблагоприятно сказывается на топливоподводящей системе, приводя к трещинам головок форсунок и подтеканию топлива. Можно сделать вывод, что биодизель из технических жиров с большей вероятностью будет плохо влиять на топливоподводящую систему [4].

Цетановое число является показателем скорости сгорания топлива, все исследуемые топлива имеют хороший результат.

По органолептическим характеристикам топливо из отработанного масла занимает выигрышную позицию, т.к. имеет более однородную консистенцию и прозрачность. Данный биодизель, как и дизель из технических жиров, будет иметь наиболее низкую стоимость благодаря тому, что исходное сырье является отходом животноводческих ферм, бытовых отходов и также может быть извлечено из сточных вод [4].

Биодизель из водорослей имеет также достаточно неплохие показатели, и многие рекомендуют получать биотопливо из этого вида сырья, но для выращивания водорослей нужны большие затраты и благоприятный климат.

По результатам исследования наиболее перспективным сырьем является отработанное подсолнечное масло.

Список литературы

1. Получение биодизельного топлива: современные тенденции, проблемы и пути их решения / С.А. Нагорнов [и др.] // Вопросы современной науки и практики. Ун-т им. В.И. Вернадского. – 2009. – № 10 (24). – С. 55–60.

2. Девянин С.Н., Марков В.А., Семенов В.Г. Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей / Изд. центр ФГОУ ВПО МГАУ. – М., 2007. – 340 с.

3. Аблаев А.Р. Производства и применение биодизеля: справ. пособие. – М.: АПК и ППРО, 2006. – 80 с.

4. Инновационные технологии производства биотоплива второго поколения. / В.Ф. Федоренко [и др.]. – М.: РОСИНФОРМАГРОТЕХ, 2009. – 68 с.

Об авторах

Калякина Анастасия Анатольевна – студентка кафедры «Биотехнология, технология общественного питания и товароведение», Омский государственный технический университет, e-mail: kalakinaanastasia6@gmail.com

Чачина Светлана Борисовна – кандидат биологических наук, доцент кафедры «Биотехнология, технология общественного питания и товароведение», Омский государственный технический университет, e-mail: ksb3@yandex.ru

УДК 624.131.137

А.Г. Кислый, И.А. Мороз, В.В. Гуляева,
Ю.Г. Прохоров, А.В. Клевцова, С.А. Мареев

АНОДНОЕ ОКИСЛЕНИЕ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ГИДРОХИНОНА НА ГРАНУЛИРОВАННОМ ЭЛЕКТРОДЕ ИЗ СУБСТЕХИОМЕТРИЧЕСКОГО ОКСИДА ТИТАНА

Описан метод анодного окисления гидрохинона в водном растворе с использованием насыпного анода, выполненного из гранулированного субстехиометрического оксида титана Ti_4O_7. Представлены результаты процесса при различной плотности тока, зависимость значения ХПК раствора от времени и выход по току.

Ключевые слова: анодное окисление, субстехиометрический оксид титана, гидрохинон, очистка сточных вод.

A.G. Kislyi, I.A. Moroz, V.V. Guliaeva,
Yu.G. Prokhorov, A.V. Klevtsova, S.A. Mareev

ANODIC OXIDATION OF HYDROQUINONE AQUEOUS SOLUTION USING A Ti_4O_7 GRANULATED ANODE

This abstract contains information about anodic oxidation of hydroquinone aqueous solution using a particle electrode made of granules of substoichiometric titanium oxide Ti_4O_7. Results of the oxidation process at different current densities, time dependences of chemical oxygen demand (COD) of solutions and integral current efficiency are presented.

Keywords: anodic oxidation, substoichiometric titanium oxide, hydroquinone, wastewater treatment.

В связи с проблемой загрязнения природных вод вследствие антропогенного воздействия человека остро стоит проблема очистки воды от различного рода загрязнений. Особое место занимают бионеразлагаемые органические вещества, для удаления которых применяют такие методы очистки, как фильтрация, ультрафильтрация, обратный осмос и т.д. В последние годы широкое рас-

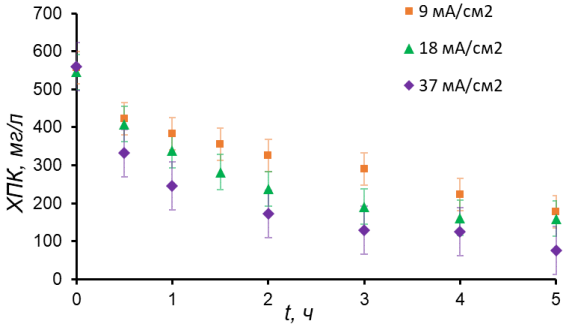
пространение получают методы, основанные на процессах электрохимического окисления, к которым относится анодное окисление [1]. Данный метод применим для очистки сточных вод, а также для подготовки питьевой воды.

Метод анодного окисления основан на процессе электрохимического образования на поверхности анода высокоактивных частиц – радикалов, которые впоследствии вступают в химическую реакцию с молекулами органического загрязнителя с образованием простых неорганических соединений (CO_2, H_2O и др.) [2].

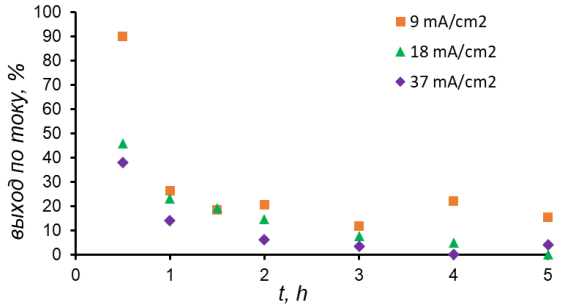
Материал анода влияет на эффективность процесса окисления, поэтому создание новых материалов, оптимизация формы и структуры анода является перспективным направлением. Электроды, используемые в процессе анодного окисления, делят на две основные группы: активные (IrO_2, RuO_2, Pt и др.) с низким значением потенциала реакции выделения кислорода и неактивные (SnO_2, PbO_2, BDD, Ti_4O_7 и др.) с высоким значением. Аноды на основе Ti_4O_7 хорошо зарекомендовали себя, благодаря высокой электропроводности и относительно низкой стоимости. Электроды с пористой структурой более эффективны в сравнении с плоскими электродами, но процесс их производства сложен, что значительно удорожает готовый анод. Применение гранулированного Ti_4O_7 вместо пористого может стать достойной альтернативой.

В этом исследовании в качестве анода был использован гранулированный субстехиометрический Ti_4O_7 с размером гранул 1–3 мм. Эксперимент проводился с водными растворами гидрохинона (ХПК = 600 мг/л) в проточной электрохимической ячейке в гальваностатических условиях при различных плотностях тока i = 9, 18, 37 мА/см^2. Данное вещество было выбрано, поскольку гидрохинон является наиболее распространенным промежуточным веществом при окислении многих ароматических загрязнителей, таких как парацетамол [3]. Значение ХПК исследуемого раствора определялось по методике, приведенной в ГОСТ 31859-2012. При плотности тока 37 мА/см^2 удалось добиться 90 % удаления органики за 5 ч

эксперимента. При уменьшении плотности тока эффективность удаления падает, но выход по току для процесса растет: так, для плотностей тока $i = 37$, 18, 9 мА/см^2 выход по току соответственно составил 9, 12, 25 %. Для всех экспериментов выход по току в начальном участке высок. Следует отметить, что начальное значение ХПК было немного меньше 600 мг/л, что может говорить о частичной сорбции гидрохинона на поверхности Ti_4O_7. При плотности тока 9 мА/см^2 выход по току в начале эксперимента приближается к 100 % (рисунок). Предполагается, что причиной является быстрая адсорбция гидрохинона на поверхности анода.



а



б

Рис. Зависимость ХПК раствора гидрохинона (*а*) и выхода по току (*б*) от времени при различной плотности тока (значения приведены на графиках)

Дальнейшая оптимизация процесса анодного окисления позволит значительно удешевить процесс и сделать его применение более оправданным с точки зрения стоимости материала анода и энергозатрат, что значительно снизит экологический ущерб от сточных вод с высоким содержанием органических отходов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, РНФ, проект № 22-79-10177.

Список литературы

1. Anodic Oxidation of Organic Pollutants: Anode Fabrication, Process Hybrid and Environmental Applications / Z. Hu [et al.] // Curr. Opin. Electrochem. – 2021. – Vol. 26. – P. 100659.

2. Wastewater Treatment by Anodic Oxidation in Electrochemical Advanced Oxidation Process: Advance in Mechanism, Direct And Indirect Oxidation Detection Methods / Rui Fu [et. al.] // Chemosphere. – 2023. – Vol. 331. – P. 136993.

3. Porous Magnéli Phase Obtained from 3D Printing for Efficient Anodic Oxidation Process / J. Ma, [et al]. // Chemical Engineering Journal. – 2023. – Vol. 456. – P. 141047.

Об авторах

Кислый Андрей Григорьевич – студент магистратуры кафедры «Физическая химия», факультет химии и высоких технологий, Кубанский государстенный университет, e-mail: andrey.kislyi@ mail.ru

Мороз Илья Александрович – аспирант кафедры «Аналитическая химия», факультет химии и высоких технологий, Кубанский государственный университет, e-mail: ilya__moroz@mail.ru

Гуляева Вера Владимировна – студентка бакалавриата кафедры «Физическая химия», факультет химии и высоких технологий, Кубанский государственный университет, e-mail: vera_gulyaeva_2002@mail.ru

Прохоров Юрий Геннадьевич – студент бакалавриата кафедры «Физическая химия», факультет химии и высоких технологий, Кубанский государственный университет, e-mail: yuriprohor@gmail.com

Клевцова Анастасия Викторовна – кандидат сельскохозяйственных наук, инженер НИЧ, Кубанский государственный университет, e-mail: nastya-k1314@yandex.com

Мареев Семен Александрович – кандидат химических наук, доцент кафедры «Физическая химия», факультет химии и высоких технологий, Кубанский государственный университет, e-mail: mareev-semyon@bk.ru

УДК 504.064.4

В.К. Коняев, С.В. Полыгалов, Г.В. Ильиных

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ОСТАТОЧНЫХ ПРИМЕСЕЙ В ХЛОПЬЯХ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА

Приведены основные требования к качеству ПЭТ-хлопьев ГОСТа и разных компаний, как зарубежных, так и отечественных. Выполнена оценка качества ПЭТ-хлопьев в зависимости от собираемого потока (смешанный и раздельный сбор пластиковых отходов) и проведено сравнение между этими потоками. Определены основные особенности проведения экспресс-метода определения содержания остаточных примесей в ПЭТ-хлопьях.

Ключевые слова: переработка ПЭТ-бутылок, ПЭТ-хлопья, требования к ПЭТ-хлопьям.

V.K. Konyaev, S.V. Polygalov, G.V. Il`inykh

DETERMINATION OF THE CONTENT OF RESIDUAL IMPURITIES IN POLYETHYLENE TEREPHTHALATE FLAKES

The article presents the main quality requirements for PET-flakes GOST and various companies, both foreign and Russian. The quality of PET flakes was assessed depending on the collected flow (mixed collection of waste and separate collection of plastic waste) and a comparison was made between these flows. The main features of the express method for determining the content of residual impurities in PET-flakes are determined.

Keywords: PET-bottle recycling, PET-flakes, requirements for PET flakes.

Полиэтилентерефталат (ПЭТ)-бутылки являются ценным вторичным сырьем в системе обращения с отходами, т.к. из них можно повторно получить новую продукцию. Например, в Китае переработанные бутылки используются в качестве волокна [1], а в европейских странах в качестве пленок и новых бутылок [2]. Для получения новой продукции к сырью предъявляются разные требования: для ПЭТ-бутылок более жесткие требования (например, характеристическая вязкость 0,75–0,85 дл/г), чем для ПЭТ-волокон (характеристическая вязкость составляет 0,40–0,70 дл/г). Причем важно отметить,

что требования к качеству ПЭТ-хлопьев устанавливаются идентичными стандартами (ГОСТ Р 57057 – 2016 и ISO 12418-2:2012), в которых приведены следующие показатели: форма, максимальный размер частиц, содержание мелких частиц, цвет, содержание воды, содержание поливинилхлорида, содержание полиолефина, индекс текучести расплава по массе, характеристическая вязкость, щелочность, фильтруемость, содержание других остаточных примесей. Однако в этих стандартах перечислены только требования и методики определения качества ПЭТ-хлопьев, но не указаны числовые значения, поэтому компании-переработчики и компании-производители устанавливают самостоятельно требования к качеству ПЭТ-хлопьев (табл. 1), т.к. несоответствующее качество может привести к снижению качества продукции или браку.

Таблица 1

Требования к качеству ПЭТ-хлопьев

Показатель	Значения		
	ООО «ПВЗ Пларус» [3]	ООО «ЭКОТЕХНОЛОГИИ» [4]	CWC [5]
Характеристическая вязкость, дл/г	0,72–0,78	0,79–0,80	0,72–0,74
Содержание влаги, %	не более 0,7	не более 1	не более 0,6
Размер хлопьев, мм	3–14	8–25	9,5–12,7
Содержание клея, мг/кг	не более 10	–	не более 20
Содержание ПВХ, мг/кг	не более 25	0–0,05 (%)	не более 10–25
Содержание полиэтилена, полипропилена, мг/кг	не более 50	не более 0,05 %	не более 10
Содержание металла, мг/кг	не более 20	–	не более 8–10

Для достижения таких требований требуется правильно организовать процесс подготовки и переработки ПЭТ-бутылок. В типичную технологию переработки ПЭТ-бутылок включены следующие этапы: удаление посторонних предметов, дробление, хо-

лодная мойка, горячая мойка, сушка, экструзия, грануляция, кристаллизация, поликонденсация.

Важно отметить, что не только подготовка ПЭТ-бутылок к переработке может повлиять на качество ПЭТ-хлопьев, но и исходный поток ПЭТ-бутылок. Так, в Германии для повышения качества входящего потока ПЭТ используют такие системы сбора бутылок, как депозитная система, система многоразовой упаковки и Green Dot [6]. Поэтому в рамках данного исследования были подготовлены пробы ПЭТ-хлопьев из:

1) потока смешанных твердых коммунальных отходов (ТКО);
2) потока раздельно собранных пластиковых отходов.

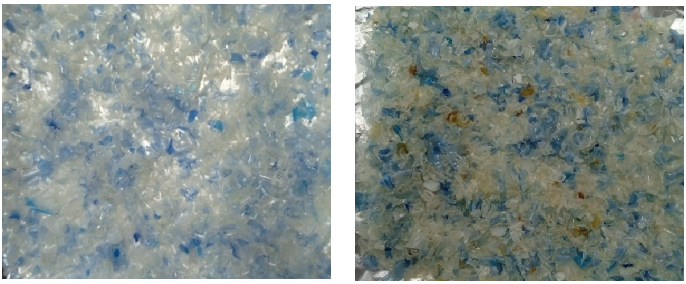
Отличие потоков заключается в чистоте бутылок и посторонних примесей. Так, ПЭТ-бутылки в потоке раздельно собранных отходов будут чище из-за меньшего контакта с продуктами питания на этапах сбора, хранения и транспортирования.

Цель исследования: определение содержания остаточных примесей в ПЭТ-хлопьях и оценка качества ПЭТ-хлопьев в зависимости от исходной системы сбора отходов.

Для качества ПЭТ-хлопьев были выполнены исследования по ГОСТ Р 57057–2016 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Характеристики вторичных полиэтилентерефталатов». Для этого были взяты пробы по 1000 г, которые были помещены в алюминиевом контейнере в печь с принудительной циркуляцией воздуха (муфельная печь Ronde KE 100 N), предварительно нагретую до 220 ºС. Пробы выдерживали в печи при этой температуре один час. Кроме этого, перед загрузкой в печь подготовленные пробы предварительно нагревали, чтобы избежать помутнения. В качестве примера на рис. 1, *а* представлена проба ПЭТ-хлопьев из потока смешанных ТКО. По истечению времени пробы доставали из печи и охлаждали до комнатной температуры. Проба ПЭТ-хлопьев из потока смешанных ТКО после термической обработки представлена на рис. 1, *б*.

Далее пробы были рассортированы на ПЭТ-хлопья, обугленные частицы, цветные, частично разложившиеся и оплавленные частицы, отличающиеся желтым цветом, а также частицы с желто-корич-

невыми вкраплениями. Отделенные частицы были взвешены на лабораторных весах ГОСМЕТР ВЛ-224В. На рис. 2 представлены отделенные частицы от основного потока ПЭТ-хлопьев.



а *б*

Рис. 1. Проба ПЭТ хлопьев из потока смешанных ТКО:
до термической обработки (*а*); после термической обработки (*б*)

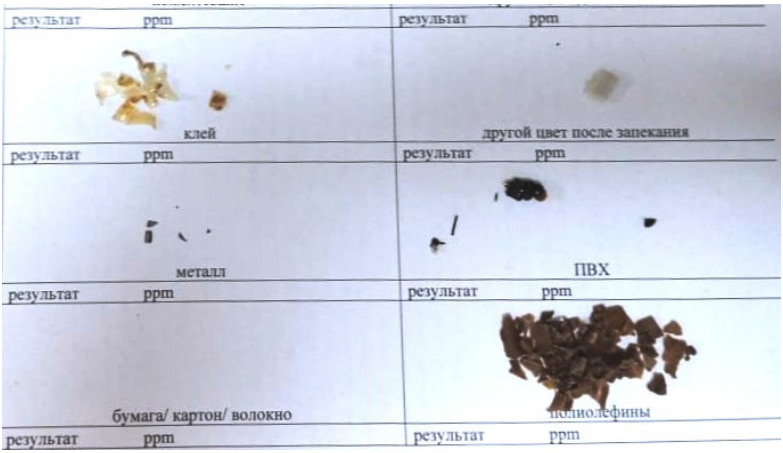


Рис. 2. Остаточные примеси в пробе ПЭТ-хлопьев

После термической обработки в пробе ПЭТ-хлопьев были обнаружены: ПВХ (темные или черные частицы), полиолефины (коричневые, темные частицы), ПЭТ-хлопья цветные (мутные и цветные частицы), ПЭТ-хлопья с желто-коричневыми вкрапления-

ми (остатки клея на поверхности ПЭТ-хлопьев). Общие результаты экспериментов для разных проб представлены в табл. 2.

Таблица 2

Содержание остаточных примесей в ПЭТ-хлопьях

Показатели	Значения	
	Проба ПЭТ-хлопьев из потока смешанных отходов	Проба ПЭТ-хлопьев из потока раздельно собранных отходов
Содержание клея, мг/кг	2830	1640
Содержание ПВХ, мг/кг	649	23
Содержание полиолефинов, мг/кг	9660	6370

Из табл. 2 видно, что содержание примесей в пробе ПЭТ-хлопьев из потока раздельно собранных отходов ниже по сравнению с пробой ПЭТ-хлопьев из потока смешанных отходов, что будет сказывается на качестве ПЭТ-гранул, поэтому ПЭТ-бутылки при раздельном сборе чище и требуют меньше подготовки для мойки и удаления посторонних примесей. Однако полученные результаты значительно превышают требования, установленные компаниями. Это может быть связано с несколькими причинами: во-первых, пробы недостаточно подготовлены и не соотносятся с реальными условиями переработки ПЭТ-бутылок; во-вторых, при экспресс-методе оценка производится визуально (на глаз), что может сказываться на превышении содержания остаточных примесей в ПЭТ-хлопьях. Кроме этого, условия эксперимента (температурный режим, выдержка пробы в печи, принудительная циркуляция воздуха, удаление лишней влаги с поверхности ПЭТ-хлопьев и т.п.) при определении содержания остаточных примесей в ПЭТ-хлопьях следует тщательно проверять экспресс-методами.

Список литературы

1. Керницкий В.И., Жир Н.А. Переработка отходов полиэтилентерефталата // Полимерные материалы. – 2014. – № 8. – С. 11–21.

2. Мымрин В.Н. Переработка отходов полиэтилентерефталата // Полимерные материалы. – 2013. – № 9. – С. 22–29.

3. Требования к бесцветным хлопьям ПЭТФ для производства гранулята / ООО «ЗПП «Пларус». – 1 с.

4. Технические характеристики. Вторичное ПЭТ-сырье: чистые ПЭТ-хлопья / ООО «ЭкоТехнологии». – 1 с.

5. CWC. Best Practices in PET Recycling. – 7 p.

6. Snell1 H., Nassour A., Nelles M. Qualitative comparison of polyethylene terephthalate flakes from various collection systems in Germany // Waste Management & Research. – 2017. – Vol. 35 (2). – P. 163–171.

Об авторах

Коняев Вадим Константинович – студент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: vadim100402@gmail.com

Полыгалов Степан Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: polyste17@mail.ru

Ильиных Галина Викторовна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: galina.perm.59@yandex.ru

УДК 631.8; 631.95

А.И. Косухина, А.Г. Старостин

ПРОБЛЕМА НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СТОЧНЫХ ВОД ЖИВОТНОВОДСТВА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ПУТИ ЕЕ РЕШЕНИЯ

Развитие сельского хозяйства приводит к росту поголовья скота, содержащегося в молочных и свиноводческих хозяйствах, на птицефабриках, а в дальнейшем и к росту объема стоков. Особого внимания заслуживает негативное воздействие стоков животноводства на окружающую среду в процессе удаления, накопления, хранения и последующего использования. Рассмотрена проблема негативного влияния животноводческих стоков на окружающую среду, приведены данные о существующих на сегодняшний день способах утилизации, хранения и переработки стоков и предложен способ переработки данного вида стоков в органоминеральное удобрение. Целью исследования является выявление возможности утилизации стоков животноводства посредством переработки их в органоминеральное удобрение и, как следствие, снижение экологической нагрузки сельскохозяйственных предприятий.

Ключевые слова: утилизация, стоки, животноводство, навоз, экология, экологическая нагрузка, удобрение, магний аммоний фосфат, струвит.

A.I. Kosukhina, A.G. Starostin

THE PROBLEM OF NEGATIVE IMPACT OF LIVESTOCK EFFLUENTS ON THE ENVIRONMENT AND POSSIBLE SOLUTIONS

Trends in the development of agriculture lead to an increase in the number of livestock kept in poultry farms, dairy and pig farms, which will further lead to an increase in the volume of effluents. The negative impact of livestock effluents on the environment in the process of disposal, accumulation, storage and subsequent use deserves special attention. In this paper, the problem of the negative impact of livestock effluents on the environment is considered, data are given on the currently existing methods for the disposal, storage and processing of effluents and a method for processing this type of effluent into organic and mineral fertilizers is proposed. The purpose of the study is to identify the possibility of utilizing livestock effluents by processing them into organic and mineral fertilizers and, as a result, reducing the environmental burden of agricultural enterprises.

Keywords: recycling, wastewater, animal husbandry, manure, ecology, environmental load, fertilizer, magnesium ammonium phosphate, struvite.

Сельское хозяйство является активно развивающейся отраслью, а также одним из сегментов, формирующих экономику страны. В то же время тенденции развития приводят и к росту поголовья скота, содержащегося в молочных и свиноводческих хозяйствах, на птицефабриках, что в дальнейшем приведет к росту объема стоков.

Основным загрязняющим компонентом животноводческих стоков является навоз, и его сброс в природные воды может вызвать массовый мор рыбы и значительно нарушить химический и биологический баланс водоемов.

Согласно Федеральному закону от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [1], к основным видам негативного воздействия на окружающую среду животноводческих объектов относятся:

– загрязняющие вещества, выбрасываемые в атмосферу;

– сбросы загрязняющих веществ и других веществ и микроорганизмов в различные водные объекты;

– загрязнение почвы;

– сброс отходов производства и потребления.

Особого внимания заслуживает негативное воздействие стоков животноводства на окружающую среду в процессе удаления, накопления, хранения и последующего использования. Значительное выделение аммиака в атмосферу из стоков животноводства и навоза без обработки влияет на парниковый эффект и, согласно руководящему документу Генеральной Ассамблеи ООН – ECE/CEP/2016/L.3, подлежит сокращению эмиссии. Сточные воды также содержат неорганические вещества: азот, фосфор, калий, цинк, марганец, медь, кобальт и другие соединения. Кроме того, существуют патогенные микроорганизмы, вызывающие заболевания у животных и человека.

Наибольший объем органических отходов поступает от содержания крупного рогатого скота. В статье [2] приводится следующая статистика: в среднем от одной птицефабрики ежегодно поступает от 35 до 83 тыс. т пометной массы и свыше 400 тыс. м^3 сточных вод с повышенной концентрацией органических компо-

нентов. Одна ферма с хозяйством 4,5 тыс. голов КРС в год дает 175 тыс. т навозных стоков. А свинокомплекс в сутки поставляет около 400 м³ навозных стоков.

Проблемные аспекты рассматриваются в статье В.Н. Афанасьева [3]. Автор отмечает, что потери полезных для растений элементов, которые составляют 70 % по азоту и 40–50 % по фосфору и калию, происходят из-за вымывания дождями и улетучивания аммиака в атмосферу. Это приводит к перерасходу внесения органического удобрения, недобору урожая и негативному влиянию, наносимому окружающей среде.

На основе рассмотренных источников были отмечены как высокоперспективные две технологии переработки побочных продуктов животноводства – подстилочное содержание животных и активная биоферментационная переработка. Тем не менее такие способы использования являются нерациональным и из-за высокой стоимости, поэтому разработка технологии получения комплексных органоминеральных удобрений из животноводческих стоков, содержащих такие элементы, как азот и фосфор в количестве, необходимом для благоприятного роста растений и регенерации плодородных свойств почвы, является актуальной и перспективной для агропромышленной отрасли.

В статье [4] на основе анализа научной и патентной литературы были рассмотрены основные методы очистки сточных вод: химические, биологические и электрохимические, плюсы и минусы всех методов. Подводя итог, авторы отмечают, что на данный момент наибольшим потенциалом с экономической и технической точек зрения обладает химический метод выделения аммонийного азота с получением магний аммоний фосфата.

В рамках работы «Оценка возможности использования струвита, осажденного из бытовых сточных вод, в качестве альтернативного источника фосфорных удобрений» [5] Амандой Р. Берд была выполнена оценка возможности извлечения фосфора путем осаждения струвита на очистных сооружениях сточных вод. На основании результатов своей работы автор делает вывод, что использование осажденного струвита на очистных сооружениях вместо химического осаждения

и в сочетании с системами улучшенной биологической очистки сточных вод позволяет добиться высокой степени извлечения струвита.

В заключение отметим, что одной из важнейших проблем сельского хозяйства являются побочные продукты животноводства, а именно их количество, способы накопления, хранения и применения, которые не обеспечивают получения растениями необходимого количества питательных веществ, а также оказывают негативное влияние на окружающую среду. Решением данной проблемы может стать разработка технологии получения органоминерального азотофосфорного удобрения. Хорошо известно, что для получения органоминеральных удобрений применяется органическая составляющая побочных продуктов, например обезвоженный помет, который подвергается сушке и дальнейшему гранулированию, а соединения, содержащие азот и фосфор, извлекаются при очистке жидкой части побочных продуктов. Примером такого соединения может служить струвит (магний аммоний фосфат), выделение которого возможно из животноводческих стоков.

Внедрение данной технологии выделения струвита с последующим использованием в качестве компонента органоминерального удобрения снизит экологическую нагрузку за счет использования побочных продуктов животноводства и пролонгации действия удобрения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Пермского научно-образовательного центра «Рациональное недропользование», 2023 г.

Список литературы

1. Об охране окружающей среды (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2022): Федер. закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред. от 26.03.2022).

2. Загоровская В. Навозная дилемма: самый актуальный вопрос для животноводов – что делать с отходами // Агротехника и технологии. – 2017. – № 1–2. – С. 46–49.

3. Афанасьев В.Н. Анализ состояния и пути снижения экологической нагрузки сельскохозяйственного производства на природную среду // АгроЭкоИнженерия. – 2003. – № 75. – С. 4–14.

4. Способы получения струвита из сточных вод / А.А. Яковлева [и др.] // Химия. Экология. Урбанистика: сб. материалов всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Пермь: Изд-во ПНИПУ. – 2019. – С. 474–478.

5. Amanda R. Bird Evaluation of the Feasibility of Struvite Precipitated from Domestic Wastewater as an Alternative Phosphorus Fertilizer Resource // Abstract of Master's Project. San Francisco. – 2015. – 78 p.

Об авторах

Косухина Анастасия Игоревна – магистрант кафедры «Химические технологии», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: ankosukhina@yandex.ru

Старостин Андрей Георгиевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Химические технологии», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: starostin26@yandex.ru

УДК 502/504

М.Ю. Лузина, В.О. Шестакова, Е.С. Белик

МИКРОПЛАСТИК В КОСМЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВАХ

Проанализирована проблема загрязнения окружающей среды микропластиком, представлен анализ косметических средств: скраб для тела Coffee shower chocolate, ежедневный скраб от черных точек Clean&Clear и корейский мини-скраб для лица Enjoy mini pore scrub на содержание микропластика.

Ключевые слова: отходы, микропластик, косметические средства.

M.Yu. Luzina, V.O. Shestakova, E.S. Belik

MICROPLASTICS IN COSMETICS

The paper considers the problem of environmental pollution with microplastics, presents an analysis of cosmetics: body scrub Coffee shower chocolate, daily scrub from black dots Clean&Clear and Korean mini facial scrub Enjoy mini pore scrub for the content of microplastics.

Keywords: waste, microplastics, cosmetics.

Пластмассы нашли широкое применение благодаря своим свойствам: долговечности, легкости, удобству в использовании и т.д. Соответственно, объем пластиковых отходов растет как в мире, так и в России. Так, например, по данным Минпромторга России, ежегодно около 2 млн т пластика попадает на свалки и в окружающую среду, и только 17 % полипропилена, 12 % поливинилхлорида, 12 % полистирола, 12 % термопластика становится вторсырьем [1].

Микропластик – это пластик различного вида (термопластичный, термореактивный или пластмассы с высокоэластичными свойствами), образующийся в результате его фрагментации на частички размером менее 5 мм под действием условий окружающей среды (температура, влажность и т.д.), а также механического воздействия [2].

Микропластик обладает свойством накапливать пестициды, тяжелые металлы, переносит болезнетворные микробы, попадает по пищевым цепочкам в организм рыб, птиц и других животных. При попадании микропластика в организм человека нарушаются репродуктивная и эндокринная функции [3]. Большой интерес представляет обнаружение микропластика не только в объектах окружающей среды, продуктах питания, но и в товарах, например в косметических средствах, а также определение допустимых значений микропластика, не оказывающих негативных воздействий на человека.

Целью нашей работы является определение наличия микропластика и составление рекомендаций по использованию современных косметических средств.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: проанализирована проблема образования и влияния микропластика на окружающую природную среду и человека; определены объекты исследования – часто используемые косметические средства, а также проведен микроскопический анализ на наличие микропластика в этих средствах; составлены рекомендации по использованию косметических средств.

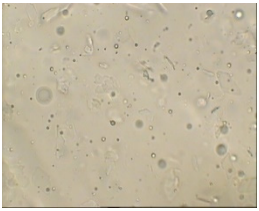
Для проведения экспериментальных исследований было выбрано три косметических средства – часто используемые для лица и тела, а именно: скраб для тела Coffee shower chocolate, ежедневный скраб от черных точек Clean&Clear и корейский мини-скраб для лица Enjoy mini pore scrub. Характеристика объектов исследования представлена в таблице.

В скрабе образца № 1 (рис. 1, *а*) находится крымская розовая садочная соль, каменная садочная соль, определены по составу и подобию строения соли $NHCO_3$ (рис. 2, *а*, *б*). В скрабе № 2 не оказалось микропластика, было достаточное количество бикарбоната натрия, что следует из инструкции скраба и многочисленных пузырьков CO_2. Для подтверждения был проанализирован порошкообразный $NaHCO_3$, а также измельченный (рис. 2, *а, б*). Таким образом, подтвердилось присутствие соды в скрабе № 2. Микропластик обнаружен в образце № 3, что указано производителем на упаковке.

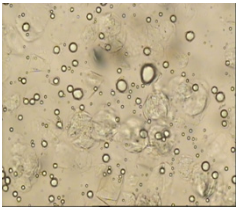
Характеристика объектов исследования

Название / бренд / изготовитель	Состав	Стоимость / стоимость 3 г скраба
Образец № 1 Скраб для тела Coffee shower chocolate / One care / Россия	Крымская розовая садочная соль, каменная садочная соль, вода очищенная, молотый кофе сорта Арабика, органическое масло ши, масло какао, масло бразильского ореха, масло камелии японской, протеины пшеницы, цетеариловый спирт, олефинсульфонат натрия C14-C16, кокамидопропилбетаин, PEG-7 глицериновый кокосовый орех, децил глюкозид, парфюмированная вода, CL 77492, CL 77491, метилхлоризотиазолинон и метилизотиазолинон, динатриевая ЭДТА	77р (175 г) Fix Price / 6,82 руб.
Образец № 2 Ежедневный скраб от черных точек / Clean&Clear / Франция	Вода, цетиловый спирт, стеариловый эфир PPG-15, полиэтилен, микрокристаллическая Cera, стеарет-21, салициловая кислота, полисорбат 60, пантенол, экстракт цветков ромашки обыкновенной, гель алоэ барбадосского, бисаболол, эфиры жожоба, цетилфосфат калия, пропиленгликоль, глюкоза, бутиленгликоль, ксантановая камедь, ментил лактат, BHT, парфюмерия, CI 77510	430 р (150 мл) ЯндексМаркет / 1 руб.
Образец № 3 Корейский мини-скраб для лица Enjoy mini pore scrub / Ayoume / Южная Корея	Бикарбонат натрия, вода, глицерин, диоксид кремния, микрокристаллическая целлюлоза, гидратированный диоксид кремния, целлюлозная камедь, глицерилкоат ПЭГ-7, гидрогенизированное касторовое масло ПЭГ-60, метилкоилтаурат натрия, бензоат натрия, ментол, отдушка, динатриевая ЭДТА, лимонная кислота, салициловая кислота, глюконолактон	1150 руб пакетик (Ecoasia) / 40 руб.

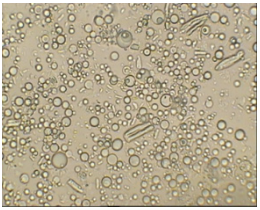
Микроскопический анализ объектов исследования проводился с помощью микроскопа Carl Zeis при разном увеличении. Результаты микроскопического анализа косметических средств представлены на рис. 1, *а–в*.



а
Образец № 1

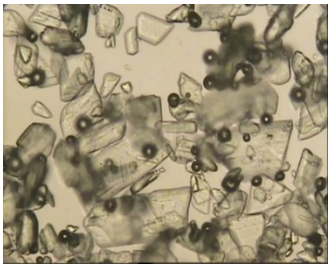


б
Образец № 2

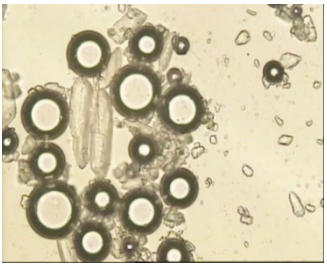


в
Образец № 3

Рис. 1. Микроскопический анализ косметических средств (увеличение×600)



а
бикарбонат натрия
(крупный образец)



б
бикарбонат натрия
(измельченный образец)

Рис. 2. Микроскопический анализ бикарбоната натрия (увеличение×800)

По составу скрабов можно сказать, что микропластик содержится в скрабе Clean&Clear в виде полиэтилена. В скрабах Coffee shower chocolate и Enjoy mini pore scrub микропластик отсутствует, вместо него натуральные компоненты: крымская розовая садочная соль, каменная садочная соль, молотый кофе сорта Арабика – образец № 1, бикарбонат натрия – образец № 3. По стоимости самым дорогим является корейский мини-скраб для лица Enjoy mini pore scrub, а самым дешевым Clean&Clear. Из этого можно сделать вывод, что качество скраба зависит от его стоимости.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что производители брендов One care и Ayoume являются создателями наиболее качественных средств, не содержащих микропластик, что подтверждается микроскопическими исследованиями.

Рекомендуем внимательно читать состав и не использовать косметические средства, в составе которых содержатся компоненты, начинающиеся с Poly и Acry, Nylon, Carbomer и Ethylen – пластиковые порошки, которые являются абразивным заменителем натуральных компонентов. Для поддержания красоты и здоровья лучше делать самодельные скрабы на основе натуральных ингредиентов, таких как соль, мед, кофе, глина и др.

Список литературы

1. Greenpease_Отчет по пластику, 2020 [Электронный ресурс]. – URL: https://greenpeace.ru/wp-content/uploads/2020/03/Greenpeace-plastic-pollution-report.pdf (дата обращения: 12.03.2023).

2. Загрязнение микропластиком природных водоемов: концентрации, риски и методы исследований / Т.А. Ластовина, С.С. Галушка, Е.Р. Бескопыльный [и др.] // Труды Южного научного центра Российской академии наук. – 2020. – Т. 8. – С. 237–255.

3. Кизеев А.Н., Сюрин С.А. Микропластик как фактор риска для функционирования арктических водных экосистем и здоровья человека // Материалы I Всеросс. конф. с междунар. участием по загрязнению окружающей среды микропластиком «Micro Plastics Environment-2022» (MPE-2022), 02–06 августа 2022 г., п. Шира, Хакасия / общ. ред. Ю.А. Франк. – Томск: Изд-во Том. гос. ун-та, 2022. – С. 33.

Об авторах

Лузина Мария Юрьевна – студентка кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: luzina.masha@bk.ru

Шестакова Валерия Олеговна – студентка кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: 0907ler@gmail.com

Белик Екатерина Сергеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: zhdanova-08@mail.ru

УДК 678.057.74

А.П. Лукьяненко, В.А. Сомин

РЕШЕНИЕ ВОПРОСОВ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПЛАСТИКОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

Рассматриваются вопросы сокращения потребления первичного полимерного сырья при производстве пластмассовых изделий. Охарактеризованы мероприятия, позволяющие сократить количество отходов и повысить уровень экологической безопасности продукции. Приводятся результаты производственных испытаний различных рецептур, в том числе с инертной добавкой и вторичным сырьем при получении товарной продукции на литьевой машине.

Ключевые слова: ресурсосберегающие технологии, пластиковые изделия, отходы, рециклинг, инертные добавки.

A.P. Lukyanenko, V.A. Somin

SOLVING THE ISSUES OF RESOURCE SAVING IN THE PRODUCTION OF PLASTIC PRODUCTS

The issues of reducing the consumption of primary polymeric raw materials in the production of plastic products are considered. Measures that allow reducing the amount of waste and increasing the level of environmental safety of products are characterized. The results of production tests of various formulations, including those with an inert additive and secondary raw materials, are presented when obtaining commercial products on an injection molding machine.

Keywords: resource-saving technologies, plastic products, waste, recycling, inert additives.

Одной из наиболее популярных в настоящее время технологий, позволяющей производить пластмассовые изделия сложной формы с высокой степенью соответствия заданным размерам, является метод литья под давлением. Как показывает анализ производства продукции в данной сфере, данным методом производится более трети от общего объема изделий из полимерных материалов [1]. Однако широкое использование данной технологии сопряжено с рядом сложностей, одной из которых является образование отходов,

не поддающихся биологическому разложению в условиях окружающей среды. В связи с этим целесообразным является, во-первых, максимально возможное сокращение использования первичного сырья и, во-вторых, возможность включения в состав рецептуры смесей инертных добавок. Последние можно подбирать таким образом, чтобы они представляли собой неорганические компоненты, что позволило бы повысить степень углеродной нейтральности получаемой продукции.

К сокращению количества образующихся отходов при производстве пластмассовых деталей может привести выполнение следующих мероприятий:

– равномерное распределение производимых изделий по оборудованию, что позволит уменьшить потери сырья при переходах с одного изделия на другое;

– совершенствование конструкции оснастки, выбор оптимального формующего инструмента (пресс-форм, дорнов, матриц и т.д.); частности, грамотный подбор высоты укладывания вплавляемой этикетки может снизить количество брака;

– поддержание оптимальной температуры в различных зонах печи и оптимизация режима переработки сырья позволит исключить его термодеструкцию и минимизировать количество бракованных изделий;

– снижение количества переходов с одного цвета на другой как при изготовлении деталей, так и при переработке отходов, при этом в случае необходимости перехода он должен производиться от более светлых цветов к темным;

– установка циклонов в дробильных отделениях для улавливания полимерной пыли от дробления отходов, что позволит перерабатывать уловленную пыль;

– организация работы оборудования в безостановочном цикле, что способствует сокращению потерь энергии на нагрев оборудования и в целом сокращению бракованных изделий [2, 3].

Литье под давлением применяют преимущественно для изготовления изделий из термопластов, при этом процесс осуществляется под давлением от 80 до 140 МПа на литьевых машинах

поршневого или винтового типа, имеющих высокую степень автоматизации. Давление, при котором происходит литье, зависит от вязкости расплава материала, конструкции литьевой формы, размеров литниковых систем и формы получаемых изделий.

Авторами был проведен эксперимент по снижению потребления исходного полимерного сырья в виде гранул при производстве пластмассовых изделий на одном из предприятий г. Барнаула. Для этого было предложено вводить инертную добавку в виде мела с его массовым содержанием от 3 до 15 % и одновременно произвести замену первичного сырья на вторичное в виде отходов, образующихся в результате дробления бракованных изделий. Норма расхода вторичного материала составила от 15 до 70 %. В эксперименте использовалась меловая добавка марки CALTECH с содержанием карбоната кальция около 80 %, остальную долю составляли модифицирующие добавки, в частности полипропилен и эластомеры.

Для проведения испытания была выбрана инжекционно-литьевая машина с усилием смыкания в 200 т. Выставленное усилие составляло 180 т, а пресс-форма для литья данной позиции имела шесть контуров охлаждения. Исследования показали, что литьевой режим станка при изменении рецептуры оставался в целом без изменений, а качество изделий соответствует эталонному образцу.

В результате проведения эксперимента было определено, что добавка мела более 70 % приводит к потере прочности изделия, непроливаемости на станке и плохому съему с пресс-формы. Вместе с тем литьевой режим станка при изменении рецептуры остается в целом без резких изменений, а качество изделий соответствует эталонному образцу, что позволило рекомендовать выбранные параметры процесса к выпуску в промышленную партию.

Подобранные технологические параметры позволят снизить усадку изделий, их себестоимость, а также сократить количество потребляемого исходного сырья в виде первичного пластика. Использование инертной меловой добавки позволит сделать изделия более углеродно нейтральными, а в целом производство – более экологичным.

Список литературы

1. ИТС 32-2017. Производство полимеров, в том числе биоразлагаемых. – М.: Бюро НДТ, 2017. – 417 с.

2. Косоруков И.А., Костылева В.М., Котова Т.В. Европейский опыт по наилучшим доступным тенхнологиям в производстве полимеров // Контроль качества продукции. – 2014. – № 7. – С. 43–48.

3. Виды отходов из пластика, их переработка и утилизация [Электронный ресурс]. – URL: https://delta-eco.ru/ (дата обращения 20.02.2023).

Об авторах

Лукьяненко Александр Павлович – аспирант кафедры «Химическая техника и инженерная экология», Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова, e-mail: ttertools@mail.ru

Сомин Владимир Александрович – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Химическая техника и инженерная экология», Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова, e-mail: vladimir_somin@mail.ru

УДК 628.356.3

Д.В. Мальцев, Е.В. Астраханцева, А.М. Непогодин

ПРИМЕР РАСЧЕТА АЭРОТЕНКА С ГЛУБОКИМ УДАЛЕНИЕМ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО НЕМЕЦКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Приведен пример расчета аэротенка для глубокого удаления биогенных элементов – азота и фосфора. Попадание очищенных стоков с высоким содержанием биогенных элементов приводит к эвтрофикации водоемов, поэтому современные условия диктуют необходимость глубокого удаления биогенных элементов.

Ключевые слова: сточные воды, очистка сточных вод, аэротенк.

D.V. Maltsev, E.V. Astrakhantseva, A.M. Nepogodin

EXAMPLE OF CALCULATION OF AN AEROTANK WITH DEEP REMOVAL OF BIOGENIC ELEMENTS USING GERMAN TECHNOLOGY

This paper provides an example of calculating an aerotank for deep removal of biogenic elements – nitrogen and phosphorus. The ingress of treated effluents with a high content of biogenic elements leads to eutrophication of reservoirs, therefore modern conditions dictate the need for deep removal of biogenic elements.

Keywords: waste water, wastewater treatment, aerotank.

В современных условиях очистка городских сточных вод с глубоким удалением биогенных элементов является очень важной и актуальной задачей. Согласно п. 9.1.10 СП 32.13330.2018 должна осуществляться биологическая очистка от соединений азота при эквивалентом числе жителей (ЭЧЖ) более 500 условных жителей, а также необходимо применять специальные методы удаления фосфора при ЭЧЖ более 5000 условных жителей. Существует несколько технологий расчета аэротенка с глубоким удалением биогенных элементов, у которых есть свои достоинства и недостатки [1–3]. Одним из примеров технологии расчета является методика,

применяемая в немецкой практике проектирования сооружений очистки сточных вод, которая рассмотрена ниже [4, 5].

Расчет выполнен исходя из следующих исходных данных: количество жителей в населенном пункте – 118 тыс. человек; суммарный суточный расход бытовых и производственных сточных вод – 29672 м^3/сут; концентрации загрязнений сточных вод:

$$C^{BB} = 299{,}11 \text{ мг/л}; C^{БПК5} = 267{,}86 \text{ мг/л};$$

$$C^{БПКполн} = 321{,}43 \text{ мг/л}; C^{N1} = 39{,}29 \text{ мг/л}; C^{P} = 8{,}04 \text{ мг/л};$$

$$C^{P-PO4} = 4{,}46 \text{ мг/л}; C^{N} = 52{,}23 \text{ мг/л}; C^{ХПК} = 535{,}71 \text{ мг/л}.$$

Требуемый объем аэротенка с глубоким удалением биогенных элементов определяется по формуле:

$$V_{BB} = \frac{M_{TS,BB}}{TS_{BB}} = \frac{96477{,}15}{3{,}8} = 25388{,}7 \text{ м}^3, \quad (1)$$

который состоит из объема для денитрификации, определяемый по формуле:

$$V_D = V_{BB} \cdot \frac{V_D}{V_{BB}} = 25388{,}7 \cdot 0{,}47 = 11932{,}7 \text{ м}^3, \quad (2)$$

где $\frac{V_D}{V_{BB}}$ – процент денитрификации, равный 0,47; и объема для нитрификации, определяемого по формуле

$$V_N = V_{BB} - V_D = 25388{,}7 - 11932{,}7 = 13456 \text{ м}^3. \quad (3)$$

где $M_{TS,BB}$ – требуемая масса активного ила, определяется по формуле;

$$M_{TS,BB} = t_{TS} \cdot \ddot{U}S_d = 8 \cdot 12059{,}64 = 96477{,}15 \text{ кг}, \quad (4)$$

где t_{TS} – возраст ила, равный 8 сут.; $\ddot{U}S_d$ – суточный прирост избыточного активного ила, определяемый по формуле:

$$\ddot{U}S_d = US_{d,C} + \ddot{U}S_{d,P} = 10896{,}5 + 1163{,}14 = \\ = 12059{,}64 \text{ кг/сут}, \quad (5)$$

где $US_{d,C}$ – суточный прирост избыточного ила при расщеплении углерода определяется по формуле:

$$US_{d.c.} = Q_{\text{сут}} \cdot \left(\frac{\frac{\frac{X_{CSB\text{inert}.ZB}}{1,33}}{1000} + \frac{\frac{X_{CSB.BM} + X_{CSB.\text{inert}.BM}}{0,92+1,42} + f_B \cdot X_{TS}}{1000}}{} \right) = 29672 \times$$

$$\times \left(\frac{\frac{114,86}{1,33}}{1000} + \frac{\frac{239,29 + 382,86}{0,92 + 1,42} + 0,2 \cdot 75}{1000} \right) = 10896,5 \text{ кг/сут}, \qquad (6)$$

где $X_{CSB\text{inert}.ZB}$ – инертная часть ХПК, равная 114,6 мг/л; $X_{CSB.BM}$ – прирост биомассы при расщепление ХПК, равный 239,29 мг/л; $X_{CSB\text{inert}.ZB}$ – инертная часть ХПК, равная 382,86 мг/л; f_B – часть неорганических веществ в отфильтрованных веществах равная 0,2; X_{TS} – равен 75; $\ddot{U}S_{d,P}$ – прирост ила при удаление фосфора определяется по формуле:

$$\ddot{\text{U}}\text{S}_{\text{d,P}} = \frac{\text{Q}_{\text{сут}} \cdot (3 \cdot X_{P,\text{BioP}} + 6,8 \cdot X_{P,\text{Fäll.Fe}})}{1000} =$$

$$= \frac{29672 \cdot (3 \cdot 0,6 + 6,8 \cdot 5,5}{1000} = 1163,14 \text{ кг/сут}, \qquad (7)$$

где $X_{P,\text{BioP}}$ – поглощенный фосфор биомассой, равный 0,6 мг/л; $X_{P,\text{Fäll,Fe}}$ – выделенное железа, равное 5,5.

Содержание сухого вещества в аэротенке определяется по формулам:

$$TS_{BS} = \sqrt[3]{t_E} \cdot \frac{1000}{ISV} = \sqrt[3]{2} \cdot \frac{1000}{100} = 12,6 \text{ кг/м}^3, \qquad (8)$$

$$TS_{RS} = (0,7 \ldots 0,8) \cdot TS_{BS} = 0,7 \cdot 12,6 = 8,82 \text{ кг/м}^3, \qquad (9)$$

$$TS_{BB} = TS_{RS} \cdot \frac{RV}{1+RV} = 8,82 \cdot \frac{0,75}{1+0,75} = 3,8 \text{ кг/м}^3, \qquad (10)$$

где t_E – время уплотнения, равное 2 ч; RV – коэффициент орошения, равный 0,75; ISV – индекс активного ила, равный 100 мг/л.

Приведенная технология расчета позволяет точно определить геометрические и технологические параметры аэротенка с глубоким удалением биогенных элементов в зависимости от нагрузки загрязнений поступающих со сточными водами.

В данном примере аэротенк принимается со следующими параметрами: $n_c = 3$ секции, количество коридоров $n_k = 4$, ширина коридора $b_k = 6$ м, глубина $h = 4{,}4$ м. Размеры аэротенка $80 \times 24 \times 4{,}4$ м.

Список литературы

1. Бартова Л.В., Авдеева М.А., Луферчик Я.С. Определение продолжительности обработки сточных вод в аэротенках по различным методикам // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2018. – Т. 9, № 3. – С. 99–107. DOI: 10.15593/2224-9826/2018.3.10

2. Дягелев М.Ю., Непогодин А.М., Исаков В.Г. Расчетные скорости денитрификации в процессе удаления азота из сточных вод // Инновационные технологии в системах водоснабжения и водоотведения: сб. ст. по материалам междунар. науч.-практ. конф. Чебоксары, 24–25 октября 2019 г. / Чувашский государственный университет И.Н. Ульянова. – Чебоксары: Среда, 2019. – С. 30–36.

3. Калинина Е.В., Ахмадиев М.В. Анализ европейского и российского опыта в области обращения с жидкими бытовыми отходами // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Урбанистика. – 2013. – № 2 (10). – С. 97–119.

4. Types of wastewater treatment technologies for facilities with a capacity up to 1000 m^3/day / A.M. Nepogodin [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering. Krasnoyarsk, Russian Federation, 2021. – P. 12124. DOI: 10.1088/1755-1315/848/1/012124

5. Standard ATV-DVWK-A 131E, Dimensions of Single-Stage Activated Sludge Plants. – 2000. – 57 p.

Об авторах

Мальцев Денис Валерьевич – магистрант Института энергетики кафедры «Водоснабжение и водоподготовка», Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, e-mail: malcevd@mail.ru

Астраханцева Екатерина Вадимовна – студентка бакалавриата Института энергетики кафедры «Водоснабжение и водоподготовка», Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, e-mail: katya_astrahanseva27@mail.ru

Непогодин Александр Михайлович – старший преподаватель Института энергетики кафедры «Водоснабжение и водоподготовка», Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, e-mail: sa-nepogodin@rambler.ru

УДК 504.05

А.А. Мальцева, А.А. Букин, К.Л. Чертес

ЛИКВИДАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В ЭКОСИСТЕМАХ, ОБРАЗОВАННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВЫВОДА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ШЛАМОНАКОПИТЕЛЕЙ

Рассмотрены обоснование принципов и методы прогнозирования и ликвидации последствий загрязнений природно-техногенных экосистем, образованных шламонакопителями.

Ключевые слова: ликвидация шламонакопителей, высоконапорная промывка грунта, проницаемость пород, вязкость жидкостей.

A.A. Maltseva, A.A. Bukin, K.L. Chertes

ELIMINATION OF POLLUTION IN ECOSYSTEMS FORMED AS A RESULT OF DECOMMISSIONING OF SLUDGE COLLECTORS

This article discusses the substantiation of the principles and development of forecasting and eliminating the consequences of pollution of natural and anthropogenic ecosystems formed by sludge collectors.

Keywords: elimination of sludge collectors, high-pressure flushing of soil, permeability of strata, fluid viscosity.

Актуальность проблемы ликвидации выведенных из эксплуатации шламонакопителей высока. Совершенствование методов работы с загрязнениями позволяет более эффективно и экономически выгодно проводить санацию нарушенной геосреды.

Шламонакопители различных производств после окончания срока их эксплуатации подлежат консервации или непосредственной ликвидации. Выбор и обоснование направлений ликвидации требуют прогноза состояния шламонакопителей как природно-техногенных экосистем.

Ликвидация накопителей связана с применением открытых методов экскавации отходов, их химического, биохимического или термического обезвреживания [1, 2]. Устранение загрязнения геосреды на глубинах пород зоны аэрации сопряжена с использовани-

ем закрытых методов: пропарки, промывки, реагентной очистки грунтов через сети вертикальных и наклонных скважин [4, 5].

Отходы, размещенные в шламонакопителях, представляют собой многокомпонентные гетерофазные системы, обладающие повышенными значениями динамического коэффициента вязкости (м >> 1,0 Па·с). Начиная с глубин более 10 м очистить геосреду распространенными методами промывки и пропарки крайне затруднительно [3]. Низкая проницаемость грунта, высокая вязкость жидкостей, заполняющих его поры, создают сопротивление потоку промывочных растворов и не позволяют им равномерно распределяться по всей толще породы, начиная от поверхности загрязненных грунтов до водоупоров. Необходима разработка новых и адаптация существующих методов высоконапорной подачи промывочных жидкостей, способствующих и очистке геосреды от загрязнений, и изменению ее фильтрационно-реологических характеристик в сторону увеличения проницаемости и снижения вязкости.

В настоящей статье рассматривается обоснование принципов и разработка методов прогнозирования и ликвидации последствий загрязнений природно-техногенных экосистем, образованных выведенными из эксплуатации шламонакопителями.

Методы подачи отмывающих растворов в толщу загрязненных пород применяются на подачу и извлечение из геосреды растворов на основе ньютоновских жидкостей под давлением не более 2,0 атм (~ 0,2 МПа). Значения динамической вязкости (м) в данных условиях составляет 0,1–2,0 мПа·с в грунтах, с коэффициентом проницаемости геосреды (Кгс) >> 10–8 м^2. К ним относят галечники, пески и другие легкофильтруемые породы [8, 10].

Более сложным процессом представляется закачка растворов реагентов в геосреду со значениями (м) в диапазоне 10–300 мПа·с, в труднофильтруемые фрагменты геосреды с Кф << 10–8 м^2. К подобным фрагментам можно отнести труднофильтруемые глинисто- и суглинисто-подобные грунты, загрязненные тяжелыми углеводородами, полимерами или лигносульфонатами. Подобные фильтрационно-реологические параметры здесь соответствуют условиям природно-техногенных экосистем, сформированных шламонакопителями. Соответственно, и давления закачки промы-

вочных жидкостей в подобных средах должны быть значительно больше, чем 2,0 атм (~ 0,2 МПа). Эффект от высоконапорной подачи растворов в геосреду обусловлен возникновением явлений микрогидроразрыва пласта [5, 7] с повышением его проницаемости и снижением вязкости загрязнений.

Перспективным направлением высоконапорной подачи растворов в труднофильтруемые породы на глубину более 10 м выступает струйная цементация, предназначенная для создания в грунтах вертикальных защитных завес. Давление потока рабочих растворов, развиваемое экструдерами, составляет в данном методе более 100 атм (~10 МПа).

Методология высоконапорной подачи рабочих растворов отмывочных реагентов в диапазоне давлений 100–400 атм (10–40 МПа) была использована в проектах ликвидации объектов накопленного экологического вреда (ОНЭВ) (таблица), для выбора и обоснования конструктивно-технологических решений по обезвреживанию шламовых тел.

Геосреда за пределами накопителей по ходу потока подземных вод пропитана инфильтратами из шламовых тел. Обводненные и загрязненные породы зоны аэрации вследствие этого имеют широкий диапазон значений коэффициента вязкости (мгс = 98,0–38488 Па·с·10–3), характеризующих выделенный флюид по типу жидкости от ньютоновской до дилатантной. Проницаемость шламов ($К_{шл}$) и загрязненных пород геосреды ($К_{гс}$) также имеет широкий диапазон значений: от 10–8 до 10–14 $м^2$ [6].

Для подтверждения предпосылок моделирования был проведен промышленный эксперимент по высоконапорной подаче рабочего раствора отмывочного реагента в геосреду. Эксперимент проведен на площадке старого шламонакопителя г. Чапаевска.

Для оценки эффективности очистки геосреды от остаточных загрязнений был использован метод опытных наливов в скважины с последующим отбором проб на анализ. Пробы воды из проходок, обработанных методом высоконапорной промывки, отбирали по направлениям от накопителей к областям разгрузки с целью оценки перемещения загрязненной жидкости в пористой среде.

Основные сведения по объектам исследования

№ п/п	Наименование объекта	Входные параметры														Выходные параметры	
		$H_{водоуп}$, м	$H_{гр.в.}$, м	$H_ф$, м	grad P	$К_ф$, м/с	$К_{шл}$ м^2	$К_{гс}$, м^2	$C_{sat,}$ кг/м^3	$П_{пр}$	Г	$R_{шл}$, тыс. м	$R_{оз}$, тыс. м	$S_{ф.гс.}$, тыс. м^2	ПЗ, м/с	V_{poll}, м^3/с	M_{poll}, кг/с
1	Иловые площадки (Самара)	25	3,5	32	0,021	0,00012	1,2E-10	1,2E-11	7	10,00	1,82	1,2	2,2	125,7	0,00000252	0,317	2,22
2	Буферный пруд КНПЗ	25	3	22	0,008	0,0000014	3,4E-11	1,4E-13	5	242,86	1,99	0,5	1,0	39,4	1,16667E-08	0,0005	0,0023
3	Накопитель ЦБК (Карелия)	20	2,8	17,2	0,008	0,00029	5,1E-13	2,9E-11	44	0,02	0,03	0,2	0,0	6,5	0,00000232	0,02	0,66
4	Шламо-накопитель (Чапаевск)	25	1,5	23,5	0,013	0,0088	9,4E-10	8,8E-10	26	1,07	1,03	0,1	0,1	2,3	0,0001144	0,26	6,84

Примечание: $H_{водоуп}$ – глубина расположения водоупора; $H_{гр.в}$ – отметка поверхности первого водоносного горизонта; $H_ф$ – толщина фронта фильтрации; grad P – градиент напора подземных вод; $К_ф$ – коэффициент фильтрации (максимальный в выборке); $К_{шл}$ – коэффициент проницаемости шлама (максимальный в выборке); $К_{гс}$ – коэффициент проницаемости геосреды (максимальный в выборке); $C_{sat,}$ – концентрация насыщения ключевого загрязнителя (для объектов 1,3,4 – ХПК; для объекта 2 – содержание нефтепродуктов, общее); $П_{пр}$ – показатель проницаемости ($П_{пр}$= $К_{шл}/К_{гс}$); Г – коэффициент расширения (показывает, во сколько раз ширина канала загрязненной воды за зоной загрязнения шире диаметра зоны загрязнения; $Г = (П_{пр} \cdot 2)/(1 + П_{пр})$); $R_{шл}$ – максимальный радиус шламового тела (определен по данным инженерных изысканий); $R_{оз}$ – максимальный радиус ореола загрязнения геосреды (определен по данным инженерных изысканий); $S_{ф.гс.}$ – поперечная площадь фильтрации геосреды; ПЗ – поток загрязнений (ПЗ = grad $P \cdot К_ф$); V_{poll} – производительность зоны загрязнений (V_{poll} = ПЗ $\cdot$ $S_{ф.гс} \cdot 1000$); $М_{poll}$ – масса выносимых загрязнений ($M_{poll} = V_{poll} \cdot C_{sat.}$).

В ходе промышленного эксперимента изучали зависимости изменения фильтрационно-реологических свойств природной среды при высоконапорной подаче рабочего раствора флокулянта. В качестве основного флокулянта был использован отмыватель безотходный ингибирующий самоочищающийся (О-БИС) в дозировке 5,0 ± 0,5 мг/кг масс обрабатываемого грунта.

При контакте флокулянта с загрязнениями происходило смещение стабилизационного слоя на поверхности раздела фаз с проникновением активного вещества в межфазное пространство и замещения адсорбционного слоя. «Ударное» высоконапорное воздействие (100–400 атм) на структуру неньютоновский жидкости загрязнителя, позволило снизить ее вязкость с улучшением подвижности загрязнений в растворе и последующим выводом в дренаж.

По результатам промышленных исследований был разработан способ высоконапорной реагентной промывки пород зоны аэрации от загрязнений органической и минеральной природы, содержащихся в инфильтратах на основе жидкостей различной вязкости [9, 10]. Эффективность промывки составила до 90 %. Разрабатываемый состав можно приспособить под условия работы заводских очистных сооружений с целью минимизации затрат на совместную очистку загрязненных подземных вод с производственным стоком. Поведение потока позволило выявить гидродинамическую связь между поглощающей и извлекательными скважинами в условиях опытных участков.

Отслеживание концентраций загрязнителей, отобранных до и после обработки высоконапорной промывкой, способствовало уточнению цифровой модели природной среды, разработке мероприятий по изменению фильтрации и обеспечению воздействия на объекты испытания в целом.

Изменение фильтрационно-реологических характеристик среды в ходе высоконапорного воздействия сопровождалось переводом «защемленных» в порах грунта загрязнений в свободное состояние. При этом увеличивались значения потока загрязнений, производительности зоны загрязнений и интенсивности их выноса.

Предлагаемые методы прогнозирования и ликвидации загрязнений были использованы в проектах ликвидации объектов накопленного экологического вреда, сформированных бездействующими накопителями шламовых отходов.

Список литературы

1. Совершенствование технологии санации накопителей шламов химводоподготовки / Н.А. Уварова, О.В. Тупицына, Е.П. Истомина, К.Л. Чертес // Инновации в теории и практике и обращения с отходами: материалы междунар. науч.-практ. конф. Пермь, 5–6 ноября 2009 г. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2009. – С. 278–280.
2. Ягафарова, Г.Г., Барахнина В.Б. Утилизация экологически опасных буровых отходов // Нефтегазовое дело. – 2006. – № 2. – С. 48–61.
3. Богданов А.В. Развитие научных и практических основ экологических технологий комплексной переработки осадков карт-шламонакопителей: на примере Байкальского региона: дис. ... д-ра техн. наук: 25.00.36. – Иркутск, 2006. – 275 с.
4. Королев В.А. Очистка грунтов от загрязнений. – М.: МАИК Наука / Интерпериодика, 2001. – 365 с.
5. Принципы управления экологически безопасным градостроительным восстановлением территорий. нарушенных размещением отходов разного генезиса / А.Д. Потапов [и др.] // Вестник МГСУ. – 2014. – № 7. – С. 110–132.
6. Михайлов, Е.В. Совершенствование технологии совместного размещения осадков сточных вод и твердых бытовых отходов: дис. … канд. техн. наук. – Уфа, 2009. – 131 с.
7. Синькова Е.А. Рациональные способы санирования очагов техногенного загрязнения углеводородными соединениями: автореферат дис. ... канд. техн. наук / Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г.В. Плеханова. – СПб., 2006. – С. 7–11.
8. Самарина О.А., Чертес К.Л., Тупицына О.В. Обработка высококонцентрированных сточных вод накопителей углеводород-

содержащих отходов: монография. – Самара: Изд-во Самар. гос. техн. ун-та, 2011. – 149 с.

9. Петренко Е.Н. Комплексная экологическая система оценки и ликвидации техногенных залежей углеводородов: дис. ... канд. техн. наук. – Самара, 2022. – 122 с.

10. Патент на изобретение 2752983 C1, 11.08.2021. Заявка № 2020135452 от 27.10.2020 «Способ очистки нефтезагрязненного грунта с применением высоконапорной технологии» № 2752983 / Тупицына О.В., Чертес К.Л., Пыстин В.Н., Петренко Е.Н., Букин А.А., Шерстобитов Д.Н., Быков Д.Е., Гилаев Г.Г. Заявка № 2020135452 от 27.10.2020.

Об авторах

Мальцева Александра Алексеевна – студентка IV курса кафедры «Химическая технология и промышленная экология», Самарский государственный технический университет, e-mail: aleksandra.maltseva201@yandex.ru

Букин Алексей Александрович – аспирант кафедры «Химическая технология и промышленная экология», Самарский государственный технический университет, e-mail: alkatras_b@mail.ru

Чертес Константин Львович – доктор технических наук, профессор кафедры «Химическая технология и промышленная экология», Самарский государственный технический университет, e-mail: chertes2007@yandex.ru

УДК 69.001.5

А.В. Михайлова, А.А. Сурков, Н.Н. Слюсарь

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ЗДАНИЯ КАМПУСОВ УНИВЕРСИТЕТОВ: УЛУЧШЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И КАЧЕСТВА ЖИЗНИ СТУДЕНТОВ

Представлены примеры экологических зданий кампусов университетов, с помощью которых сокращается негативное воздействие на окружающую среду и улучшается качество жизни.

Ключевые слова: экологическое здание, зеленое строительство.

A.V. Mikhailova, A.A. Surkov, N.N. Slyusar

ENVIRONMENTAL UNIVERSITY CAMPUS BUILDINGS: IMPROVING THE ENVIRONMENT AND STUDENTS' QUALITY OF LIFE

Examples of ecological buildings of university campuses are presented, with the help of which the negative impact on the environment is reduced and the quality of life is improved.

Keywords: ecological building, green building.

В университет приходит новое поколение жителей планеты, которые ищут не только способы уменьшить негативное влияние на окружающую среду, но и улучшить качество жизни. Кампус как университетский городской городок – это наиболее эффективный способ организации этого процесса [1].

Экологические здания кампусов университетов – это здания, которые созданы с использованием экологически чистых материалов и технологий, которые обеспечивают максимальную эффективность и минимальное воздействие на окружающую среду. Эти здания могут быть как новыми, так и отреставрированными, и они способны улучшать качество жизни студентов и снижать воздействие на окружающую среду. В этой статье мы рассмотрим несколько примеров экологических зданий кампусов университетов.

1. *Университет Техаса, Остин*. Один из наиболее впечатляющих примеров экологических зданий кампуса университета Техаса в Остине (рис. 1) – это здание для науки и инженерии, которое получило сертификат зеленого здания LEED Platinum [2].

Рис. 1. Техасский университет в Остине

Оно использует энергию, производимую солнечными батареями, и собирает дождевую воду для использования в системах охлаждения. Кроме того, здание использует экологически чистые строительные материалы и имеет встроенные системы контроля энергопотребления.

2. *Университет Миннесоты*. Еще одним примером экологических зданий является здание Университета Миннесоты (рис. 2), которое получило сертификат зеленого здания LEED Platinum.

Рис. 2. Университет Миннесоты в Крукстоне

Это здание для биологических наук, которое использует экологически чистые материалы и обладает множеством уникальных особенностей, таких как «зеленые» крыши, которые способствуют эффективному использованию воды.

3. *Университет Стэнфорда*. Еще одним примером экологических зданий на кампусе университета является учебно-лабораторное здание Стэнфордского университета в Калифорнии [3] (рис. 3).

Рис. 3. Университет Стэнфорда

Это здание имеет сертификат зеленого здания LEED Platinum и использует солнечную энергию для питания большей части его электричества. Здание также использует инновационную систему вентиляции, которая использует солнечную энергию, чтобы эффективно распределять воздух внутри здания. Более того, здание имеет «зеленую» крышу с растительностью, которая не только помогает в поглощении углекислого газа, но и снижает температуру внутри здания.

4. *Университет Беркли*. Университет Беркли в Калифорнии (рис. 4) также имеет несколько экологических зданий, в том числе здание для гуманитарных наук, которое было реконструировано, чтобы соответствовать стандартам зеленого здания LEED Platinum.

В здании используются инновационные технологии, такие как встроенные солнечные батареи, системы для сбора дождевой воды и вентиляции, которые используют естественное движение воздуха для охлаждения помещений.

Рис. 4. Университет Беркли

5. *Университет Колорадо в Боулдере*. Здание для химических и биологических наук кампуса Университета Колорадо в Боулдере также является хорошим примером экологического здания (рис. 5).

Рис. 5. Университет Колорадо в Боулдере

Здание имеет сертификат зеленого здания LEED Platinum и использует инновационные технологии, такие как солнечные батареи и системы вентиляции, которые обеспечивают эффективное использование энергии и уменьшают воздействие на окружающую среду. Экологические здания кампусов университетов являются не

только эффективными с точки зрения использования ресурсов, но и способны улучшать качество жизни студентов и преподавателей. Они обеспечивают более здоровую и продуктивную среду обучения, а также помогают сократить негативное воздействие на окружающую среду. На 25 % снижается энергопотребление, уменьшая затраты на электроэнергию, уменьшается потребление воды на 30 %, что приводит к значительному снижению издержек на водоснабжение, сокращаются затраты на обслуживание здания за счет более высокого качества современных средств управления.

Примеры, которые были представлены в этой статье, демонстрируют, что экологические здания могут быть не только эффективными, но и красивыми и удобными для использования.

Список литературы

1. Орлова М., Корси В. Проектирование студенческих кампусов [Электронный ресурс] // Здания высоких технологий: электрон. журн. – 2019. – URL: http://zvt.abok.ru/articles/683/Proektirovanie_studencheskih_kampusov (дата обращения: 10.03.2023).

2. Рейтинговая система LEED [Электронный ресурс]. – URL: https://www.usgbc.org/leed (дата обращения: 10.03.2023).

Об авторах

Михайлова Анастасия Владимировна – магистрант кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: anastasija.mihaylowa2015@yandex.ru

Сурков Александр Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: alex.a.surkov@gmail.com

Слюсарь Наталья Николаевна – доктор технических наук, профессор кафедры «Охрана окружающей среды», доцент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: nnslyusar@gmail.com

УДК 504.064.45

Е.Ю. Михайлова, С.В. Полыгалов, Г.В. Ильиных

ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА

Рассмотрены актуальность и основы переработки бутылок из полиэтилентерефталата с выделением характерных особенностей и сложностей в процессе переработки данного материала. Выявлены критические характеристики полиэтилентерефталата, оказывающие влияние на качество конечного продукта.

Ключевые слова: полиэтилентерефталат, ПЭТ-бутылка, переработка, критически значимые характеристики.

E.Yu. Mikhailova, S.V. Polygalov, G.V. Il`inykh

RECYCLING OF POLYETHYLENE TEREPHTHALATE WASTE

The article presents the relevance and fundamentals of the processing of polyethylene terephthalate bottles, highlighting the characteristic features and difficulties encountered in the process of processing this material. The critical characteristics of polyethylene terephthalate, which affect the quality of the final product, are revealed.

Keywords: polyethylene terephthalate, PET bottle, recycling, critical characteristics.

Упаковочная индустрия в настоящее время стремительно развивается, что обусловлено разработкой и внедрением доступных и безопасных материалов, позволяющих рационально использовать природные ресурсы и снижать техногенную нагрузку на окружающую среду.

Одним из наиболее популярных упаковочных материалов, наращивающих свое присутствие на рынке пищевой упаковки, является полиэтилентерефталат (ПЭТ). Бутылочная тара из ПЭТ обладает множеством свойств, которые делают ее привлекательной. Так, ПЭТ-бутылки легкие, гибкие, прочные, устойчивые к повреждениям, безопасные и удобные для потребителя, что обусловливает их повсеместное использование во многих сферах жизни. Динамика потребления ПЭТ в России в 2021 г. составила 789 тыс. т., при

этом среднегодовой темп роста объема у ПЭТ-бутылки среди других материалов максимален и составил 4,7 % [1].

Кроме того, ПЭТ-бутылка является лидером в сфере розлива напитков. В 2016 г. структура мирового потребления различных видов упаковки для напитков была представлена наибольшим объемом рынка ПЭТ в количестве 41 % по сравнению с упаковочными материалами из стекла (22 %), жести (11 %), картона (10 %) и др. (16 %) [2].

Высокие темпы роста производства и использования ПЭТ сопровождаются образованием соответствующих отходов, что свидетельствуют об актуальности переработки ПЭТ-бутылок. ПЭТ является наиболее перспективным материалом, пригодным для вторичной переработки, т.к. обладает стабильными механическими свойствами и, в отличие от других пластиков, на более низких уровнях способен поглощать загрязнения, образующиеся после потребления. Кроме того, переработка ПЭТ-бутылок является экономически выгодной, т.к. конечные продукты переработки – ПЭТ-хлопья и ПЭТ-гранулы являются дорогими и в то же время не уступают по физико-химическим и механическим свойствам первичному ПЭТ.

Однако присутствие загрязнений может уменьшить количество циклов переработки ПЭТ-бутылки. Поток собираемых ПЭТ-бутылок как вторичного сырья состоит из смеси полимерных изделий и, кроме того, содержит целый ряд мешающих компонентов, таких как бумага, полиэтиленовая и полипропиленовая пленка, используемые в качестве этикеток; металлы, входящие в состав пружин от дозаторов; органические остатки в виде пищи. Все эти мешающие компоненты создают проблемы при переработке.

В работе [3] представлены результаты исследования потока ПЭТ-бутылок по наличию загрязнений и жидкости. Большая часть загрязнений приходится на ПЭТ-бутылки с содержанием скоропортящихся продуктов (молочные продукты, прочие пищевые), т.к. они чаще всего выбрасываются с остатками других пищевых продуктов. Жидкость в большей степени присутствует в молочных продуктах, а также пивных напитках и питьевой воде.

В соответствии с наличием загрязнений в потоке ПЭТ-бутылок начальным и важным этапом, оказывающим влияние на состав выходящего потока, является система сбора, а именно раздельный сбор с использованием специальных контейнеров (например, сетки) и раздельный сбор с использованием систем возврата депозитов (например, фандоматы), где потребителю возвращается сумма, заложенная в стоимость упаковки ПЭТ-бутылки.

После сбора ПЭТ-бутылок осуществляется передача спрессованных кип ПЭТ-бутылок компаниям-переработчикам. Далее следуют этап предварительной сортировки, включающий в себя удаление мелких предметов (песка, стекла) с помощью грохота, использование магнитного и вихретокового сепаратора для удаления металлов, а также удаление других видов пластмасс, включая сильно загрязненные и окрашенные ПЭТ-бутылки. После чего следует этап дробления входящего потока, в результате которого образуются ПЭТ-хлопья размером 3–15 мм и мелкая фракция, состоящая из посторонних компонентов (частицы полипропилена, полиэтилена, поливинилхлорида) и ПЭТ-пыли. Следующий этап заключается в последовательной мойке ПЭТ-хлопьев, как правило, изначально это мойка холодной водой для выделения всплывающей фракции (этикеток, крышек и колец из полиэтилена и полипропилена), далее используется горячая мойка с использованием щелочного раствора для удаления клея и других загрязнений, после чего следует холодная мойка для смыва моющих средств с поверхности ПЭТ-хлопьев. Затем следует сушка образовавшихся ПЭТ-хлопьев с целью удаления излишней влаги. Вместе с тем важным этапом является применение предварительной сушки ПЭТ-хлопьев в том случае, если ПЭТ-хлопья и ПЭТ-гранулы производятся на разных предприятиях. Это делается с целью удаления остаточной влажности в ПЭТ-хлопьях перед экструзией, что способно повлиять на физико-химические свойства конечного ПЭТ. Завершающими этапами является экструзия ПЭТ-хлопьев с образованием непрерывных нитей (стренги), проходящих через фильтр. После чего полученный материал подается в систему грануляции, где сырье нарезается на гранулы необходимого размера. Полученные гранулы под-

вергаются сушке и кристаллизации, приобретая максимальную твердость. После чего гранулы проходят завершающий этап поликонденсации для повышения качественных характеристик ПЭТ. На рисунке представлены основные этапы переработки ПЭТ-бутылки.

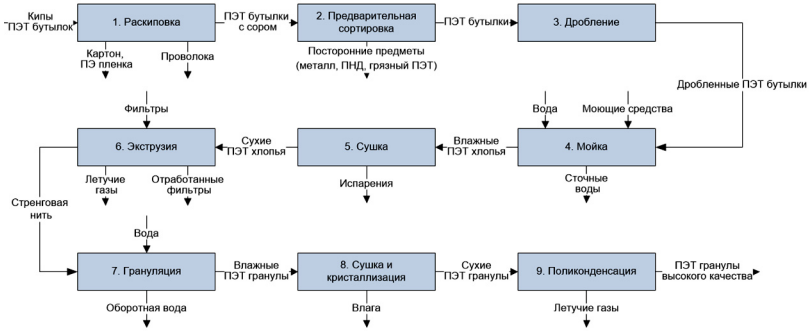


Рис. Основные этапы переработки ПЭТ-бутылки

При многократных циклах переработки ПЭТ важным является сохранение физико-химических, механических и прочих характеристик ПЭТ, критически значимых для оценки его качества.

Важным показателем в процессе переработки ПЭТ является остаточная влажность после сушки. ПЭТ хорошо способен поглощать влагу при транспортировке, хранении, использовании, что может приводить к гидролизу полимера. С увеличением содержания влаги в ПЭТ уменьшается такой показатель, как характеристическая вязкость. При нагревании, а именно на этапе экструзии, характеристическая вязкость падает, в результате чего происходит деструкция полимерной цепи, выражающаяся в падении молекулярной массы, поэтому необходимо проводить контроль содержания влаги перед процессом экструзии.

При переработке ПЭТ, а именно при термических процессах, таких как экструзия, меняется цвет выходящих ПЭТ-гранул. Присутствие поливинилхлорида (ПВХ), клея, этикеток из полиэтилена низкой плотности в хлопьях приводит к пожелтению и помутнению ПЭТ-гранул, поэтому необходим контроль и за данными показателями.

Концентрация ацетальдегида является немаловажным показателем качества ПЭТ, используемого в упаковке пищевых продуктов и напитков. Вторичные ПЭТ-гранулы содержат значительное количество ацетальдегида, т.к. он образуется при деструкции ПЭТ на этапе экструзии. К типичным загрязнителям ПЭТ относятся лимонен, применяемый в качестве ароматизирующего вещества в пищевой продукции, и толуол, присутствие которого связано с использованием ПЭТ-бутылок не по назначению. Данные вещества влияют на органолептические свойства пищевых продуктов, поэтому необходимо контролировать их концентрацию в произведенных гранулах и стенках бутылок.

Требования к составу и свойствам вторичных ПЭТ-хлопьев и ПЭТ-гранул устанавливают многие зарубежные и российские компании. Контролируемые показатели отражены в спецификациях компаний, технических условиях на продукцию и в различных исследованиях.

Качество вторичных ПЭТ-хлопьев и ПЭТ-гранул напрямую зависит от условий переработки вторичного ПЭТ. Такие факторы, как размер частиц при дроблении, температура и время горячей мойки, дозировка моющих средств, время сушки и другие показатели, свидетельствуют об эффективности удаления загрязнений с поверхности ПЭТ, а также высоких физико-механических свойствах при оптимальных значениях.

ПЭТ как материал обладает рядом особенностей с точки зрения переработки. При раздельном сборе ПЭТ-бутылок существуют сложности, связанные с попаданием в общий поток непищевых ПЭТ-бутылок (упаковки из-под шампуня, мыла и т.п.), для которых характерна наибольшая концентрация загрязняющих химических веществ. Их присутствие и дальнейшая миграция из вторично произведенных ПЭТ-бутылок в упакованную продукцию может привести к невозможности переработки по принципу «из бутылки в бутылку».

Термическое воздействие на этапе экструзии влияет на снижение характеристической вязкости ПЭТ-гранулы, а охлаждение водой способствует увеличению влажности ПЭТ-гранулы. В связи

с чем дополнительно необходимо проводить сушку и кристаллизацию ПЭТ-гранул после экструзии для снижения показателя влажности и приобретения необходимой твердости для следующего этапа. Дополнительно требуется проведение поликонденсации (твердофазной или жидкофазной) с целью повышения показателя характеристической вязкости путем удаления посторонних продуктов разложения, таких как ацетальдегид, с получением высококачественного сырья, которое можно использовать для производства новых бутылок.

Использование потенциала переработки ПЭТ-бутылок с их дальнейшим применением в качестве упаковочных материалов для пищевых продуктов является актуальным с точки зрения сокращения образующихся отходов ПЭТ и минимизации использования первичных природных ресурсов. Вместе с тем требуется строгое соблюдение технологических параметров оборудования при переработке (времени пребывания материала в экструдере, размера частиц при дроблении, температуры мойки, дозировки моющих средств и др.), которые влияют на физико-химические свойства материала. Кроме того, необходим контроль за содержанием загрязняющих веществ, попадание которых в конечный продукт может вызывать последующее воздействие на здоровье потребителей.

Список литературы

1. Керницкий В.И., Жир Н.А. Вопросы по бутылочному ПЭТ. Крайности и реальности // Вестник химической промышленности. – 2016. – № 4 (91). – С. 36–40.

2. Социально-экономическое исследование Российские инновации: роль ПЭТ-индустрии в повышении конкурентоспособности отечественной пищевой промышленности. – М., 2016. – 92 с.

3. Determination of the composition and properties of PET bottles: Evidence of the empirical approach from Perm, Russia / S. Polygalov, G. Ilinykh, V. Korotaev [et al.] // Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy. – 2021. – № 39 (5). – P. 720–730.

Об авторах

Михайлова Екатерина Юрьевна – студентка кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: kungur937@gmail.com

Полыгалов Степан Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: polyste17@mail.ru

Ильиных Галина Викторовна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: galina.perm.59@yandex.ru

УДК 628.316.12

Н.А. Муравьева, Ю.В. Куликова, О.О. Бабич

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКОЙ СОРБЦИИ ИОНОВ МЕДИ УГЛЕМ, ПОЛУЧЕННЫМ МЕТОДОМ ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО ОЖИЖЕНИЯ

Представлены результаты оценки динамической емкости по ионам меди из раствора углем, полученным методом гидротермального ожижения и активированного пероксидом водорода. Проведено сравнение полученных результатов с литературными данными.

Ключевые слова: уголь, сорбенты, динамическая сорбция, тяжелые металлы, ионы меди.

N.A. Muravieva, Yu.V. Kulikova, O.O. Babich

ANALYSIS OF DYNAMIC SORPTION OF COPPER IONS BY CHARCOAL PRODUCED BY HYDROTHERMAL LIQUEFACTION METHOD

In the article was evaluated the dynamic sorption capacity of charcoal for copper ions from solution. Charcoal was produced by hydrothermal liquefaction activated and activated by hydrogen peroxide. Comparison of achieved results with the literature data is presented.

Keywords: charcoal, sorbents, dynamic sorption, heavy metals, copper ions.

Ионы тяжелых металлов, находясь в растворе, образуют хелатные связи с аминокислотами и углеводами. Это приводит к прекращению метаболизма. Помимо этого, медь является ингибитором некоторых ферментов (гидролаз). Кадмий, в свою очередь является ингибитором ферментов клеточного дыхания. Все это приводит к угнетению клетки организма и его гибели [1].

Для решения данной проблемы предлагается использовать угольные сорбенты. Нами получены угольные сорбенты методом гидротермального ожижения из растительной биомассы. Данный метод позволяет получить дешевые и эффективные сорбенты [2].

В работе [3] приведен анализ сорбции ионов тяжелых металлов (железо и медь) в статическом и динамическом режимах. Ис-

следовались два образца ДАУ (дробленный активированный уголь) и АГ (гранулированный активированный уголь).

Статическая сорбционная емкость по ионам меди следующая: АГ-3 – 14,0 мг/г, ДАУ-А – 20,5 мг/г, ДАУ-Б – 18,8 мг/г. Динамическая емкость по ионам меди: для АГ-3–48 мг/г, для ДАУ-А–68 мг/г [3].

Ранее было установлено, что уголь, получаемый в процессе гидротермального ожижения, отличается достаточно хорошими статическими сорбционными свойствами по фенолу и метиленовому синему [4]. На данном этапе было принято решение оценить динамические сорбционные свойства углей и потенциальную возможность их использования для решения задач по очистке сточных вод от ионов тяжелых металлов на примере меди.

Исследуемым материалом является угольный сорбент, полученный методом гидротермального ожижения из рогоза. Температура процесса гидротерамльного ожижения биомассы 240 °С, время 40 мин, давление 4 МПа, соотношение биомассы и воды 10:100.

Полученный уголь активировался кипячением в пероксиде водорода. Концентрация раствора перекиси 30 %, время кипения 30 мин, температура 70–80 °С.

Для измерения концентрации ионов меди использовался метод колориметрического определения массовой концентрации меди с диэтилдитиокарбаматом натрия по ГОСТ 4388-72.

Динамическую сорбцию анализировали следующим образом: заполняли бюретку углем (высота заполненной бюретки 15 см). Далее пропускали раствор сульфата меди (концентрация ионов меди 10 мг/л). Скорость движения жидкости около 1 м/ч. Для измерения концентрации меди брали по 5 мл раствора из 10 мл пропущенной жидкости.

Результаты динамической емкости показаны на рисунке. Значение суммарной сорбционной емкости составляет 201,7 мг/г, в то время как в литературе результат динамической емкости по ионам меди составил 68 мг/г для ДАУ [3]. Т.е. наш угольный сорбент показал результат почти в 3 раза лучше.

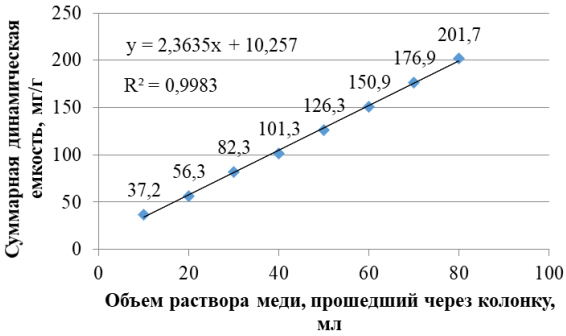


Рис. Суммарная динамическая емкость угольного сорбента по ионам меди (II)

В статье приведена оценка динамической емкости угольного сорбента, полученного методом гидротермального ожижения из рогоза. Исследовалась сорбция ионов меди (II). Значение динамической емкости составило 201,7 мг/г, что в 3 раза выше, чем у ДАУ. Составлено уравнение процесса: $y = 2{,}3635x + 10{,}257$. Полученные данные свидетельствуют о целесообразности применения данного сорбента для решения экологических задач.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24-00064, https://rscf.ru/project/23-24-00064/

Список литературы

1. Ахмеджанов Т.К., Джанкуразов Б.О. Экологические аспекты окружающей среды как фактор качества и пищевой безопасности зерна // Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. К.И. Скрябина. – 2020. – № 1 (52). – С. 123–131.

2. Муравьева Н.А., Куликова Ю.В., Орлов Н.И. Анализ сорбционных свойств сорбентов, полученных из биомассы водорослей методом гидротермального ожижения // Актуальные вопросы химической технологии и защиты окружающей среды: сб. материалов IX Всеросс. конф., посвященной 55-летию Чувашского государственного университета имени И.Н. Ульянова, Чебоксары,

01–02 декабря 2022 г. / Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова. – Чебоксары, 2022. – С. 229–230.

3. Применение опытных образцов дробленых активных углей для очистки городских ливневых сточных вод / А.К. Шутова, Е.Е. Гарибзянова, А.В. Мясникова [и др.] // Химия. Экология. Урбанистика. – 2017. – С. 160–164.

4. Муравьева Н.А., Куликова Ю.В., Бабич О.О. Оценка сорбционной емкости углей, полученных методом гидротермального ожижения // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: материалы национальной с междунар. участием науч.-практ. конф. студентов, аспирантов, ученых и специалистов: в 2 т. Тюмень, 20–22 декабря 2022 г. / отв. ред. А.Н. Халин; Тюмен. индустр. ун-т. – Тюмень, 2022. – Т. I. – С. 271–272.

Об авторах

Муравьева Наталья Александровна – аспирантка 1-го года обучения по направлению «Органическая химия», Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, e-mail: natahlie98@gmail.com

Куликова Юлия Владимировна – кандидат технических наук, научный сотрудник Высшей школы живых систем, Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, e-mail: kulikova.pnipu@gmail.com

Бабич Ольга Олеговна – доктор технических наук, профессор, директор НОЦ «Прикладная биотехнология» Высшей школы живых систем, Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, e-mail: OOBabich@kantiana.ru

УДК 697

З.Р. Муфтахутдинова

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ

Представлены основные мероприятия по снижению потребления тепловой и электрической энергии при эксплуатации систем вентиляции. Указано, что внедрение данных мероприятий позволяет снизить энергозатраты, повысить энергоэффективность работы вентиляционных систем.

Ключевые слова: энергосбережение, энергоэффективность, вентиляционные системы, теплоутилизаторы, снижение потерь давления.

Z.R. Muftakhutdinova

ENERGY SAVING MEASURES IN VENTILATION SYSTEMS

The article presents the basic measures to reduce the consumption of thermal and electric energy in the operation of ventilation systems. It is pointed out that the introduction of these measures allows reducing energy consumption and increasing the efficiency of ventilation systems.

Keywords: energy saving, energy efficiency, ventilation systems, heat recovery units, pressure loss reduction.

Системы вентиляции являются одними из самых энергозатратных систем жизнеобеспечения зданий и сооружений. Огромное количество энергии расходуется на перемещение воздуха, а также его обработку. Для снижения энергопотребления могут быть предусмотрены следующие мероприятия:

1. Использование рециркуляции воздуха. При применении рециркуляционных систем часть отработанного воздуха помещения подмешивается к наружному, поступающему в приточную камеру. При этом необходимо обязательно учитывать качество не только наружного, но и подмешиваемого воздуха. С целью предотвращения распространения вирусных инфекций обязательно должны быть установлены фильтры для обеззараживания рециркуляционного воздуха. Данное требование введено в нормативные доку-

менты в связи с появлением и распространением короновирусной инфекции [1].

2. Применение теплоутилизаторов. Для использования тепла удаляемого воздуха рекомендуется проектировать приточно-вытяжные системы вентиляции с теплоутилизаторами. В качестве теплоутилизаторов могут быть использованы пластинчатые и роторные. Каждый из них имеет свои достоинства и недостатки [2]. Установка теплоутилизаторов усложняет трассировку сети воздуховодов, увеличивает размеры вентиляционных камер, но при этом позволяет существенно снизить энергозатраты на подогрев приточного воздуха. Также при невозможности конструктивно обеспечить возврат вытяжных воздуховодов в вентиляционную камеру могут быть использованы теплоутилизаторы с промежуточным теплоносителем. При их применении предусматривается дополнительный трубопровод с теплоносителем, например этиленглюколем. Для его перемещения необходим насос, т.е. при оценке энергоэффективности систем необходимо учитывать дополнительные затраты электроэнергии на работу насосного оборудования.

3. Выбор формы сечения воздуховодов. Для перемещения воздуха могут быть использованы воздуховоды различных форм сечения: круглые, прямоугольные с различным соотношением сторон, в форме сектора или сегмента круга. Сравнительный анализ показал, что наилучшие аэродинамические показатели имеют круглые воздуховоды [3]. Их применение обеспечивает минимальные потери давления, позволяет снизить мощность вентиляторных агрегатов, используемых для перемещения воздуха, и, соответственно, уменьшить потребление электроэнергии при эксплуатации систем вентиляции.

4. Выбор материалов воздуховодов. Перемещение воздуха в системах вентиляции осуществляется по металлическим и неметаллическим воздуховодам, а также вентиляционным каналам. При выборе материалов воздуховодов необходимо учитывать шероховатость поверхности, ведь чем больше шероховатость поверхности, тем больше потери давления и, соответственно, затраты на эксплуатацию систем. Например, предпочтение следует отдавать

стальным оцинкованным воздуховодам, имеющим меньшую шероховатость по сравнению с гофрированными воздуховодами.

5. *Уменьшение потерь давления в местных сопротивлениях.* Рекомендуется обеспечивать плавное присоединение отдельных ветвей систем, плавные повороты сети воздуховодов для снижения нагрузки на вентиляторный агрегат.

6. *Выбор пылегазоулавливающего оборудования.* При выборе оборудования для очистки приточного и вытяжного воздуха необходимо учитывать не только степень очистки, но и потери давления, расход потребляемой энергии. Предпочтение следует отдавать оборудованию с меньшим гидравлическим сопротивлением и меньшим расходом электроэнергии, обеспечивающим высокую степень очистки воздуха, например HEPA-фильтрам.

7. *Автоматизация систем вентиляции.* Внедрение автоматического включения и выключения вентиляционных систем, например, при работе воздушно-тепловых завес, также позволяет снизить энергозатраты. Кроме того, могут быть предусмотрены решения по регулированию объемов перемещаемого воздуха.

Таким образом, внедряя данные мероприятия на стадии проектирования, а также при реконструкции, модернизации зданий и сооружений, можно существенно снизить затраты тепловой и электрической энергии на дальнейшую эксплуатацию вентиляционных систем, обеспечить энергоэффективность их работы.

Список литературы

1. СП 60.13330.2020 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: введ. 2021-07-01. – М.: Стандартинформ, 2020. – 150 с.

2. Денисова Е.А., Муфтахутдинова З.Р. Утилизация тепла вентиляционных выбросов // Инновационные технологии защиты окружающей среды в современном мире: материалы всеросс. науч. конф. с междунар. участием молодых ученых и специалистов. – Казань, 2021. – С. 570–573.

3. Муфтахутдинова З.Р. О сопротивлении вентиляционных систем // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Не-

традиционные и возобновляемые источники энергии: материалы Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти профессора Н.И. Данилова (1945–2015). Даниловские чтения / Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. – 2017. – С. 285–289.

Об авторе

Муфтахутдинова Зульфия Рафаиловна – магистрант кафедры «Водоснабжение и водоподготовка», Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, e-mail: zulfiya.muft@gmail.com

УДК 628.164-92:628.164.081.312.32

А.Г. Николаева, А.А. Абрамова, Н.С. Горбунов

ЭФФЕКТИВНАЯ ВОДОПОДГОТОВКА В СОВРЕМЕННЫХ БЛОЧНО-МОДУЛЬНЫХ КОТЕЛЬНЫХ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Приведено описание систем водоподготовки применительно к установке в блочно-модульных котельных малой мощности. Выделено наиболее подходящее для данной цели оборудование водоподготовки. Рассмотрены принцип действия и основные ограничения в эксплуатации на современном котельном оборудовании.

Ключевые слова: умягчение воды, блочно-модульные котельные, комплексонаты, полифосфаты, натрий-катионирование, соли жесткости, накипь, механические частицы.

A.G. Nikolaeva, A.A. Abramova, N.S. Gorbunov

EFFICIENT WATER TREATMENT IN MODERN LOW-POWER MODULAR BOILER HOUSES

The article describes the water treatment systems used for installation in block-modular boiler houses of low power. The most suitable water treatment equipment for this purpose has been identified. The principle of operation and the main limitations in the operation of modern boiler equipment are considered.

Keywords: water softening, block-modular boiler houses, complexonates, polyphosphates, sodium-cation, hardness salts, scale, mechanical particles.

Процесс качественной выработки и передачи тепловой энергии потребителю во многом зависит от правильной работы каждого узла в составе водогрейной котельной. Одним из наиболее значимых является система водоподготовки. Если исходная вода перед подачей в котел не пройдет качественную подготовку, то эффективность нагрева значительно снизится, а элементы котла быстро придут в негодность по причине коррозии, известкового налета, накипи, что в свою очередь приведет к уменьшению КПД.

Большая часть водогрейных котельных малой мощности (до 5 МВт), подвергающихся модернизации, уже на этапе проекти-

рования предусматриваются в блочно-модульном варианте исполнения, что требует максимально компактно и оптимально разместить все необходимое для выработки теплоэнергии оборудование в блоке-модуле без потери эффективности его работы (рис. 1).

Рис. 1. Размещение оборудования
в блочно-модульной котельной

Как разместить в ограниченном пространстве такой важный элемент котельной, как система водоподготовки, не уменьшив при этом ее эффективность?

Система водоподготовки обеспечивает изменение таких исходных параметров воды, как жесткость, содержание железа, уровень pH до показателей, необходимых для бесперебойной и эффективной работы котельного оборудования.

На первом этапе водоподготовки следует предусмотреть очистку от мелких механических примесей, песка. С этой целью на вводе исходной воды в котельную устанавливают грязевые фильтры (сетчатые фильтры, магнитные грязевики).

Когда процент наличия в составе исходной воды солей железа высокий, то применяются дополнительные фильтры, например заправочные устройства дозирования комплексоната или полифосфатные фильтры. Такие реагенты, как комплексонаты, в опреде-

ленном соотношении с катионами щелочноземельных металлов препятствуют росту кристаллов труднорастворимых солей щелочноземельных металлов и, тем самым, препятствуют появлению накипи [2].

Принцип работы заправочного устройства дозирования комплексоната следующий: исходная вода поступает в трубопровод обратной сетевой воды, и далее в линию всаса сетевых насосов при помощи заправочного устройства через специальный тройник (либо насос-дозатор) в подпиточную воду вводится комплексонат. Стоит учитывать, что применение некоторых реагентов следует четко контролировать по составу исходной воды, температурному режиму (при температурах выше 110–130 ^{o}C происходит химическое разрушение реагента, снижается его эффективность), скорости циркуляции (при низкой скорости циркуляции формируются отложения солей жесткости на рабочих поверхностях котлов) [3].

Полифосфатный фильтр представляет собой корпус, наполненный кристаллами полифосфата натрия. Данное наполнение используется как слой фильтрации. Принцип действия данного фильтра заключается в том, что вода, попадая в слой фильтрации, обогащается полифосфатом натрия, формируется пленка на молекулах кальция и магния. Данный процесс предотвращает образование накипи. Эффективность применения данного фильтра теряется при температурах выше 55 °C [1].

Применение комплексонатов или установка полифосфатных фильтров позволяет эффективно умягчать и подготавливать исходную воду, но в связи с вышеуказанными ограничениями значительно увеличивает риск возникновения непредвиденных эксплуатационных расходов и преждевременного выхода из строя оборудования котельной.

Наибольшую эффективность водоподготовки обеспечивает процесс натрий-катионирования. По данному принципу работают установки умягчения воды непрерывного действия (рис. 2).

Такие установки достаточно компактны для размещения в котельных блочно-модульного типа, автоматизированы, широко применимы на современном котельном оборудовании, в схемах

с разделением на котловой и сетевой контуры, экологичны, а также полностью решают проблему образования накипи на рабочих поверхностях теплообменного оборудования (т.к. в процессе умягчения воды химически ликвидируются соли жесткости). Принцип работы таких установок заключается в том, что из обрабатываемой воды, проходящей через слой загрузки фильтра, удаляются ионы кальция и магния, обусловливающие жесткость воды [4].

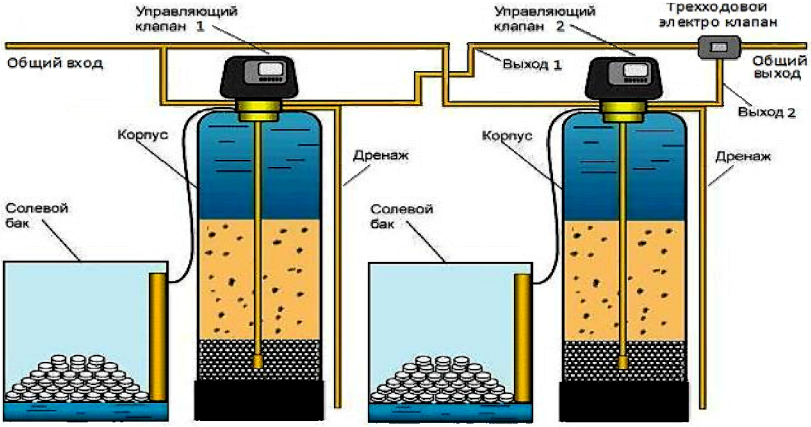


Рис. 2. Установка умягчения воды непрерывного действия

Вышеизложенное указывает на положительную динамику применения установок умягчения воды непрерывного действия в котельных блочно-модульного типа малой мощности, где существуют относительно небольшие нужды в подпитке тепловой сети и применяются высокие требования к качеству воды, используемой в современном теплообменном оборудовании.

Список литературы

1. Очистка воды перед котлом и бойлером [Электронный ресурс]. – URL: https://filter-nn.ru/blog/ochistka-vody-pered-kotlom-i-boylerom/ (дата обращения: 20.02.2023).

2. Потапов С.А., Дрикер Б.Н., Цирульникова Н.В. О применении цинкового комплекса ОЭДФ в системах теплоснабжения

и горячего водоснабжения // Энергосбережение и водоподготовка. – 2004. – № 3. – С. 57–60.

3. Смыкал Е.И., Шепелев М.В. Применение ингибиторов солеотложений в технологии умягчения воды в энергетике [Электронный ресурс] // Актуальные проблемы энергетики: электронное научное издание / ред., компьютерный дизайн И.Н. Прокопеня. Минск: БНТУ ЭФ, 2021. – URL: https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/108315/Aktualnie_problemy_energetiki_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y (дата обращения: 20.02.2023).

4. Умягчение воды или станция очистки воды от солей жесткости [Электронный ресурс]. – URL: https://aquagroup-msk.ru/umyagcheniye-vody (дата обращения: 19.02.2023).

Об авторах

Николаева Анна Григорьевна – магистрант кафедры «Водоснабжение и водоподготовка», Ижевский государственный технический университет имини М.Т. Калашникова, e-mail: anya_nikolaeva_2000@bk.ru

Абрамова Анна Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Водоснабжение и водоподготовка», Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, e-mail: aaa2785@mail.ru

Горбунов Никита Сергеевич – магистрант кафедры «Водоснабжение и водоподготовка», Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, e-mail: ssifonych@list.ru

УДК 504.06

А.А. Перевощикова, Л.В. Рудакова, Я.И. Вайсман

ФОРМИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ НА СОЛЕОТВАЛАХ

Дана краткая характеристика объектов размещения отходов калийной промышленности, в том числе география их распространения. Обозначены экологические проблемы и геоэкологические последствия складирования отходов на солеотвалах. Представлены промежуточные результаты модельного эксперимента по рекультивации отвала (биологический этап). Описаны морфометрические показатели использованных тест-культур, выявлены зависимости толщины глинистого экрана и морфометрических характеристик, использованных для создания фитоценозов.

Ключевые слова: солеотвал, фитоценоз, засоление, рост и масса растений.

A.A. Perevoshchikova, L.V. Rudakova, Ya.I. Vaisman

FORMATION OF STABLE PLANT COMMUNITIES ON SALT TAILINGS PILES

A brief description of potash waste disposal sites, including their geographic distribution, is provided. The ecological issues and geoecological consequences of storing waste on salt tailings piles are discussed. The intermediate results of a tailings pile recultivation model experiment (biological stage) are presented. The morphometric parameters of the test cultures used are described, as are the links between the thickness of the clay screen and the morphometric characteristics used to establish plant communities.

Keywords: salt tailings pile, plant communities, salinization, plant growth and weight.

Солеотвалы калийной промышленности оказывают существенную техногенную нагрузку на все компоненты окружающей среды и рассматриваются в качестве основных источников загрязнения горнопромышленной территории. В зависимости от минерального состава и технологии обогащения отвальный материал содержит каменную соль (NaCl) с различными примесями кизерита, ангидрита, гипса, глины и сильвина (KCl) [1].

По данным, опубликованным геологической службой США (U.S. Geological Survey, 2022), мировыми лидерами по добыче калийных солей являются три страны – Канада, Россия и Белоруссия. Количество накопленных отходов в солеотвалах превышает несколько млн тонн: в Белоруссии более 950 млн т. [2], в России более 270 млн т. [3] и в Канаде более 250 млн т. [4].

Отходы калийной промышленности на территории Верхнекамского месторождения солей (ВКМС) в совокупности с природными факторами изменяют химический состав водных объектов и почв, приводят к оседанию земной поверхности, формированию галофитной растительности в очагах почвенного засоления и возникновению опасных геологических процессов в пределах зоны их влияния.

С целью создания на поверхности солеотвалов устойчивых фитоценозов при реализации технологии рекультивации, направленной на снижение негативного воздействия мест размещения отходов калийной промышленности, был поставлен лабораторный эксперимент.

В экспериментальных установках были смоделированы условия технического этапа рекультивации с использованием отходов солеотвала, природной глины, применяемой в качестве защитного экрана, и зональных почв (дерново-подзолистая почва) (таблица). Контрольные образцы представлены зональной дерново-подзолистой почвой и темно-серой почвой.

Фитотестирование проводили по методике, приведенной в патенте на изобретение [5]. В качестве тест-культуры использовали рекультивационную травосмесь, состоящую из клевера красного (*Trifolium rubens L.),* овсяницы красной (*Festuca rubra L.*), овсяницы луговой (*Festuca pratensis Huds.*) и тимофеевки луговой (*Phleum pratense L.*).

Нормы высева семян были рассчитаны согласно рекомендациям по выращиванию растений в лесной зоне на нарушенных землях и на полигонах ТКО с учетом размеров лабораторных установок. По сравнению с рекомендациями по засеву в лесной зо-

не, нормы были увеличены в 2 раза в связи с тем, что объектом для биологического этапа рекультивации является отвальная территория.

Тест-реакцией служили морфометрические показатели (высота, масса) злаковых и бобовых в случайной выборке из 20 растений, снятых на 21 день после посадки.

Варианты лабораторного эксперимента

Варианты опыта	Толщина слоя отходов из солеотвала, см	Толщина защитного экрана из природной глины, см	Толщина слоя почвы, см
1	8	3	16
2	8	6	13
3	8	10	10
1.1	8	3	16
2.1	8	6	13
3.1	8	10	10
Контроль ДП (дерново-подзолистая почва)	–	–	10
Контроль ТС (темно-серая почва)	–	–	10 см

Выбор травосмеси обусловлен прежде всего устойчивостью растений к неблагоприятным почвенно-климатическим условиям. Например, использованные злаковые культуры (овсяница красная (*Festuca rubra L.*), овсяница луговая (*Festuca pratensis Huds.*) и тимофеевка луговая (*Phleum pratense L.*)) характеризуются неприхотливостью к почвенно-климатическим условиям, способностью к активному развитию на местообитаниях с низкими агрохимическими свойствами почвогрунтов.

Овсяница красная (*Festuca rubra L.*) устойчива к кислотности почвы, что характерно для зональных почв таежной зоны ВКМС. Тимофеевка луговая (*Phleum pratense L.*) сможет обеспечить проективное покрытие до 70 %, кроме того, она характеризуется высокой скоростью роста и нетребовательностью к почвам.

Единственным растением из семейства бобовых в травосмеси является клевер красный (*Trifolium rubens L.).* Он отличается способностью обильно произрастать в естественных условиях на территориях, подверженных влиянию техногенеза. Вместе с тем клевер красный устойчив к среднекислым и слабодернистым почвам и хорошо развивается при недостатке почвенного азота.

Важным представляется вопрос о возможности использования галофитов в травосмеси, поскольку минеральный состав отвала на 90 % представлен галитом. Однако в условиях таежной зоны и при проведении качественного технического этапа рекультивации (выравнивание отвала, создание защитного слоя с помощью геосинтетических материалов, создание буферного слоя) и формировании почвенного слоя с помощью зональных почв галофиты не способны формировать устойчивый фитоценоз. Наилучшими условиями для их роста являются влажные засоленные или соленые почвы (солонцы или солончаки), поэтому их использование для создания травянистого покрова на поверхности солеотвала нецелесообразно.

В результате проведенного эксперимента (рис. 1, 2) установлена следующая зависимость: с уменьшением толщины слоя глинистого экрана происходит снижение морфометрических характеристик растений.

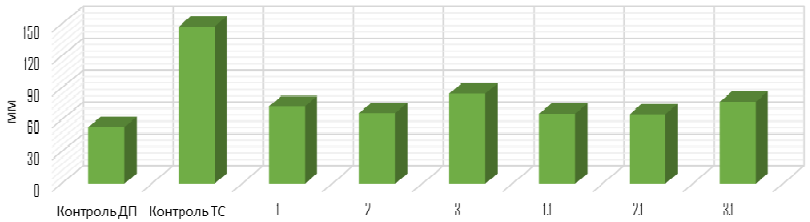


Рис. 1. Средний рост растений, мм

Самые высокие показатели высоты растений (см. рис. 1) отмечаются в вариантах опыта 3 и 3.1 с максимальной толщиной глинистого экрана (10 см), а также на контрольном образце (контроль ТС), что объясняется высоким содержанием в нем питательных веществ P_2O_5 (364 мг/кг) и K_2O (834 мг/кг). Высота рас-

тений из вариантов опыта 1, 1.1 и 2, 2.1 незначительно отличаются друг от друга, но достоверно отличаются от роста растений из вариантов опыта 3, 3.1.

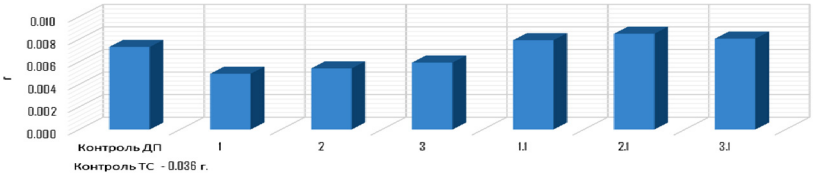


Рис. 2. Средний вес растений, г

Особенно заметны достоверные отличия между вариантами опыта и контролем ДП, что может быть объяснено накоплением питательных веществ в почве, привнесенных из вещества отвала и/или из природной глины.

По результатам средней биомассы наблюдаются незначительные отличия (~ 0,002 г) между всеми вариантами опыта (см. рис. 2). Самые высокие показатели массы растений отмечаются в контрольном образце (контроль ТС), что объясняется агрохимическими свойствами этой почвы. При этом сохраняется тенденция роста биомассы с увеличением толщины защитного экрана.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при использовании тонкого защитного слоя из природной глины (до 10 см), несмотря на значительный почвенный слой, формируется токсичная для растений среда из-за вертикальной миграции солей из отходов в почву.

Подобранная травосмесь создает достаточно устойчивый фитоценоз на солеотвалах, но обеспечение высокой доли проективного покрытия, активного роста и развития растений во многом зависит от технического этапа рекультивации и создания надежного защитного покрытия с целью наименьшего контакта растений с агрессивной средой материала отвала.

Кроме предложенного, необходимо исследовать и другие варианты использования глинистого экрана, почв, внесения удобре-

ний / биопрепаратов для улучшения морфометрических показателей растений, используемых на биологическом этапе рекультивации солеотвала.

Список литературы

1. Schmeisky H., Podlacha G. Natural revegetation of saline waste dumps – drought tolerant specialists and halophytes // Landscape and Urban Planning. – 2000. – Vol. 51, iss. 2–4. – P. 159–163.

2. Хомич В.С. Деградация природной среды в зоне влияния калийных производств // Природная среда Беларуси / под ред. В.Ф. Логинова. – Минск: НО «БИП-С», 2002. – С. 332–347.

3. Перминова А.А., Рудакова Л.В. Рекультивация солеотвалов на калийных предприятиях // Химия. Экология. Урбанистика. – 2022. – Т. 1. – С. 83–88.

4. Tallin J.E., Pufahl D.E. and Barbour S.L. Waste management schemes of potash mines in Saskatchewan // Canadian Journal of Civil Engineering. – 2011. – Vol. 17 (4). – P. 528–542.

5. Пат. РФ № 2620555. Способ оценки биологической активности и токсичности почв и техногенных почвогрунтов / О.З. Еремченко, Н.В. Митракова; опубл. 26.05.2017.

Об авторах

Перевощикова Анна Александровна – магистрант кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: aaperevoshchikova@yandex.ru

Рудакова Лариса Васильевна – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: larisa.rudakova@pstu.ru

Вайсман Яков Иосифович – доктор медицинских наук, профессор кафедры «Охрана окружающей среды», профессор, Пермский национальный исследовательский политехнический университет.

УДК 502/504

Е.А. Пичугин

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ ВБЛИЗИ ОБЪЕКТОВ НАКОПЛЕННОГО ВРЕДА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

Представлены результаты оценки степени химического загрязнения почвы вблизи ряда объектов накопленного вреда окружающей среде.

Ключевые слова: оценка загрязнения, суммарный показатель загрязнения почвы, объекты накопленного вреда, окружающая среда.

E.A. Pichugin

ON THE ISSUE OF ASSESSMENT OF SOIL POLLUTION NEAR OBJECTS OF ACCUMULATED DAMAGE TO THE ENVIRONMENT

The results of assessing the degree of chemical contamination of the soil near a number of objects of accumulated environmental damage are presented.

Keywords: pollution assessment, total indicator of soil pollution, objects of accumulated environmental damage, environment.

Объекты накопленного вреда окружающей среде (объекты НВОС) оказывают значительное негативное воздействие на компоненты природной среды. Анализ материалов инженерных изысканий по обследованию объектов НВОС показал, что основное воздействие объекты оказывают на почвы с миграцией загрязняющих веществ в подземные и поверхностные воды. Содержание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе вблизи большинства объектов НВОС не превышает региональных фоновых концентраций. Почвы в зоне влияния объектов накопленного вреда в основном загрязнены тяжелыми металлами, нефтепродуктами, бенз(а)пиреном.

По состоянию на 26.01.2023 г. в государственный реестр объектов накопленного вреда окружающей среде (ГРОНВОС) включен 531 объект [1]. Одним из показателей федерального проекта «Чистая страна» [2], а также критериями категорирования объектов НВОС [3] являются численность населения, качество жизни которого улучшится в связи с ликвидацией объекта, уровень

и объем негативного воздействия объекта НВОС на состояние компонентов природной среды и население.

Таким образом, оценка уровня химического загрязнения почвы вблизи объектов НВОС с выделением наиболее опасных объектов, требующих ликвидации в первоочередном порядке, является актуальной задачей.

Одним из показателей, используемых для оценки степени химического загрязнения почвы, является суммарный показатель загрязнения (Zc), определяемый суммированием коэффициентов концентрации загрязняющих веществ в почве [4]. Категория загрязнения почвы по показателю Zc оценивается по следующей шкале: чистая (Zc не рассчитывается); допустимая (Zc < 16); умеренно опасная (Zc = 16…32); опасная (Zc = 32…128); чрезвычайно опасная (Zc > 128).

Для оценки степени химического загрязнения почвы были использованы сведения об обследовании объектов НВОС, представленных субъектами Российской Федерации, в части выявленных превышений фоновых концентраций и категорий загрязнения по суммарному показателю Zc в пробах почв вблизи 15 объектов НВОС, представляющих собой несанкционированные свалки ТКО, 15 объектов НВОС, представляющих собой городские свалки и полигоны ТКО, 10 объектов НВОС, представляющих собой пруды-испарители, шламонакопители, иловые карты, хвостохранилища, короотвалы, шлакоотвалы, несанкционированные свалки промышленных отходов, расположенные в Астраханской, Белгородской, Волгоградской, Вологодской, Воронежской, Ивановской, Иркутской, Калининградской, Калужской, Кемеровской, Кировской, Курганской, Московской, Мурманской, Нижегородской, Оренбургской, Псковской, Ростовской областях, Забайкальском, Краснодарском, Пермском, Приморском краях, Республиках Башкортостан, Коми, Крым, Мордовия, Хакасия. Анализ показал (рис. 1–3), что почвы вблизи объектов НВОС, представленных несанкционированными свалками, городскими свалками и полигонами ТКО, в большинстве своем относятся к допустимой категории загрязнения (89,8 % и 86,2 % проб почв соответственно).

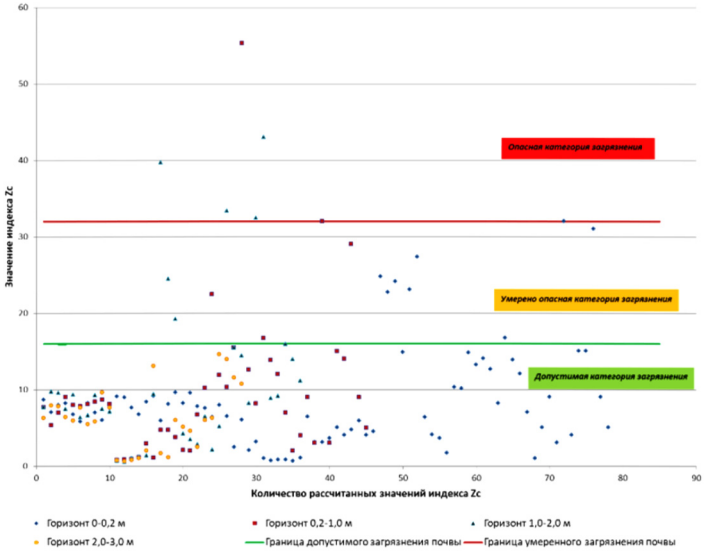


Рис. 1. Суммарный показатель загрязнения почв вблизи объектов НВОС, представляющих собой несанкционированные свалки ТКО

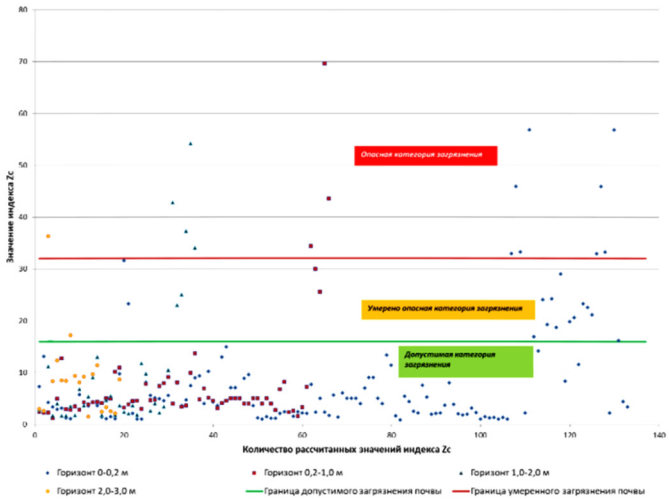


Рис. 2. Суммарный показатель загрязнения почв вблизи объектов НВОС, представляющих собой городские свалки и полигоны ТКО

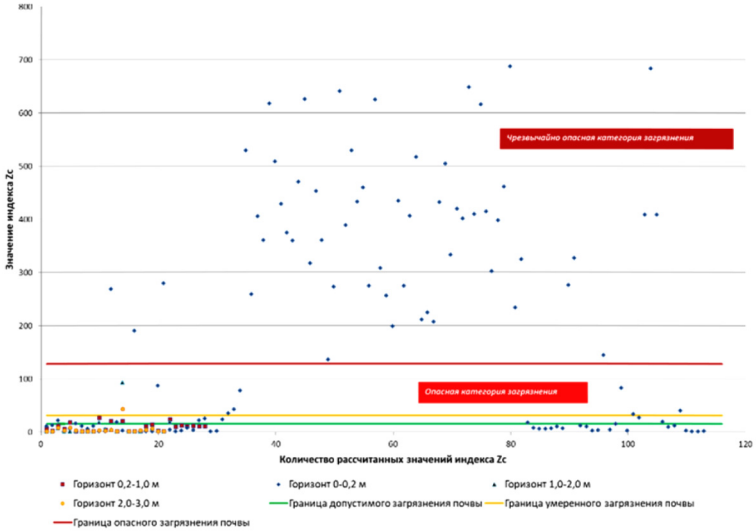


Рис. 3. Суммарный показатель загрязнения почв вблизи объектов НВОС, представляющих собой промышленные объекты НВОС (пруды-испарители, хвостохранилища и др.)

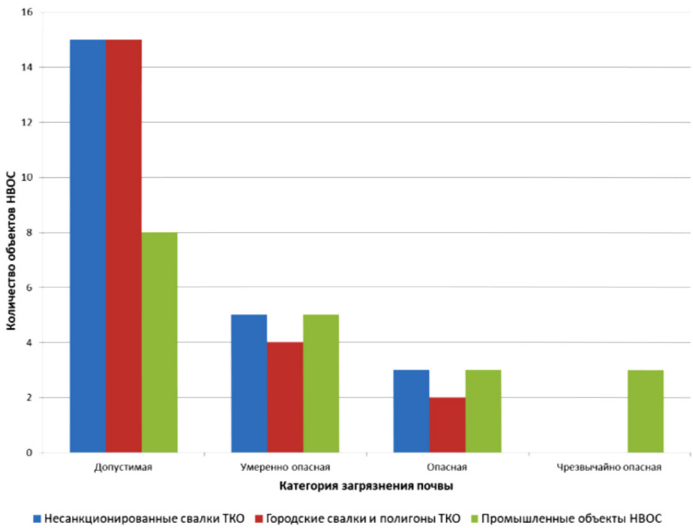


Рис. 4. Категория загрязнения почвы вблизи объектов НВОС

Установлено, что промышленные объекты НВОС оказывают более значительное воздействие на почвы, чем несанкционированные свалки и полигоны ТКО.

Пробы почв вблизи промышленных объектов НВОС в 55,4 % случаев относятся к допустимой, в 8,7 % – к умеренно опасной, в 4,9 % – к опасной и в 31 % – к чрезвычайно опасной категории загрязнения.

Выявлено, что почва вблизи трех объектов НВОС, представляющих собой шламонакопитель, хвостохранилище, несанкционированную свалку промышленных отходов, относится как к допустимой, так и умеренно опасной, опасной и чрезвычайно опасной категории загрязнения (рис. 4).

Представленные результаты могут быть использованы при комплексной оценке техногенного воздействия объектов НВОС на компоненты природной среды с выделением наиболее опасных объектов, требующих ликвидации в первоочередном порядке.

В 2023 г. по заказу Минприроды России ФГБУ УралНИИ «Экология» выполняются работы, направленные на оценку воздействия объектов НВОС на состояние природной среды в Арктической зоне Российской Федерации, а также работы, направленные на оценку площади территории, подвергшейся негативному воздействию в результате влияния объекта НВОС.

Список литературы

1. Ликвидация накопленного вреда окружающей среде [Электронный ресурс]. – URL: https://www.mnr.gov.ru/activity/directions/likvidatsiya_nakoplennogo_vreda_okruzhayushchey_srede/ (дата обращения: 20.02.2023).

2. Об утверждении официальных статистических методологий расчета показателей Федерального проекта «Чистая страна», входящего в состав национального проекта «Экология» [Электронный ресурс]: приказ Минприроды России от 03.03.2021 № 153. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

3. Об утверждении критериев и срока категорирования объектов, накопленный вред окружающей среде на которых подлежит ликвидации в первоочередном порядке [Электронный ресурс]: приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 04.08.2017 № 435. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

4. Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [Электронный ресурс]: постановление главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 № 2. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

Об авторе

Пичугин Евгений Александрович – кандидат технических наук, заместитель начальника отдела проблем охраны окружающей среды, Уральский государственный научно-исследовательский институт региональных экологических проблем (ФГБУ УралНИИ «Экология»), e-mail: pich@ecologyperm.ru

УДК 502.1:544.526:678

Д.А. Романов, В.Н. Панченко

ПЛАВАЮЩИЕ ФОТОКАТАЛИЗАТОРЫ ДЛЯ РАЗЛОЖЕНИЯ КРАСИТЕЛЯ МЕТИЛОВОГО ОРАНЖЕВОГО

Плавающие полимерные фотокатализаторы полиэтилен/TiO_2 (ПЭ/TiO_2) были синтезированы методом полимеризации этилена *in situ* в присутствии титан-магниевого катализатора, полученным последовательным нанесением магний-алюминиевого комплекса и $TiCl_4$ на фотокатализатор TiO_2 промышленной марки *Aeroxide Degussa P25* (TiO_2(P25))**.** Изучено разложением метилового оранжевого (МО) в присутствии композитов ПЭ/TiO_2 при УФ-освещении ($\lambda_{уф} \approx 384$ нм, 15 Вт). Показано, что максимальная скорость разложения МО наблюдается при концентрации ≤ 5 ппм. При повторном использовании ПЭ/TiO_2 не теряют свою активность.

Ключевые слова: плавающие полимерные фотокатализаторы, полимерные нанокомпозиты, метиловый оранжевый, фоторазложение, TiO_2 *Aeroxide Degussa P25*.

D.A. Romanov, V.N. Panchenko

FLOATING PHOTOCATALYSTS FOR DEGRADATION OF METHYL ORANGE DYE

Floating polymer photocatalysts polyethylene/TiO_2 (PE/TiO_2) were synthesized by *in situ* ethylene polymerization in the presence of a titanium-magnesium catalyst obtained by sequentially treatment of industrial *grade Aeroxide Degussa P25* photocatalyst TiO_2(P25) with a magnesium-aluminum complex and $TiCl_4$. It was studied a photodegradation of methyl orange in the presence of PE/TiO_2 composites under UV illumination ($\lambda_{UV} \approx 384$ nm, 15 W). It is shown that the maximum decomposition rate of MO is observed at a concentration of ≤ 5 ppm. PE/TiO_2 does not lose its activity at consecutive cycles.

Keywords: polymer floating photocatalysts, polymer nanocomposits, methyl orange, photodegradation, TiO_2 *Aeroxide Degussa P25.*

Красители широко используются в текстильной, бумажной, пищевой промышленности. Большое количество отходов требует от ученого сообщества разработать методы их утилизации. Фотокаталитическое разложение промышленных отходов красителей мо-

жет быть очень перспективным и экологически чистым методом. Сравнительно недавно появились сообщения о разработке полимерных плавающих фотокатализаторов (ПФК) для очистки сточных вод, состоящих из плавающей матрицы (политерефталат, полистирол, полиметилметакрилат и т.п.) и фотокатализатора (TiO_2, ZnO и т.п.) [1]. Закрепление фотокатализатора на плавающей подложке снижает агломерацию его частиц, тем самым увеличивая рабочую поверхность катализатора. Для таких катализаторов достигается максимальное насыщение кислородом и доступно солнечное излучение, т.к. они находятся на границе раздела воды и воздуха. Кроме того, ПФК не требуют процесса перемешивания, пригодны для многократного использования, а после цикла очистки их удобно извлекать с водной поверхности.

Для синтеза ПФК был использован промышленный диоксид титана марки P25 *Aeroxide Degussa P25*, состоящий из 80 вес. % анатаза и 20 вес. % рутила. На поверхности фотокатализатора TiO_2(P25) был сформирован титан-магниевый катализатор согласно [2]. Для этого предварительно дегидроксилированный при 450 °C TiO_2 вначале обрабатывали магнийорганическим соединением $MgBu_2$, а затем $TiCl_4$. Композиты ПЭ/TiO_2(P25) были получены суспензионной полимеризацией этилена в присутствии сокатализатора $AlEt_3$ в среде гептана. Содержание ПЭ в композите варьировали временем полимеризации.

TiO_2 85.4 вес.%ПЭ/TiO_2

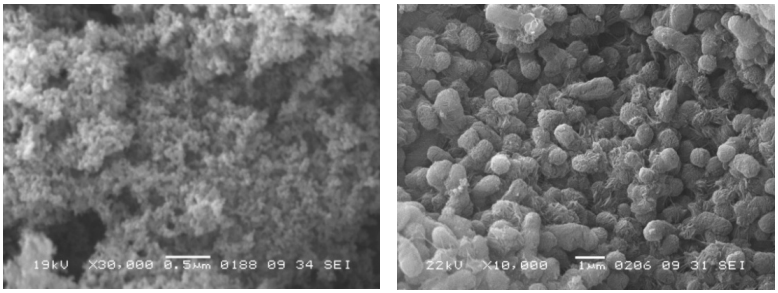


Рис. 1. СЭМ фотографии TiO_2 и композита 85,4 вес. % ПЭ/TiO_2

На рис. 1 приведены фотографии сканирующей электронной спектроскопии (СЭМ) TiO_2 и композита 85,4 вес. % ПЭ/TiO_2(P25). Исходный TiO_2(P25) состоит из мелких частиц сферической формы, диаметр которых меньше 50 нм (согласно данным XRD, диаметр 30 нм). Композит 85,4 вес. % ПЭ/TiO_2(P25) также состоит из частиц сферической формы, диаметр частиц которых 150–200 нм.

При смешении TiO_2(P25) с водой образуется суспензия, которая быстро расслаивается. Композиты ПЭ/TiO_2, содержащие более 20 вес. % ПЭ, хорошо держатся на воде и не тонут в течение длительного времени (не менее 3 месяцев).

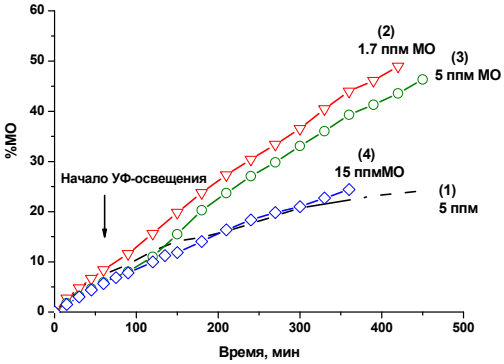
Исходный фотокатализатор TiO_2(P25) имеет значение Eg, равное 3,0 эВ, что совпадает с литературными данными [3]. Покрытие фотокатализатора TiO_2(P25) полимером приводит к увеличению Eg, и оно достигает предельного значения 3,16 эВ. Рост Eg связан с поглощением ПЭ.

Фоторазложение красителя метилового оранжевого проводили в реакторе, содержащем 60 мл водного раствора МО с pH = 6,7 с загрузкой 0,1 г композита 26,1 вес. % ПЭ/TiO_2(P25). Раствор МО выдерживали в темноте с целью достижения адсорбционно-десорбционного равновесия в течение 1 ч. Затем включали УФ-лампу ($\lambda_{уф} \approx 384$ нм, 15 Вт). Изменение концентрации раствора МО в ходе его разложения определяли по UV-Vis-спектрам проб на приборе UV-2501 PC Shimadzu.

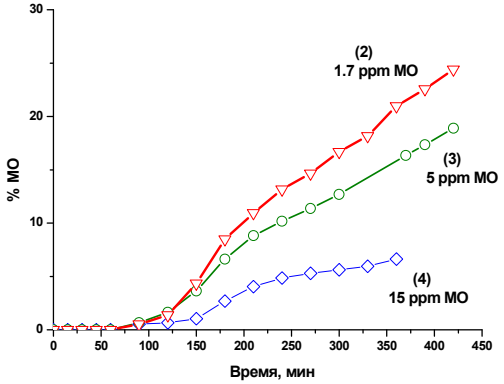
На рис. 2 приведены кинетическая кривая адсорбции МО в отсутствие освещения (рис. 2, *а*, кривая *1*) и изменение количества МО в реакции фотокатализа при различных начальных концентрациях МО (рис. 2, *а*, кривые *2–4*). Видно, что в отсутствии УФ-освещения адсорбционно-десорбционное равновесие в системе МО(раствор)-МО(26,1 вес. % ПЭ/TiO_2(P25)) устанавливается в течение 6 ч. Это связано с тем, что исследование проводили без перемешивания смеси. Кроме того, вода является несмачивающей жидкостью для ПЭ.

Количество адсорбированного МО при отсутствии освещения и количество разложенного МО при включении УФ-освещения возрастает с уменьшением концентрации МО (таблица, оп. 1, 2, 5). Уве-

личение количества фотокатализатора 26,1 вес. % ПЭ/TiO_2(P25) в 2 раза приводит к двукратному росту разложения МО (таблица, оп. 2, 3). Повторное использование композита 26,1 вес. % ПЭ/TiO_2(P25) слабо влияет на скорость фоторазложения МО (таблица, оп. 2, 4).



а



б

Рис. 2. Кинетическая кривая адсорбции МО в отсутствие освещения (кривая *1*) и изменение количества МО в реакции фотокатализа при различных концентрациях (кривые *2–4*) (*а*); изменение количества МО в реакции фотокатализа при различных концентрациях без учета адсорбции МО (*б*)

Изменение pH раствора, изменение количества МО в ходе реакции

№ п/п	Концентрация МО, ппм	Загрузка ФК, г	$pH_к$	Изменение количества МО, %		
				Без освещения 1 ч	УФ-освещение[2]	
					3 ч	4 ч
1	1,7	0,1	6,40	8,4	13,22	16,68
2	5,0	0,1	6,40	6,8	10,16	12,77
3	5,0	0,2	6,35	8,8	19,46	24,00
4[1]	5,0	0,1	6,45	5,5	9,87	12,49
5	15	0,1	6,90	6,6	4,78	5,54

Примечание: [1] – 2-й цикл; [2] – без учета адсорбции МО (рис. 2, *б*).

В экспериментах с концентрацией МО ≤ 5 ппм в конце реакции происходит уменьшение pH раствора, в то время как при концентрации 15 ппм pH раствора растет. Согласно [1, 3], разложение МО начинается с деметилирования 4-диметиламинофенильной группы, затем происходит расщепление азо-связи и ароматических колец с образованием минеральных кислот. В конце фоторазложения МО образуются углекислый газ и вода. Реакция деметилирования МО приводит к образованию 4-аминофенильной группы, которая при взаимодействии с водой повышает значение pH. Таким образом, в экспериментах с концентрацией МО ≤ 5 ппм происходит более глубокое разложение МО.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания Института катализа СО РАН (проект АААА-А21-121011490008-3).

Романов Д.А. выражает благодарность НГТУ за стипендиальную поддержку в рамках общеуниверситетского конкурса «Студенческий грант НГТУ».

Список литературы

1. A review on floating nanocomposite photocatalyst: Fabrication and applications for wastewater treatment / A.M. Nasir [et al.] // Journal of Water Process Engineering. – 2020. – Vol. 36. – P. 1–16.

2. Панченко В.Н., Захаров В.А., Мацько М.А. Изучение бис(имино)пиридильного комплекса Fe(II) и титан-магниевого катализатора, закрепленных на нафене, для синтеза композитов ПЭ–нафен методом полимеризации in situ // Высокомолекулярные соединения. Серия Б. – 2022. – Т. 64, № 6. – С. 393–401.

3. Lan Y., Lu Y., Ren Z. Mini review on photocatalysis of titanium dioxide nanoparticles and their solar applications // Nano Energy. – 2013. – Vol. 2. – P. 1031–1045.

Об авторах

Романов Данил Андреевич – студент IV курса кафедры «Инженерные проблемы экологии», Новосибирский государственный технический университет; лаборант Института катализа имени Г.К. Борескова СО РАН, e-mail: d.romanov.2019@stud.nstu.ru

Панченко Валентина Николаевна – кандидат химических наук, доцент, старший научный сотрудник Института катализа имени Г.К. Борескова; доцент кафедры «Инженерные проблемы экологии», Новосибирский государственный техническоий университет, e-mail: panchenko@catalysis.ru

УДК 625.7, 504.06

В.К. Салахова, Л.В. Рудакова, В.Н. Коротаев

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ ТАРЫ ДЛЯ МОТОРНОГО МАСЛА ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНА

Тара с остатками моторного масла при утилизации, обезвреживании и захоронении создает повышенные риски техногенного воздействия на объекты окружающей среды, т.к. моторные масла содержат в своем составе большое количество химических веществ, оказывающих негативное воздействие на среду обитания человека и других организмов. Для оценки возможной эмиссии нефтепродуктов из тары в окружающую среду, расчета количества моющих средств, расходуемых при подготовке тары к утилизации и установлению технологических параметров различных методов утилизации, был рассчитан объем моторного масла, который остается в таре после ее использования. Было установлено, что чем меньше объем тары, тем выше процент остатков нефтепродуктов по отношению к массе тары, что ведет к увеличению материальных затрат на подготовку отходов тары к вторичному использованию.

Ключевые слова: нефтепродукты, моторное масло, тара из полиэтилена, охрана окружающей среды, утилизация, переработка.

V.K. Salakhova, L.V. Rudakova, V.N. Korotaev

GEOECOLOGICAL HAZARD OF POLYETHYLENE MOTOR OIL PACKS

Containers with engine oil residues during disposal create increased risks of man-made impact on environmental objects, since engine oils contain a large amount of chemicals that have a negative impact on the human environment and other organisms. To assess the possible emission of petroleum products from containers into the environment, calculate the amount of detergents used in preparing containers for disposal and establish the technological parameters of various methods of disposal, it is necessary to estimate the volume of engine oil that remains in the container after its use.

Keywords: petroleum products, motor oil, polyethylene containers, environmental protection, recycling, recycling.

На сегодняшний день наиболее часто применяемыми материалами для изготовления тары для транспортировки и временного хранения нефтепродуктов, таких как моторные масла, являются полиэтилены низкого и высокого давления (ПНД, ПВД).

В России к 2023 г. объем образования отходов тары для моторного масла будет составлять порядка 200 млн шт. Тара, содержащая в себе остатки моторного масла, при утилизации, обезвреживании и захоронении на полигонах создает повышенные риски техногенного воздействия на объекты окружающей среды (ОС), т.к. моторные масла содержат в своем составе большое количество химических веществ, оказывающих негативное воздействие на среду обитания человека и других организмов [1, 2]. Входящие в состав моторных масел жидкие смеси изопарафиновых, нафтеновых, ароматических и нафтеноароматических углеводородов, окислы

и сульфаты Ba, Ca, Mg, соединения тяжелых металлов, полиолефины, диэфиры, салицилаты формируют III класс опасности для ОС. В то же время сама тара из ПНД характеризуется IV классом опасности.

В настоящее время существует множество способов утилизации отходов ПНД с остатками моторных масел с получением из них материального и энергетического ресурса. Однако большинство методов утилизации требуют тщательной предварительной отчистки тары от загрязнений. При этом происходит образование большого объема сточных вод и шлама, которые требуется очищать при помощи фильтров и обезвреживать с использованием химических реагентов [3, 4].

Для оценки возможной эмиссии моторного масла из тары в ОС, расчета количества моющих средств, расходуемых при подготовке тары к утилизации и установлению технологических параметров различных методов утилизации, необходимо оценить объем моторного масла, который остается в таре после ее использования.

В качестве объектов исследования была выбрана тара из ПНД емкостью 1, 4, 10, 20, 30 л (ООО «TARAPLASTIC», г. Москва) как имеющая наибольшее использование. Характеристики тары,

используемой для временного хранения моторного масла представлены в табл. 1. В качестве нефтепродуктов выбраны масла 80w-90 и 15w-40 (ООО «ЛЛК-Интернешнл»).

Таблица 1

Характеристики тары

Показатель	Тара				
Вместимость, л	1	4	10	20	30
Площадь внутренней поверхности тары, мм^2	$85 \cdot 10^3$	$259 \cdot 10^3$	$343 \cdot 10^3$	$552 \cdot 10^3$	$755 \cdot 10^3$
Масса пустой тары, г	70	240	460	805	1100

Для определения толщины слоя моторного масла, который остается после опорожнения тары на ее внутренней поверхности, использовали лист из ПНД. Эксперимент проводили при температуре 20 С^o, угол стекания масла устанавливался 60° к горизонту, тем самым имитировался налив моторного масла из тары. Толщина слоя масла (h), который формируется при стекании по наклонной поверхности, определяли расчетным методом исходя из соотношения $h = V/S$, где V – объем масла; S – площадь, которую занял данный объем при стекании по наклонной поверхности. Кинематическая вязкость масел определялась с помощью вискозиметра, при +20 ^{o}С образец 80w-90 имеет вязкость 280 сСт, образец 15w-40 имеет вязкость 168 сСт.

Было установлено, что образец масла 80w-90 при стекании под углом 60° (время стекания 60 с) формирует толщину слоя 0,125 мм, образец 15w-40 формирует толщину слоя 0,095 мм. На формирование толщины слоя моторного масла влияет вязкость масла, которая, в свою очередь, зависит от температуры.

Используя полученную площадь внутренней поверхности тары (см. табл. 1) и величину слоя масла, определили расчетное количество моторного масла, остающееся в таре после ее опорожнения при температурах +20 и при +40 °С. Расчет объема масла, остающегося в таре, представлен в табл. 2

Таблица 2

Объем моторного масла в таре после опорожнения при угле 60°, мл

Масло		Тара, л				
		1	4	10	20	30
80w-90	при +20 °С	10,6	32,4	42,9	69,0	94,4
	при +40 °С	7,7	23,3	30,8	49,7	67,9
15w-40	при +20 °С	8,1	24,6	32,6	52,4	71,7
	при +40 °С	5,5	16,8	22,3	35,9	49,1

При использовании 1 шт тары в 30 л в ОС попадет от 94,4 до 49,1 мл моторного масла. При использовании 30 шт тары в 1 л в ОС попадет от 318 до 165 мл, что сформирует техногенную нагрузку в 3,3–3,4 раза больше за счет попадания моторного масла в объекты окружающей среды или за счет большего объема материальных и энергетических ресурсов, используемых для обезвреживания негативного воздействия моторного масла.

По полученным выше данным об остатках моторного масла в таре был рассчитан объем моторного масла, который будет поступать на полигон ТКО или на линию утилизации в расчете на 1 т тары из ПНД при различной ее емкости. Полученные данные в виде графических зависимостей содержания моторного масла различной вязкости при утилизации 1 т тары от ее объема представлены на рисунке.

Анализ зависимостей содержания моторного масла в утилизируемой таре от объема тары позволяет сделать вывод, что чем меньше объем тары, тем выше процент остатков моторного масла по отношению к массе тары, что ведет к увеличению материальных затрат на подготовку отходов к вторичному использованию. Наиболее оптимальный объем тары для временного хранения и транспортировки моторного масла с позиций обеспечения низкого уровня опасности для геосферных оболочек является объем более 10 л.

В ходе исследования было дополнительно установлено, что измельченная тара, загрязненная моторным маслом в установленных

количествах, может быть успешно использована для производства органоминеральных смесей, используемых для дорожного строительства.

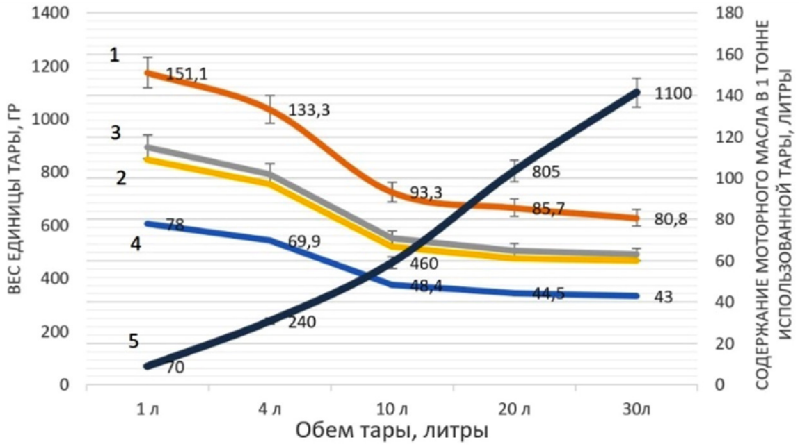


Рис. Зависимости содержания моторного масла в 1 т использованной тары: *1* – масло 80w-90 при +20 °С; *2* – масло 80w-90 при +40 °С; *3* – масло 15w-40 при +20 °С; *4* – масло 15w-40 при +40 °С; *5* – вес единицы тары, г

Вовлекая материальный ресурс моторного масла в структурообразование асфальтобетона, возможно достичь снижения геоэкологической опасности до приемлемого уровня. Данная технология позволяет использовать отходы тары, загрязненной моторным маслом, без предварительной очистки отходов. За счет этого будет достигнуто снижение материальных и энергетических затрат, что в целом позволит создать ресурсосберегающую технологию утилизации тары.

Список литературы

1. Stark J.S. Effects of Lubricant Oil and Diesel on Macrofaunal Communities in Marine Sediments: A Five Year Field Experiment in Antarctica // Environmental Pollution. – 2022. – Vol. 311. – P. 119885.

2. Tyuryukhanov K.Y., Pugin K.G. An impact of waste foundry sand on asphalt concrete mixture // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference «FarEastCon 2019». – 2020. – P. 22–79.

3. Guo G., Li K., Lei M. Accumulation, environmental risk characteristics and associated driving mechanisms of potential toxicity elements in roadside soils across China // Science of The Total Environment. – 2022. – Vol. 835. – P. 155342. DOI: org/10.1016/j.scitotenv.2022.155342

4. Jassim H.M., Mahmood O.T., Ahmed S.A. Optimum Use of Plastic Waste to Enhance the Marshall Properties and Moisture Resistance of Hot Mix Asphalt // International Journal of Engineering Trends and Technology. – 2014. – Vol. 7. – P. 18–25.

Об авторах

Салахова Вероника Константиновна – аспирант кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: veronika815@inbox.ru

Рудакова Лариса Васильевна – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: larisa@eco.pstu.ac.ru

Коротаев Владимир Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет

УДК 579.26 Б

Б.Д. Тавадзе, М.А. Бабаева

ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИИ НА ЗДОРОВЬЕ ЛЮДЕЙ И НА СРЕДУ ИХ ОБИТАНИЯ

Даны характеристики ионизирующих излучений, которые имеют как естественное, так и антропогенное происхождение. Представлена информация о прямых, косвенных и опосредованных влияниях ядерного взрыва. Рассмотрены проблемы, связанные с разрушением озонового слоя и потеплением климата под влиянием ядерного взрыва.

Ключевые слова: ядерный взрыв, ионизирующие излучения, ядерный удар, ударная волна, световое излучение.

B.D. Tavadze, M.A. Babaeva

THE IMPACT OF RADIATION ON HUMAN'S HEALTH AND THEIR ENVIRONMENT

The characteristics of ionizing radiation, which have both natural and anthropogenic origin, are given. Information is provided on direct, indirect and mediated effects of a nuclear explosion. The problems associated with the destruction of the ozone layer and climate warming under the influence of a nuclear explosion are considered.

Keywords: nuclear explosion, ionizing radiation, nuclear strike, shock wave, light radiation.

Излучения, которые при соприкосновении с веществами вызывают их ионизацию, называют ионизирующими, это значит, что они способны образовать в них заряженные атомы или ионы [1]. Радиоактивные вещества имеют не только антропогенное происхождение, но и широко встречаются в природе. Мы получаем дозу облучения во время еды, которая подвергается солнечному и космическому облучению, часть получаем от естественных радоизотопов – это углерод-14, калий-40 и радон, а также и от самой Земли. Углерод-14 образуется на высоте от 9 до 15 км и является результатом взаимодействия космических лучей с веществом атмосферы.

Калий-40 поступает в организм человека и животных с пищевыми продуктами, в частности картофеля, бобовых, семечек, подсолнечника, орехов и бананов. Радон – радиогенный газ. Каменные породы продуцирует большое количество атомов радона, которые через трещины в земной коре или вместе с потоками грунтовых вод поступают к поверхности земли [1]. К антропогенным источникам радиации относятся: медицинские процедуры и методы лечения, атомная энергетика, ядерные взрывы, мусорные свалки, строительные материалы, сжигание топлива, телевизоры и компьютеры и т.д. Естественная радиация на земле существовала всегда, можно сказать, до появления человека, а вот антропогенная приумножилась по мере развития цивилизации и общества.

Из всех вышеперечисленных самими опасными и смертоносными для самого человека и окружающей среды являются ядерные взрывы. Опасность ядерных взрывов определяется тем, что они оказывают как прямое (непосредственное), так и косвенное, опосредованное влияние (последствия) на людей и среду их обитания. В связи с этим и изучение влияния радиации и непосредственно ядерных взрывов на все живое является самым актуальным.

Цель работы: определить опасность ядерных взрывов и радиационных излучений для человека и для окружающей среды.

Ядерные взрывы оказывают разного рода воздействия. Они выражаются как в прямом, так и косвенном и опосредованном воздействии.

Прямое (непосредственное) влияние ядерных взрывов выражается в появлении следующих факторов:

1. *Ударная волна* (ущерб от взрыва). Взрывная энергия ядерного взрыва способствует образованию ударной волны (50 %), светового излучения (35 %), проникающей радиации (4 %), радиоактивной зараженности местности (10 %) и электромагнитного импульса (1 %). Ядерный взрыв имеет сверхзвуковую скорость, что приводит к разрушению зданий (прямое воздействие) оборудования и техники, кроме того, проводит к поражению незащищенных людей (переломы, повреждение внутренних органов, разрыв кро-

веносных сосудов). Взрыв также приводит и к косвенному воздействию, что выражается в образовании обломков зданий и сооружений, падении камней, битого стекла и деревьев на людей.

2. *Тепловые излучения*. Световое излучение – это поток лучистой энергии, включающий в себя как ультрафиолетовое, так и длинноволновое инфракрасное и видимое излучения. Источником светового излучения является светящаяся область взрыва. Световое излучение, или так называемая «вспышка», длится всего 20 с. Тепловые излучения вызывают фотохимический ожог, т.е. временное ослепление, ожог открытых участков тела человека (прямые ожоги), а также ожоги от горящей одежды (вторичные ожоги).

3. *Проникающая радиация*. Радиация является самым опасным последствием ядерного взрыва. Это обусловлено тем, что происходит образование ионизирующих излучений – это альфа-, бета-, гамма- излучения. Они обладают как ионизирующей (альфа), так и проникающей (бета, гамма), способностью [3]. Данные излучения вызывают биологическое воздействие, которое выражается в том, что в клетках человеческого тела образуются не свойственные ему окислы в связи с разложением воды в клетках (радиолиз). Эти окислы (H_2O_2, OH^- и HO_2^-) меняют pH среды и вызывают разрушение органических веществ, а в дальнейшем и лучевую болезнь.

4. *Электромагнитные импульсы* (ЭМИ). При взрыве между ионизирующими токами и световым излучением возникает электромагнитное поле с электромагнитным импульсом. ЭМИ не оказывают влияния на человека, зато серьезное влияние оказывают на электроприборы и линии электропередач. Влияние на людей возможно, если произойдет соприкосновение с протяженными проводными электролиниями во время взрыва**.**

5. *Остаточная радиация*. Сразу после взрыва образуется первичная радиация, которая смертельно опасна для незащищенного человека. После взрыва первичная радиация уменьшается, но наступает следующая угроза в виде пыли, грязи и осадков, которые являются радиоактивными и оседают на поверхность земли [2]. Они обычно распространяются на большие расстояния от места

взрыва, т.е. радиация охватывает большие территории. Данная радиация постепенно угасает, но незащищенные люди могут получить опасную для жизни дозу радиации.

Косвенные эффекты. К основным косвенным эффектам относят следствие дезинтеграции экономики, разрушения материально-технических основ и социальных аспектов жизни общества. К ним следует отнести нехватку продуктов питания, жилья, вспышки эпидемий, существенное учащение заболеваемости, включая психические заболевания, резкое ухудшение медицинской помощи.

Опосредованное влияние заключается в возможности истощения озонового слоя атмосферы, изменения климата и т.д. Известно, что на жизнь стратосферного озона влияют такие газы, которые в основном имеют антропогенное происхождение, например оксиды азота, фреоны и хлор. Тепловой фактор при взрыве какое-то время вызывает резкое рекордное повышение температуры воздуха, которая через некоторое время также быстро спадает. Газы, которые при этом претерпели химические превращения, не могут с такой скоростью перейти в первоначальное состояние, и образующиеся соединения начинают разлагать озон, вступая с ним в реакцию. В основном это оксиды азота $NO + O_3 = NO_2 + O_2$, $NO_2 + O = NO + O_2$ и оксиды водорода $OH + O_3 = HO_2 + O_2$, $HO_2 + O = OH + O_2$. Климатический эффект после ядерных взрывов обусловлен пожарами и выбросами огромного количества сажи.

Самым приемлемым для защиты после взрыва является специальный бункер, но при отсутствии специального сооружения наилучшим убежищем будет глубокая траншея, окоп, покрытый сверху крышей со слоем земли толщиной метр или более. Если попали в зону взрыва, одежду необходимо уничтожить, закопав глубоко в землю, или провести дезактивацию. Необходимо протирать тело и одежду землей, находясь в убежище. Затем стряхнуть землю и удалить ее по мере возможности с места нахождения. Если на теле оказались раны, их необходимо промыть чистой водой и закрыть, чтобы не допустить проникновение альфа-, бета- и гамма-

частиц. Также необходимо защитить глаза и дыхательные пути, чтобы частицы не могли попасть в кровь. Те продукты, которые оказались в открытых местах, конечно, не пригодны для употребления. Больше всего радиации подвергаются молочные продукты, продукты, содержащие соль и морепродукты. Исследования доказали, что самыми безопасными являются консервированная овощная продукция, вяленое и обработанное мясо. Большей частью радиации подвергаются кости, меньше – постное мясо, а жир – меньше всего. Вода в течение 48 ч не пригодна для питья, как надземная, так и подземная, если она не была защищена специальными устройствами. Животные, которые ведут подземный образ жизни, меньше подвергаются воздействию радиации, поэтому их можно употребить в пищу – это кролики, барсуки, полевки. Растения в сыром виде – только корнеплоды и клубнеплоды. Птицы также подвергаются воздействию, но яйца употреблять можно.

Исходя из вышеизложенного можно сказать, что ядерные взрывы оказывают прямое (непосредственное), косвенное и опосредованное воздействие на людей и среду их обитания.

Ионизирующие излучения являются важным компонентом ядерных взрывов. Они отличаются по воздействию и по силе. Биологическое воздействие этих излучений вызывает лучевую болезнь. Роль ядерного взрыва в разрушении озонового слоя еще не до конца изучена, хотя изменение климата, как доказывают ученые, явно будет иметь место. Несмотря на ужасные последствия ядерного взрыва, все-таки существуют определенные условия и методы для защиты и сохранения жизни на земле.

Список литературы

1. Экология, охрана природы и экологическая безопасность: учебное пособие / под ред. проф. В.И. Данилова-Данильяна: в 2 кн. Кн. 1. – М.: Изд-во МНЭПУ, 1997. – 424 с.

2. Алиев Р.А., Калмыков С.Н. Радиоактивность. – М.: Лань, 2013. – 304 с.

3. Булдаков Л.А., Калистратова В. С. Радиоактивное излучение и здоровье. – М.: Информ-Атом, 2013. – 165 с.

Об авторах

Тавадзе Бабо Джемаловна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Гуманитарно-экономические и естественно-научные дисциплины», Тюменский индустриальный университет, филиал в г. Нижневартовске, e-mail: babo.tavadze@yandex.ru

Бабаева Мария Александровна – студентка кафедры «Нефтегазовое дело», Тюменский индустриальный университет, филиал в г. Нижневартовске, e-mail: mashenka20029@gmail.com

УДК 661.53:551.5887

И.Н. Ташкинова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛЕРОДОЕМКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА АММИАЧНОЙ СЕЛИТРЫ НА ПРИМЕРЕ ПРЕДПРИЯТИЯ В ПЕРМСКОМ КРАЕ

Выполнен инвентаризационный анализ жизненного цикла производства аммиачной селитры на примере одного из предприятий Пермского края. Выявлены основные углеродоемкие процессы производства, разработаны рекомендации по сокращению прямых выбросов парниковых газов от производства аммиачной селитры с учетом допущения отклонения фактических данных материальных потоков от проектных на 30 %.

Ключевые слова: углеродное регулирование, азотные удобрения, аммиачная селитра, углеродоемкость процесса, Пермский край.

I.N. Tashkinova

DETERMINATION OF CARBON-INTENSIVE AMMONIUM SALTPETER PRODUCTION PROCESSES ON THE EXAMPLE OF AN ENTERPRISE IN THE PERM REGION

An inventory analysis of the life cycle of ammonium nitrate production was carried out using the example of one of the enterprises in the Perm region. The main carbon-intensive production processes have been identified; recommendations have been developed to reduce direct greenhouse gas emissions from the production of ammonium nitrate, taking into account the assumption of a deviation of actual data of material flows from the design by 30 %.

Keywords: carbon regulation, nitrogen fertilizers, ammonium saltpeter, carbon intensity of the process, Perm region.

В настоящее время модернизация производственных мощностей для многих предприятий в России стала необходимостью, обусловленной экономическими потерями, связанными с утверждением законопроектов о снижении выбросов парниковых газов самых углеродоемких отраслей промышленности (производства стали, цемента, алюминия, азотных удобрений и др.).

С целью выявления единичных процессов, потенциально вырабатывающих наибольшие объемы эмиссий парниковых газов, выполнен инвентаризационный анализ жизненного цикла на примере производства аммиачной селитры на одном из крупнейших производителей азотных удобрений и аммиака в России – «Азот» ОАО «ОХК «УРАЛХИМ», г. Березники [1]. Исследование проводилось для разработки рекомендаций по сокращению прямых выбросов парниковых газов от типового производства аммиачной селитры.

Для достижения поставленной цели выполнен инвентаризационный анализ материальных потоков процесса получения аммиачной селитры и составлен материальный баланс процесса на рассматриваемом предприятии. Информация об используемой на предприятии технологии и количестве выбросов получена из информационно-технологического справочника по наилучшим доступным технологиям [2]. Поскольку данные справочника не учитывают фактические отклонения в использовании ресурсов, в рамках работы выполнено два расчета: по проектным данным и с принятым допущением отклонения фактических данных от проектных на 30 %. Данные о выходных потоках, не относящихся к выбросам в атмосферных воздух, не учитывались; данные о транспортировке продукции в границах системы также не учитывались в связи с неопределенной политической ситуацией. На рисунке представлена исследуемая продукционная система с указанием всех единичных процессов, входных и выходных потоков в границах системы по проектным данным. Визуализация продукционной системы выполнена с применением программного продукта STAN 2.6.

Согласно проведенному анализу выявлены следующие наиболее ресурсо- и энергозатратные процессы технологии получения аммиачной селитры, потенциально являющиеся наиболее углеродоемкими:

– прием и нагрев азотной кислоты;

– нейтрализация азотной кислоты газообразным аммиаком в аппарате использования теплоты нейтрализации;

– выпарка раствора аммиачной селитры до состояния 99,7%-го плава;

– гранулирование плава в башне.

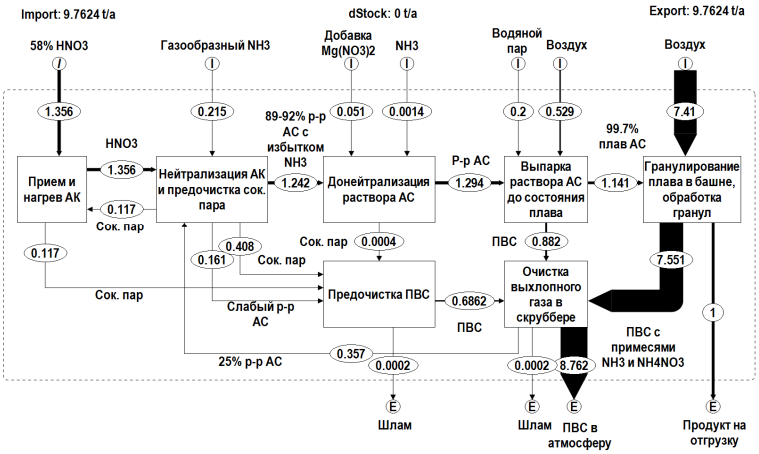


Рис. Продукционная система производства аммиачной селитры (расчет по проектным данным): АС – аммиачная селитра; сок. пар – соковый пар; АК – азотная кислота; ПВС – паровоздушная смесь

По результатам инвентаризационного анализа процесса производства аммиачной селитры [3, 4] получены данные о прямых выбросах парниковых газов при производстве аммиачной селитры (таблица).

Прямые выбросы парниковых газов при производстве аммиачной селитры

Наименование парникового газа	Потенциал глобального потепления (GWP*)	По проектным данным		С учетом 30%-го отклонения фактических данных от проектных	
		Объем выброса на 1 т продукции, т/1 т аммиачной селитры	Годовой объем выброса, т/год	Объем выброса на 1 т продукции, т/1 т аммиачной селитры	Годовой объем выброса, т/г.
Диоксид углерода	1	0,435805	601 410,9	0,73648	1 016 342,4
Закись азота	298	0,001590	2 194,2	0,00260	3 588,0
Всего в CO_2-экв.	–	0,909625	1 255 282,5	1,51128	2 085 566,4

Примечание: * Global warming potential (GWP) – коэффициент, определяющий степень воздействия различных парниковых газов на глобальное потепление.

Данные получены на основе расчетов прямых выбросов парниковых газов от полупродуктов аммиачной селитры (аммиака [5] и азотной кислоты) в соответствии с методическими указаниями, утвержденными в России (Приказ Минприроды РФ от 30 июня 2015 г. № 300).

По полученным данным наибольший объем выбросов парниковых газов при получении аммиачной селитры приходится на процесс производства азотной кислоты и составляет 0,4738 т CO_2-экв/т аммиачной селитры (расчет по проектным показателям) и 0,7748 т CO_2-экв/т аммиачной селитры с учетом допущения отклонения фактических данных от проектных на 30 %.

Согласно расчету по проектным данным, объем выбросов парниковых газов на 1 т аммиачной селитры составляет 0,92 т CO_2-экв, годовой объем выбросов парниковых газов равен 1 271 тыс. т CO_2-экв, что удовлетворяет критерию «зеленых» проектов по выбросам парниковых газов для производства азотных удобрений. При расчетах с допущением отклонения фактических данных от проектных на 30 % выброс CO_2-экв на 1 т аммиачной селитры составил 1,53 т на 1 т аммиачной селитры и 2 106 тыс. т. CO_2-экв в год, что превышает установленный критерий «зелености» производства и требует разработки и внедрения мероприятий, позволяющих снизить выбросы парниковых газов.

По результатам проведенных исследований разработаны рекомендации по сокращению прямых выбросов парниковых газов от производства аммиачной селитры. Снижения прямых выбросов парниковых газов можно добиться совершенствованием, внедрением и корректировкой следующих процессов:

– прием конверсионных растворов нитрата аммония из производства фосфорных удобрений, где аммиачная селитра является побочным продуктом, и замена им части раствора аммиачной селитры из аппарата использования теплоты нейтрализации, тем самым снизив выбросы на этапе нейтрализации;

– сокращение выбросов парниковых газов путем снижения потерь аммиака при производстве аммиачной селитры: отделение капель от пара на этапах нейтрализации и выпарки; использова-

ние минимальной приемлемой температуры плавления на этапе выпарки, что снизит потери аммиака на этапе грануляции;

– переработка извлеченной фракции CO_2 от производства аммиака, например, для производства карбамида.

Список литературы

1. Годовой отчет АО ОХК «УРАЛХИМ», 2015, утв. 30 июня 2016 г. – 167 с.

2. Производство аммиака, минеральных удобрений и неорганических кислот: информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям 2-2019 [Электронный ресурс]. – URL: http://burondt.ru/index/its-ndt.html (дата обращения: 15.02.2023).

3. Василенко В.И., Ульянова М.А., Зволинский В.П. Химико-технологические основы производства аммиачной селитры // Наука и образование сегодня. – 2016. – № 6 (7). – С. 13–18.

4. Охрименко К.В., Концевой А.Л. Сравнительные расчеты аппарата использования тепла нейтрализации // Инновационные материалы и технологии: материалы докл. междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых, Минск, 9–11 января 2019 г. / БГТУ. – Минск, 2019. – С. 382–385.

5. Шатаева А.Л., Ташкинова И.Н. Оценка эмиссий парниковых газов производства аммиака и выявление направлений разработки и реализации климатических проектов // Химия. Экология. Урбанистика. – 2022. – Т. 1. – С. 146–150.

Об авторе

Ташкинова Ирина Николаевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: i.tashkinova@yandex.ru

УДК 544.725.2

К.А. Цыгурина, В.Д. Рулева,
М.А. Пономарь, Н.Д. Письменская

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДИАЛИЗНОГО КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ ИОНОВ АММОНИЯ ПУТЕМ МОДИФИЦИРОВАНИЯ АНИОНООБМЕННЫХ МЕМБРАН

Рассматривается механизм переноса ионов аммония в мембранных системах. Особенности этого механизма – причина низких выходов целевого вещества и высоких энергозатрат. Были предприняты попытки усовершенствовать анионообменную мембрану для повышения эффективности концентрирования растворов, содержащих ионы аммония. Модифицирование отечественной мембраны МА-41 позволило снизить величину коэффициента диффузионной проницаемости компонентов раствора в мембранных системах. Использование такой мембраны позволит усовершенствовать процесс электродиализного концентрирования и добиться снижения энергозатрат.

Ключевые слова: электродиализ, ионообменная мембрана, аммоний, диффузия, модифицирование, пиррол.

K.A. Tsygurina, V.D. Ruleva,
M.A. Ponomar, N.D. Pismenskaya

IMPROVEMENT OF ELECTRODIALYSIS CONCENTRATION PROCESS OF AMMONIUM IONS BY MODIFICATION OF ANION EXCHANGE MEMBRANES

In this paper, the mechanism of ammonium ion transport in membrane systems is considered. Features of this mechanism lead to low yields of the target substance and high energy consumption. Attempts have been made to improve an anion-exchange membrane to increase efficiency of the process of concentration solutions which contain ammonium ions. Modification of local MA-41 membrane made it possible to reduce diffusion permeability of solution components in membrane systems. Application of such membrane is able to improve the process of electrodialysis concentrating and achieve reduction of energy consumption.

Keywords: electrodialysis, ion-exchange membrane, ammonium, diffusion, modification, pyrrole.

В настоящее время человечество обеспокоено проблемой экологического состояния окружающей среды, поэтому в последние годы возрастает тенденция к более тщательной переработке муниципальных и промышленных отходов с целью извлечения из них ценных компонентов. Одним из таких веществ является азот в аммонийной форме. Переизбыток этого соединения в водоемах провоцирует процесс эвтрофикации водоемов, что ухудшает благосостояние водных организмов. Также продукт разложения аммония (оксид азота (I)) вносит вклад в глобальное потепление в 298 раз больше вклада углекислого газа [1].

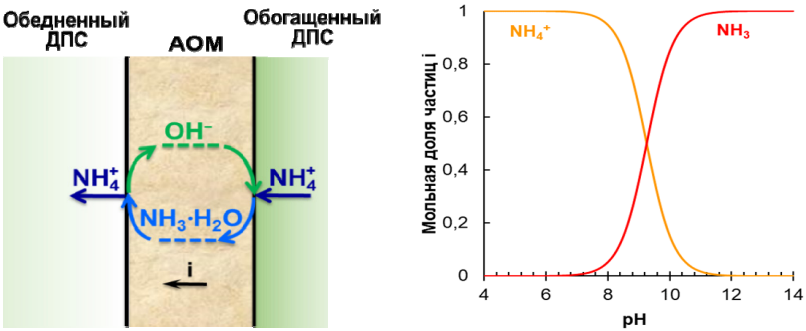
Если обратить внимание на то, что на промышленный процесс производства аммиака тратится от 9,5 до 12 МВт энергии на тонну производимого аммония [2], то наиболее выгодно извлекать аммоний из сточных вод, чем сбрасывать его в окружающую среду и потом синтезировать новый. Данный подход удовлетворяет требованиям циркуляционной экономики, является перспективным, ресурсосберегающим и снижает нагрузку на экологию.

Существует ряд традиционных и новых методов, используемых для извлечения аммония из жидких сред [3], однако метод электродиализа (ЭД) с ионообменными мембранами позволяет выделить и сконцентрировать ценные компоненты до необходимых концентраций. Электродиализ – это процесс переноса ионов через полупроницаемые (ионообменные) мембраны под действием электрического тока.

Как и у любого метода, у ЭД есть свои недостатки, наблюдаемые при переработке аммоний-содержащих растворов [3]. Было замечено, что в такой системе выход целевого компонента ниже, чем для растворов сильных электролитов, а энергозатраты – выше. На основе предыдущих исследований была выдвинута гипотеза о предполагаемом механизме транспорта ионов аммония через анионообменную мембрану (АОМ). Схематично этот механизм представлен на рис. 1, *а*.

Так как в АОМ из-за Доннановского исключения значение pH внутреннего раствора превышает pH внешнего раствора на 3–4 единицы, аммоний трансформируется в незаряженную молекулу аммиака (рис. 1, *б*) и под действием градиента концентрации устремляется из

раствора с большей концентрации в раствор с меньшей концентрацией, не встречая электростатического отталкивания со стороны фиксированных групп АОМ. Такой эффект является паразитным и снижает выходы по току целевого продукта. Помимо этого, присутствие ионов аммония провоцирует процесс генерации H^+, OH^- на границе раздела АОМ/обедненный диффузионный пограничный слой (ДПС) [4]. Для снижения интенсивности этих процессов было проведено объемное модифицирование отечественной гетерогенной мембраны МА-41 (Щекиноазот, Россия) пирролом (МА-41мод) с последующим его окислением. В качестве окислителя был использован хлорид железа (III).



а *б*

Рис. 1. Схема механизма транспорта аммония через анионообменную мембрану (*а*) и мольная доля частиц NH_4^+/NH_3 в зависимости от pH раствора (*б*)

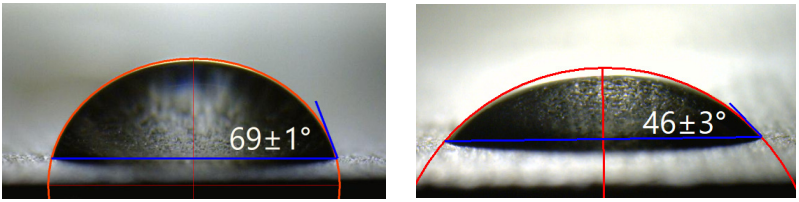
В результате такого модифицирования удалось добиться снижения диффузионной проницаемости аммония через мембрану, видимо, за счет перекрывания доступа через крупные поры, и повысить ее удельную электропроводность (таблица).

Результаты измерения углов смачивания исследованных мембран представлены на рис. 2. Исходя из полученных значений можно отметить, что модифицирование мембраны привело к увеличению гидрофильности ее поверхности. Это изменение может быть связано с увеличением шероховатости поверхности модифицированного образца по сравнению с исходным, а также с появле-

нием дополнительных ионообменных центров на его поверхности за счет образования на ней слоя полиэлектролита.

Значения транспортных характеристик мембран МА-41 и МА-41мод (значения получены для 2 М раствора NH_4Cl)

Характеристика мембраны	МА-41	МА-41мод
Коэффициент диффузионной проницаемости $P \cdot 10^8$, $см^2/с$	10,47	0,44
Число переноса противоиона *t*	0,944	0,999
Удельная электропроводность *k*, мСм/см	7,45	20,85



а *б*

Рис. 2. Углы смачивания мембран МА-41 (*а*) и МА-41мод (*б*)

В результате проделанной работы можно сделать выводы об эффективности использования пиррола в качестве объемного модификатора для снижения нежелательного процесса диффузии аммония через анионообменные мембраны в мембранном аппарате из концентрата в разбавленный раствор. В дальнейшем данные мембраны будут использованы для совершенствования условий ЭД-концентрирования. Ожидается снижение явления обратной диффузии, а значит, снижение энергозатрат и повышение выхода целевого компонента.

Исследование проведено при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 21-19-00087.

Список литературы

1. Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2020 – Executive Summary [Электронный ресурс]. – URL:

https://www.epa.gov/system/files/documents/2022-04/us-ghg-inventory-2022-chapter-executive-summary.pdf (дата обращения: 10.03.2023).

2. Giddey S., Badwal S.P.S., Kulkarni A. Review of electrochemical ammonia production technologies and materials // International Journal of Hydrogen Energy. – 2013. – Vol. 34, № 38. – P. 14576–14594.

3. Pismenskaya N., Tsygurina K., Nikonenko V. Recovery of nutrients from residual streams using ion-exchange membranes: current state, bottlenecks, fundamentals and innovations // Membranes. Special Issue "Ion-Exchange Membranes and Processes (Vol. III). – 2022. – № 12 (5). – P. 497.

4. Catalytic effect of ammonia-containing species on water splitting during electrodialysis with ion-exchange membranes / O. Rybalkina [et al.] // Electrochimica Acta. – 2019. – № 299. – P. 946–962.

Об авторах

Цыгурина Ксения Алексеевна – аспирантка факультета химии и высоких технологий, Кубанский государственный университет, e-mail: kseniya_alx@mail.ru

Рулева Валентина Дмитриевна – аспирантка факультета химии и высоких технологий, Кубанский государственный университет, email: valentina.titorova@mail.ru

Пономарь Мария Алексеевна – аспирантка факультета химии и высоких технологий, Кубанский государственный университет, email: ponomar.marie@yandex.ru

Письменская Наталия Дмитриевна – профессор, профессор кафедры «Физическая химия» факультета химии и высоких технологий, Кубанский государственный университет, email: n_pismen@mail.ru

УДК 504.062.2

М.Е. Чужба, А.В. Цыбина

ОБОСНОВАНИЕ АКТУАЛЬНОСТИ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ АБС-ПЛАСТИКА С ПОЛУЧЕНИЕМ ФИЛАМЕНТА ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ

Представлен обзор направлений обращения с пластиками из отходов электрического и электронного оборудования. Обоснована возможность использования отходов АБС-пластика для производства филамента. Составлена технологическая схема производства филамента из первичного и вторичного АБС-пластика.

Ключевые слова: отходы электрического и электронного оборудования, 3D-печать, АБС-пластик, производство филамента, переработка пластика.

M.E. Chuzhba, A.V. Tsybina

SUBSTANTIATION OF THE RELEVANCE OF RECYCLING ABS PLASTIC WASTE TO OBTAIN A FILAMENT FOR 3D-PRINTING

An overview of the directions of handling plastic waste from waste electrical and electronic equipment is presented. The possibility of using waste ABS-plastic for the production of filament is substantiated. The technological scheme of filament production from primary and secondary ABS-plastic is drawn up.

Keywords: waste electrical and electronic equipment, 3D-printing, ABS-plastic, filament production, plastic recycling.

В 2019 г. в мире было образовано около 53,6 т. отходов электрического и электронного оборудования (ОЭЭО), которые включают в себя широкий спектр электронных устройств. Доля пластиков в этом объеме занимает около 15 %, и представлены они в ОЭЭО множеством видов, главными из которых являются акрилонитрилбутадиенстирол (АБС-пластик), ударопрочный полистирол и поликарбонат. В настоящее время распространены такие методы обращения с пластиками в составе ОЭЭО, как захоронение, механическая переработка, сжигание и термохимическая переработка

[1]. Однако эти методы далеки от того, чтобы называться экологичными. Так, например, термохимическая переработка пластиков сопряжена с риском образования таких токсичных веществ, как диоксины и фураны.

Из-за простоты и дешевизны для обращения с пластиками наиболее часто применяется захоронение. Но при захоронении теряются все полезные компоненты, которые могут быть утилизированы. Данные исследований показывают, что до 90 % пластиковых отходов можно использовать повторно. При этом по состоянию на текущий момент на свалках захоранивается около 80 % пластиковых отходов, а перерабатывается лишь несколько процентов [2]. Одним из способов переработки пластика, более безопасных для окружающей среды, является производство филамента (нити) для 3D-печати.

3D-печать, также называемая аддитивным производством, – это процесс создания твердых трехмерных объектов по цифровой модели. Данная технология широко применяется в медицине, архитектуре, инженерии, промышленном дизайне и многих других сферах. Самым популярным методом 3D-печати является моделирование методом послойного наплавления (Fused Deposition Modelling, FDM). Принцип работы принтеров, основанных на методе FDM, заключается в том, что в специальное устройство – экструдер – подается пластиковая нить (филамент), которая плавится под действием сопла и в расплавленном состоянии подается слоями на строящуюся модель.

При своих неоспоримых достоинствах (простота, доступность, невысокая стоимость) 3D-печать все же обладает рядом недостатков, один из которых – большое количество отходов, являющихся результатом неудачных отпечатков или бракованных опорных конструкций. Однако эти отходы могут быть переработаны в новый филамент, а сама печать может быть использована для борьбы с растущим количеством пластиковых отходов [2].

Согласно [2], все группы перерабатываемых пластмасс были проанализированы на предмет их использования в производстве филамента, и общая схема переработки выглядит следующим обра-

зом. Пластик отделяют от остальных отходов, измельчают, экструдируют при высокой температуре, устанавливаемой в зависимости от типа пластмассы, и получают нить для 3D-печати.

Рынок 3D-печати является одним из самых быстрорастущих секторов производства товаров. Согласно отчету Grand View Research, Inc., объем мирового рынка данной отрасли к 2027 г. будет составлять 35,38 млрд долл. США [3]. Филаменты, которые используются в печати, как правило, производятся из термопластов, наиболее популярными из которых являются АБС-пластик и полимолочная кислота (полилактид). Также распространены поликарбонат, полистирол, поликапролактон и др.

АБС – это термопластичный полимер, полученный в результате полимеризации акрилонитрила, бутадиена и стирола и обладающий высокими механическими характеристиками. В отличие от полилактида, получаемого из кукурузы и сахарного тростника, АБС производится из нефти и потому менее экологичен.

Для изучения возможности использования переработанного АБС-пластика в качестве сырья для 3D-печати были проанализированы актуальные исследования в данной области. Так, в [4] был проведен эксперимент с получением филаментов из первичного и вторичного АБС-пластика, проанализированы их характеристики и сделан вывод, что для первичного АБС характерны более высокие показатели максимальной нагрузки и предела прочности при растяжении, чем для вторичного. Первичный АБС более гибок, но скорость деформации вторичного АБС превышает скорость деформации первичного; однако авторы считают, что переработанный пластик может являться сырьем для филамента. В целом, результаты исследований [4, 5] показывают, что при переработке происходят незначительные изменения в механических свойствах пластика, т.е. отходы АБС могут быть переработаны и использоваться для производства филамента. На основе проанализированных нами исследований составлена технологическая схема производства филамента из вторичного и первичного АБС-пластика (рисунок).

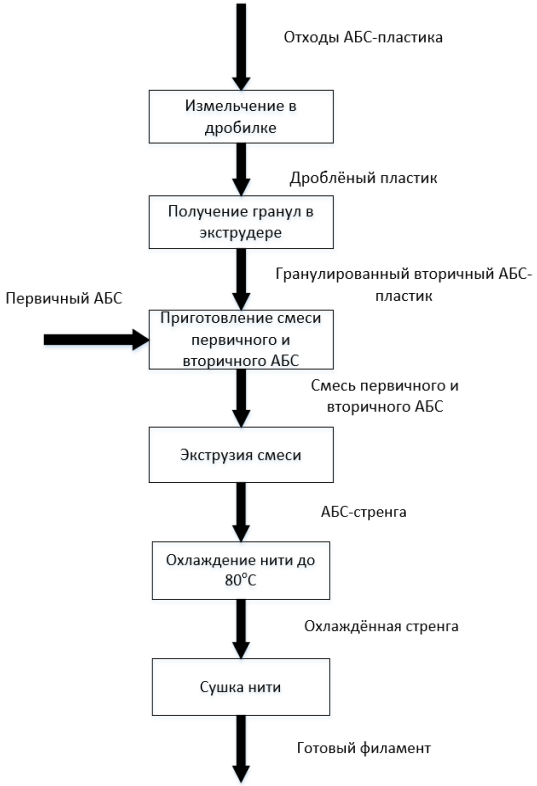


Рис. Технологическая схема производства филамента из первичного и вторичного АБС-пластика

На зарубежном рынке уже представлены примеры филаментов, сделанных из вторичного АБС. Так, например, британская компания Filamentive (https://www.filamentive.com/, по состоянию на 09.03.2023) продает нити, сделанные на 61–64 % из вторичного пластика.

3D-печать на сегодняшний день является одним из самых быстрорастущих и востребованных секторов производства товаров. Анализ результатов исследований и изучение рынка на пример филаментов, произведенных из вторичного АБС-пластика, показал, что производство нитей для печати из отходов АБС-пластика пока не очень распространено и не очень широко приме-

няется, но обосновано в ходе экспериментов и уже представлено на рынке. Такая технология позволяет применять в полезных целях отходы, которые в ином случае отправлялись бы на полигоны, и соответствует принципам экономики замкнутого цикла. Целесообразно в дальнейших исследованиях провести экономическую оценку и определить, какой может быть максимальная доля вторичного АБС-пластика во вторичном филаменте.

Список литературы

1. Комиссаров В.А., Смирнова Т.С., Атерекова А.В. Пластики в ОЭЭО – проблема или ценный материал? // Твердые бытовые отходы. – 2016. – № 1 (113). – С. 17–22.

2. 3D printing filament as a second life of waste plastics-a review / K. Mikula, D. Skrzypczak, G. Izydorczyk [et al.] // Environmental Science and Pollution Research. – 2021. – № 28. – P. 12321–12333.

3. 3D printing: Making an innovative technology widely accessible through makerspaces and outsourced services / A. Kantaros, O. Diegel, D. Piromalis [et al.] // Materials Today: Proceedings. – 2022. – Vol. 49, № 7. – P. 2712–2723.

4. Design and development of 3D printer filament extruder / M. Aminur, M. Shafizal, F. Redza [et al.] // Proceedings of Mechanical Engineering Research Day 2020. – 2020. – P. 293–294.

5. Tandukar A. A sustainable approach in additive manufacturing with recycled ABS A. Tandukar // Materials Processing Technology. – 2020. – 27 p.

Об авторах

Чужба Максим Евгеньевич – студент бакалавриата кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: chuzhba2016@yandex.ru

Цыбина Анна Валерьевна – старший преподаватель кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: anna.tsybina@gmail.com

УДК 502/504

В.А. Швалева, А.С. Соловьева,
Е.С. Белик, Л.В. Рудакова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РОСТА ПЕРИОДИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ МИКРОВОДОРОСЛИ *CHLORELLA*, ПОЛУЧЕННОЙ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ БИОПРЕПАРАТОВ, И ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

Представлен анализ параметров роста микроводоросли *Chlorella*, полученной из различных биопрепаратов, в условиях периодического культивирования. Культивирование биопрепарата БАД № 1 в среде Тамия в присутствии CO_2 позволяет увеличить максимальную оптическую плотность суспензии микроводоросли *Chlorella* в 1,4 раза.

Ключевые слова: микроводоросли, *Chlorella*, культивирование, утилизация углекислого газа.

V.A. Shvaleva, A.S. Solovyova,
E.S. Belik, L.V. Rudakova

DETERMINATION OF GROWTH PARAMETERS OF PERIODIC CULTURES OF *CHLORELLA* DERIVED FROM VARIOUS BIOPREPARATIONS AND EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF THEIR USE FOR CARBON DIOXIDE UTILIZATION

This work contains an analysis of the growth parameters of the microalga *Chlorella* obtained from various biopreparations in periodic cultivation conditions. Cultivation of biopreparation BAD № 1 in Tamiya medium in the presence of CO_2 increases the maximum optical density of the *Chlorella* microalgae solution by 1,4 times.

Keywords: microalgae, *Chlorella*, cultivation, carbon dioxide utilization.

Микроводоросли в прикладных исследованиях последних лет приобретают популярность. Внимание привлекает высокая продуктивность штаммов и содержание в биомассе ценных микроэлементов [1]. Особенностью многих видов микроводорослей

является высокая эффективность фиксации CO_2 (в 10–50 раз выше, чем у высших растений [2]). Данный аспект делает технологию получения биомассы привлекательной не только с точки зрения получения прибыли, но и для решения экологических проблем: утилизации выбросов CO_2 на предприятиях и при борьбе с изменением климата.

В связи с нововведениями в экологическом законодательстве Российской Федерации 2022–2023 гг. многие предприятия уже сейчас заинтересованы в поиске экономически эффективной технологии снижения выбросов CO_2. С данной позиции перспективными являются штаммы микроводоросли рода *Chlorella*: они обитают повсеместно (легкодоступны), способны расти в среде с подачей CO_2 в концентрации близкой к содержанию в выбросах (5–15 % [3]), фиксируют углерод с эффективностью до 20–55 % [3] и имеют свою нишу в числе товаров с нарастающим спросом.

Целью данной работы является определение параметров роста периодической культуры микроскопической водоросли рода *Chlorella*, полученной из различных биопрепаратов, и оценка возможности их использования для утилизации CO_2.

Для исследований был выбран режим периодического культивирования, при котором посевной материал вносится в питательную среду в начале процесса, и дальнейшее культивирование идет без отбора биомассы до момента фиксации пика роста клеток и их перехода к фазе отмирания.

В работе исследовали три биопрепарата, содержащих клетки микроскопической водоросли *Chlorella*, в частности: суспензию «живой хлореллы» и два вида БАД. Причем один из БАДов культивировали двумя способами – напрямую растворяя биопрепарат в питательной среде и путем получения суспензии.

Культивирование осуществляли в стандартной среде Тамия в условиях климатостата КС-200 СПУ в открытых биореакторах при температуре 35 ^{o}C, периоде освещения 12 ч (3000–6000 лк). В ходе эксперимента определяли оптическую плотность, осуществляли визуальный анализ и микроскопирование.

Определение оптической плотности. В работе использовали спектрофотометр В-1200 ЭКОВЬЮ (толщина стенки кюветы – 10 мм, светофильтр – 560 нм). Результаты представлены на рис. 1.

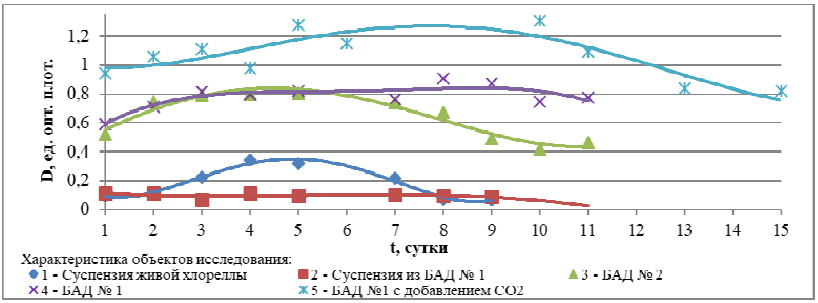


Рис. 1. Изменение оптической плотности

Во всех пробах кривая изменения оптической плотности растворов имела *S*-образный характер, который более явно выражен в 1 и 2 пробах. При культивировании биопрепарата БАД № 1 в пробах 2 и 4 кривая роста имеет схожее отображение, таким образом, влияние способа внесения биопрепарата на параметры роста не зафиксировано.

Визуальный анализ. В пробах 1 и 2 в течение 10 сут. наблюдалась общая тенденция: с 1 по 5 сут. изменений не отмечалось, на 7 сут отмечена смена цвета с светло-зеленого на зелено-желтый и повышение прозрачности раствора. В начале эксперимента 3 проба имела отчетливый сине-зеленый цвет. Спустя трое суток пробы 3 и 4 характеризовались зеленым цветом и осадком на дне биоректора, увеличение биомассы отмечено на 5 сут., на 7 сут. окраска сменилась на более желтую, повысилась прозрачность, образовались хлопья, которые осели на дно биореактора.

Микроскопический анализ. При микрокопировании проб 1, 2 и 3 увеличения плотности клеток и массового развития микроводоросли *Chlorella* не зафиксировано. В биопрепарате БАД № 2 (3 проба) установлено присутствие клеток микроводоросли *Spirulina.* В пробе 4 уже спустя первые сутки отмечалось массовое развитие единичных клеток микроводоросли *Chlorella*, которое продолжалось на протяжении 7 дней культивирования (рис. 2).

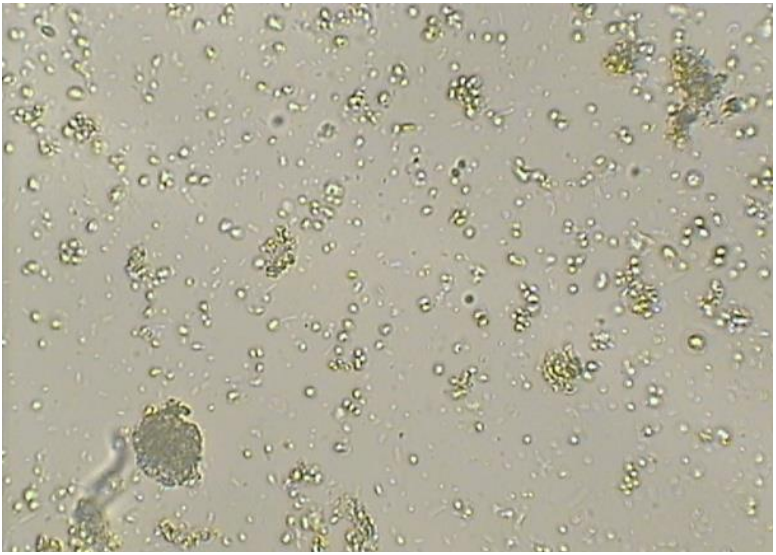


Рис. 2. Клетки микроводоросли *Chlorella* на пятые сутки культивирования при использовании БАД № 1 (увеличение 600×)

Построение кривой роста в присутствии углекислого газа. Результаты исследований позволили среди трех биопрепаратов выделить один с наилучшими характеристиками – БАД № 1. Данный препарат был использован в качестве посевного материала при исследовании параметров роста периодической культуры микроскопической водоросли рода *Chlorella* в присутствии CO_2.

Условия культивирования в эксперименте не изменяли. Проба для исследований готовилась аналогично пробе 4, описанной выше. Расход CO_2 составил 50 мл/сут.

Установлено, что при добавлении CO_2 в процесс культивирования кривая роста клеток (см. рис. 1) характеризуется более выраженным экстремумом, максимальная оптическая плотность раствора в 1,4 раза больше, чем при культивировании без CO_2. При микрокопировании с 1 по 7 сут. отмечено увеличение плотности клеток, массовое развитие микроводорослей *Chlorella*.

Кривая изменения оптической плотности во всех исследуемых случаях соответствуют модели Ферхюльста, отражающей рост организмов в ограниченных условиях, что свидетельствует о приемлемости выбранных условий для культивирования микроводоросли *Chlorella*. При экспериментальных исследованиях влияния способа внесения биопрепарата БАД № 1 в культуральную среду (в виде суспензии или порошка) на параметры роста клеток не зафиксировано. Микроскопический анализ выявил в биопрепарате БАД № 2 присутствие клеток микроводоросли *Spirulina*. В ходе работы установлено, что культивирование биопрепарата БАД № 1 в среде Тамия позволяет добиться массового развития микроводоросли *Chlorella* уже в первые сутки, при этом добавление в процесс CO_2 увеличивает максимальную оптическую плотность культуры в 1,4 раза. В выбранных условиях культивирования микроводоросли *Chlorella* первичным лимитирующим фактором являлся недостаток CO_2, который может быть компенсирован подачей в процесс выбросов углекислого газа от промышленных источников. Для дальнейших исследований в данном направлении выбран биопрепарат БАД № 1.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта № FSNM-2020-0024.

Список литературы

1. Хвойников А.Н., Сангалова Е.Д., Орлова О.Ю. Тенденции и статистика развития рынка микроводорослей // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2021. – № 4–2. – С. 278–282.
2. Ghosh A., Kiran B. Carbon Concentration in Algae: Reducing CO2 From Exhaust Gas // Trends in Biotechnology. – 2017. – Vol. 35. – P. 806–808.
3. Comparative evaluation of microalgae strains for CO_2 capture purposes / C. Sepulveda, C. Gomez, N. Bahraoui [et al.] // Journal of CO_2 Utilization. – 2019. – Vol. 30. – P. 158–167.

Об авторах

Швалева Валерия Андреевна – студентка кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: valeria20012009@gmail.com

Соловьева Алена Сергеевна – аспирант кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: alyona.solvyova@mail.ru

Белик Екатерина Сергеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: zhdanova-08@mail.ru

Рудакова Лариса Васильевна – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: larisa@eco.pstu.ac.ru

УДК 504.062

Н.С. Шулаев, В.В. Пряничникова, Р.Р. Кадыров

СПЕЦИФИКА ПРИМЕНЕНИЯ КАТОДОЦЕНТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРООЧИСТКИ ПОЧВ

Статья посвящена применению установок для осуществления электроочистки загрязненных почв размещением электродов по катодоцентрической схеме. Приведено краткое описание сущности процессов. Рассматриваются ситуации, в которых использование подобных схем наиболее целесообразно, а также особенности осуществления очистки.

Ключевые слова: почва, очистка, катодоцентрическая схема, электрический ток.

N.S. Shulaev, V.V. Pryanichnikova, R.R. Kadyrov

THE SPECIFICS OF THE CATHODOCENTRIC SOIL ELECTROTREATMENT SCHEME APPLICATION

This article is devoted to the use of installations for the electrical cleaning of contaminated soils by placing electrodes according to a cathodocentric scheme. A brief description of the essence of the processes is given. The situations in which the use of such schemes is most appropriate are considered, and the features of cleaning are also given.

Keywords: soil, cleaning, cathodocentric scheme, electric current.

Технология электроочистки почв от различных токсикантов известна своей универсальностью и применимостью в условиях, когда использование прочих технологий затруднительно или невозможно (в силу глубокого проникновения загрязнителей в массив либо высокой дисперсности почвенных структур и, как следствие, малой проницаемости среды).

Известны различные установки, предназначенные для пропускания электрического тока через загрязненные почвы. К общим характеристикам таких установок относится наличие источника питания и подключенных к нему электродных пар, находящихся непосредственно в почве. При подаче напряжения возникающая

разность потенциалов способствует миграции ионов загрязняющих веществ к противоположно заряженным электродам. Параллельно происходит комплекс сложных электроиндуцируемых физико-химических реакций.

Источником питания могут выступать существующие линии электроснабжения, портативные топливные генераторы, аккумуляторы солнечной энергии и даже ветряки. Среди установок электроочистки преобладают модификации с вертикальным расположением электродов, что существенно облегчает процесс их монтирования и дальнейшего обслуживания, однако известны и варианты с горизонтальными электродами (по типу «лазанья») [1]. Форма, размеры и положение электродов друг относительно друга могут варьироваться в зависимости от конкретных условий.

Одна из эффективных вариаций установок электроочистки базируется на катодоцентрической схеме размещения электродов в пространстве. При такой схеме аноды располагаются по периметру очищаемой территории (по форме окружности), а в центре между ними устанавливается единый катод. При большой площади загрязненного участка монтируется комплекс таких окружностей с центральными катодами (рисунок) [2].

Сила тока между электродами будет определяться как

$$I = USN/\rho l,$$

где U – напряжение между электродами; ρ – удельное сопротивление почвы; N – число анодов; l – расстояние между электродами [3].

При подключении источника питания загрязняющие вещества (в особенности обводненные) будут перемещаться от периметра (т.е. от точек локализации анодов) по направлению к общему центральному катоду. Поэтому в прикатодной зоне будет происходить накопление таких веществ, как нефтепродукты и масла, тяжелые металлы, что обусловливает необходимость их принудительного удаления. При значительной степени увлажнения грунтов (порядка 40 %) достаточным является использование перфорированного или сетчатого материала катода для откачивания загрязненного форетического потока, возникающего за счет уже имеющейся внутри-

почвенной влаги. В случае если очистка производится на почвах засушливых природно-климатических зон (например, аридных) либо в жаркий летний период, возможно дополнительное внесение воды для промывки. В таком случае вода может подаваться инъектированно на аноды либо может увлажняться вся территория.

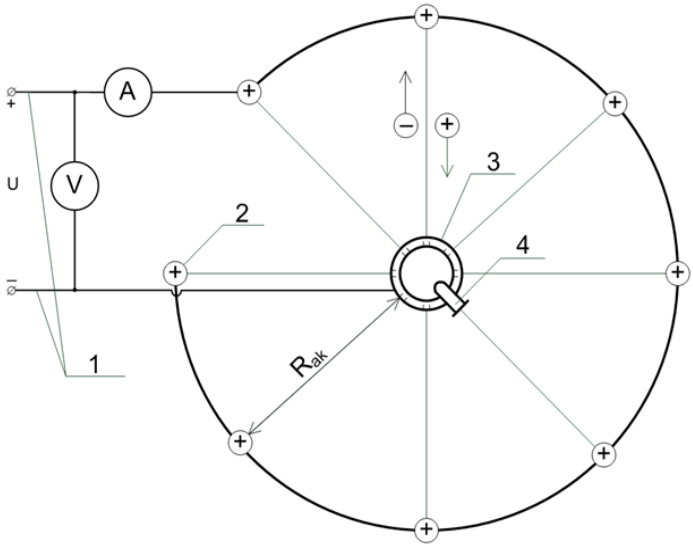


Рис. Схема катодоцентрической окружности:
1 – источник питания; *2* – аноды; *3* – катод;
4 – система удаления загрязненной воды

Рассматриваемая схема хорошо подходит для очистки холмистой местности. В этом случае катод устанавливается в максимально низкой точке рельефа (низменности), а аноды – на возвышенностях.

Исследование выполнено в рамках программы Министерства науки и высшего образования Российской Федерации «ПРИОРИТЕТ 2030» (Национальный проект «Наука и университет»).

This study was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation «PRIORITY 2030» (National Project «Science and University»).

Список литературы

1. Decontamination of Petroleum-Contaminated Soils Using The Electrochemical Technique: Remediation Degree and Energy Consumption / C. Streche, D. Cocarta, I. Istrate, A. Badea // Scientific Reports. – 2018. – Vol. 8, iss. 10. DOI: 10.1038/s41598-018-21606-4

2. Пат. № 207249 U1 Рос. Федерация, МПК B09C 1/00. Устройство для электрохимической очистки нефтезагрязненного грунта / Шулаев Н.С., Пряничникова В.В., Кадыров Р.Р. [и др.]. – № 2020143822; заявл. 28.12.2020; опубл. 20.10.2021.

3. Шулаев Н.С., Пряничникова В.В., Кадыров Р.Р. Закономерности электрохимической очистки нефтезагрязненных грунтов // Записки Горного института. – 2021. – Т. 252. – С. 1–10.

Об авторах

Шулаев Николай Сергеевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информатика, математика и физика», ИХТИ ФГБОУ ВО УГНТУ, e-mail: nshulayev@rambler.ru

Пряничникова Валерия Валерьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Общая химическая технология», ИХТИ ФГБОУ ВО УГНТУ, e-mail: prvaleria@mail.ru

Кадыров Рамиль Римович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств», ИХТИ ФГБОУ ВО УГНТУ, e-mail: r_kadyrov@mail.ru

УДК 504.53.062.4

Д.Р. Юдина, М.П. Шабалина, Э.Х Сакаева

ВЛИЯНИЕ УГЛЕВОДОРОДОВ НЕФТИ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ДЫХАНИЯ ПОЧВ

Рассмотрено влияние углеводородов нефти на процессы почвенного газообмена. Установлены закономерности изменения продуцирования углекислого газа в зависимости от длительности загрязнения. Показана зависимость интенсивности почвенного дыхания от концентрации нефтепродуктов.

Ключевые слова: углеводороды нефти, почва, торф, почвенное дыхание.

D.R. Yudina, M.P. Shabalina, E.H. Sakaeva

THE INFLUENCE OF PETROLEUM HYDROCARBONS SOIL RESPIRATION RATE

The influence of petroleum hydrocarbons on the processes of soil gas exchange is considered. The regularities of changes in the production of carbon dioxide depending on the duration of pollution have been established. The dependence of the intensity of soil respiration on the concentration of petroleum products is shown.

Keywords: petroleum hydrocarbons, soil, peat, soil respiration.

Почва является динамическим, многофазным, биокосным элементом биосферы, который взаимосвязан с другими водными, атмосферными, горными компонентами среды [1]. В результате антропогенной деятельности, особенно в зонах нефтедобычи и переработки углеводородного сырья, происходит загрязнение земель различными органическими и неорганическими веществами. Почвы имеют высокую способность сорбировать и накапливать большое количество загрязняющих веществ, в том числе и нефтяных углеводородов. Нефтяные углеводороды воздействуют на биологическую активность и видовой состав почв [2].

Скорость выделения углекислого газа является частью биогеохимического круговорота углерода и кислорода. Наличие в поч-

вах CO_2 является важным показателем биологичской активности почв и включает корневое дыхание и разложение органического вещества. Состав газовой фазы почвы – это результат сложных процессов, которые происходят внутри микробиоценозов и зависят от многих факторов. Кроме того, уровень загрязнения почвы может влиять на активность микроорганизмов и тем самым изменять состав газовой фазы [1]. Большинство биохимических реакций в почве осуществляется благодаря ферментативным процессам [3].

Изучение показателя интенсивности выделения углекислого газа – это важный метод анализа физиологической активности микроорганизмов и скорости биохимических процессов, происходящих в загрязненной почве [3]. Показатель интенсивности выделения CO_2 позволяет определить, насколько эффективно проводится биологическая реабилитация загрязненных почв и как влияют на этот процесс различные факторы, такие как влажность, температура, наличие загрязнителей и содержание питательных веществ.

Целью настоящего исследования являлась оценка изменения скорости выделения CO_2 почвой при попадании нефтяных углеводородов в различных концентрациях и в зависимости от длительности загрязнения.

Для проведения экспериментальных исследований были взяты образцы дерново-подзолистой суглинистой почвы. В качестве нефтяных углеводородов использовалась нефть плотностью при 20 °С – 874,6 кг/м^3. Массовая доля воды – 0,14 %, хлористых солей – 0,0023 %, механических примесей – 0,0064 %, балласта – 0,149 %. В подготовленные образцы почвы вносилась нефть в концентрациях 1, 10, 25, 50 и 100 г/кг. Для оценки влияния длительности загрязнения на интенсивность выделения CO_2 исследования проводились при «свежем» загрязнении и через два года.

Определение скорости выделения углекислого газа из почвы проводилось по методу Штатнова. Интенсивность дыхания выражали в мг CO_2/м^2 в ч. Расчет проводили по формуле

$$Д = \frac{(a - b) \cdot К}{S \cdot T},$$

где *a* – количество 0,1 н HCl, пошедшей на титрование щелочи при холостом определении, мл; *b* – количество 0,1 н HCl, пошедшей на титрование щелочи для опытных образцов, мл; К – коэффициент для перевода мл 0,1 н щелочи в мг CO_2, равный 2,2; *S* – площадь изолируемой поверхности почвы, $м^2$; *T* – время экспозиции, ч [4].

На рисунке представлены результаты экспериментальных исследований интенсивности выделения углекислого газа загрязненной почвой.

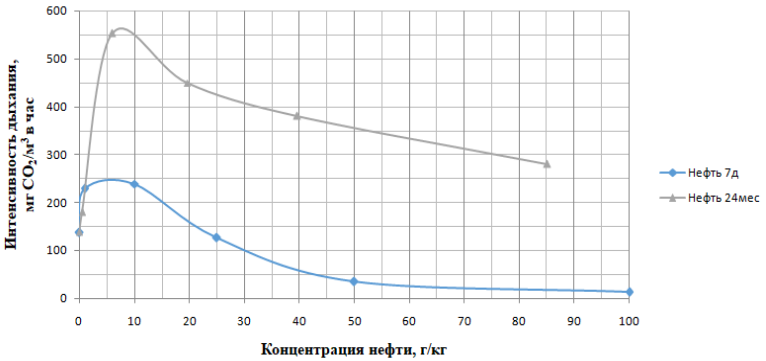


Рис. Интенсивность выделения CO_2 загрязненной почвой

По результатам экспериментальных исследований было выявлено, что при загрязнении почв нефтью наблюдается увеличение интенсивности дыхания при низких концентрациях, и при дальнейшем увеличении концентрации загрязнения интенсивность снижается.

Снижение интенсивности продуцирования CO_2 на начальном этапе загрязнения обусловлено токсическим воздействием нефти на микроорганизмы путем ограничения доступа кислорода для микроорганизмов.

Интенсивность дыхания спустя 24 месяца во всех образцах оказалась выше, чем в образце с контролем, что говорит об интенсивно протекающих процессах окислительно-восстановительных, восстановлении численности микроорганизмов и интенсивном восстановлении почв.

Полученные результаты экспериментальных исследований показывают, что интенсивность выделения CO_2 меняется при загрязнении почвы нефтяными углеводородами. Снижение интенсивности на начальных этапах объясняется токсическим воздействием на микроорганизмы и ограничением доступа кислорода. За длительные периоды времени происходит перестройка микробного сообщества, которая позволяет снижать концентрации загрязнения и, соответственно, увеличивать интенсивность выделения CO_2.

Список литературы

1. Структурно-функциональная роль почв и почвенной биоты в биосфере / Г.В. Добровольский, И.П. Бабьева, Л.Г. Богатырев [и др.]; ред. Г.В. Добровольский. – М.: Наука, 2003. – 364 с.
2. Смольникова В.В., Шоров Е.З. Особенности воздействия углеводородного загрязнения на физико-химические свойства почв // Достижения вузовской науки. – 2016. – № 26. – С. 185–189.
3. Наумов А.В. Дыхание почвы: составляющие, экологические функции, географические закономерности. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. – 208 с.
4. Временные методические рекомендации по контролю загрязнения почв. Часть II / ред. С.Г. Малахов. – М.: Моск. отд. гидрометеоиздата, 1984. – 51 с.

Об авторах

Юдина Дарья Равилевна – студентка кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: dasch.iudina2012@yandex.ru

Шабалина Мария Павловна – студентка кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: sabalina.marya@gmail.com

Сакаева Эльвира Хабировна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: elya2182@mail.ru

УДК 615.014.2

Т.А. Аблина, Л.В. Волкова

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ РЕПАРАТИВНЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ФОРМ, СОДЕРЖАЩИХ АЛЬБУМИН ЧЕЛОВЕКА В КАЧЕСТВЕ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ВЕЩЕСТВА

Рассмотрены составы исследуемых мягких лекарственных форм и гидрогеля с альбумином человека. Дана характеристика составляющих препарат компонентов. Представлено концентрационное содержание действующего вещества в изучаемых лекарственных формах.

Ключевые слова: альбумин, лекарственная форма, репаративные препараты.

T.A. Ablina, L.V. Volkova

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF REPARATIVE DRUG FORMULATIONS CONTAINING HUMAN ALBUMIN AS AN ACTIVE SUBSTANCE

The compositions of the studied soft dosage forms and hydrogel with human albumin are considered. The characteristics of the components of the preparation are given. The concentration content of the active substance in the studied drug formulations is presented.

Keywords: albumin, drug formulation, reparative drugs.

Альбумин человеческий является плазмозамещающим препаратом, который получают путем фракционирования плазмы крови. На данный момент на территории РФ выпускается в формате растворов для инфузий, которые производят в концентрациях, равных 5, 10, 15 и 25 %, и вводятся как внутривенно, так и непосредственно путем нанесения при обработке локальных (ожоговых, резанных, колотых) ран. Однако последний метод применения не

столь популярен и используется в основном «на дому». Поскольку при внутривенном введении лекарственный препарат поступает непосредственно в кровоток, следует соблюдать особую осторожность и обладать должными знаниями, дабы избежать возникновения инфекций.

К преимуществам мази и гидрогеля с альбумином человека в качестве действующего вещества перед существующими инфузионными растворами и другими потенциальными лекарственными формами можно отнести:

– отсутствие иммунных реакций и раздражения в месте укола, которые нередко имеют место при внутривенном способе введения;

– возможность получения достаточно высоких концентраций лекарственных веществ (в сравнении с твердыми лекарственными формами);

– предотвращение разрушения лекарственного вещества в ЖКТ (что характерно для белковых соединений, многие из которых имеют короткое время жизни в жестких условиях микробиоты кишечника);

– простоту, обусловленную отсутствием необходимости обладания специальной квалификацией для возможности применения препарата самостоятельно.

Согласно Государственной фармакопее и на базе существующих лекарственных препаратов с альбумином человека, а также данных, полученных непосредственно в ходе экспериментов, были определены оптимальные составы лекарственных форм альбумина, при которых не происходит расслоения действующего вещества от основы и вспомогательных веществ. Все результаты представлены ниже.

Проведена работа с гидрогелем, базирующимся на существующей запатентованной рецептуре. Однако действующее вещество (интерферон) заменено на 20%-ный раствор альбумина человека (табл. 1) [3].

Таблица 1

Оптимальный состав репаративного гидрогеля

Вещество	Концентрация, %	Назначение
Витамин Е	0,10	Противовоспалительное средство
Метионин	0,10	Антиоксидант
Бензойная кислота	0,10	Антиоксидант
Лимонная кислота	0,10	Антиоксидант
Спирт этиловый 96%-ный	10,0	Консервант, антисептик
Глицерин 96%-ный	20,0	Влагоудерживающий компонент
Натрий КМЦ	2,50	Сшивающий компонент
Натрий тетраборат	1,00	Антисептик
Альбумин человека 20%-ный	66,1	Действующее вещество

Концентрация действующего вещества в гидрогеле составляет 10,0 %.

Рассмотрена мазь-репарант гидрофобной природы, состав которой подобран на базе существующего препарата со схожим составом, но иным действующим веществом (интерферон) [2]. Был использован другой эмульгатор типа вода в масле – цетеариловый спирт (табл. 2).

Таблица 2

Оптимальный состав гидрофобной мази-реаранта

Вещество	Концентрация, %	Назначение
Вазелин	36,0	Загуститель с защитными свойствами
Ланолин	22,7	Загуститель с влагоудерживающими свойствами
Цетеариловый спирт	8,00	Эмульгатор
Альбумин человека 20%-ный	33,3	Действующее вещество

Концентрация действующего вещества в гидрофобной мази-репаранте составляет 6,67 %. Поскольку 20%-ный раствор альбумина уже содержит в себе воду, вводить ее в состав препарата как дополнительный компонент нецелесообразно.

Из представленных выше лекарственных форм видно, что все составы подобраны на основе существующих (на стадии разработки или же уже подступающих к стадии выпуска на производственном уровне) лекарственных препаратов, в качестве действующего вещества у которых выступают высокомолекулярные соединения – белки. Это обуславливается молекулярной массой альбумина человека (66000–69000 Да).

В дальнейшем планируется работа с новым составом на гидрофильной основе.

Список литературы

1. Волков Г.Л. Технология получения иммуноглобулинов. I. Технологические аспекты очистки // Укр. биохим. журн. – Киев, 2006. – Т. 78, № 3. – С. 88–98.

2. Волкова Л.В. Природные α-интерферон и антибактериальный пептидный комплекс: технология получения, новые лекарственные формы, оценка эффективности: дис. … д-ра мед. наук. – Пермь, 2004.

3. Лекарственный гель: RU2184564C2 МПК A61K 38/21 (2000.01) A61K 9/00 (2000.01).

Об авторах

Аблина Татьяна Алексеевна – студентка кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: tata.ablina@yandex.ru

Волкова Лариса Владимировна – доктор медицинских наук, профессор кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: wolkowalw@mail.ru

УДК 615.072

Е.Р. Ахмадулина, Л.В. Волкова

ФЕРМЕНТИРОВАННАЯ СУБСТАНЦИЯ БИОМАССЫ ЛИСТЬЕВ *A. LAPPA L.*, ОБОГАЩЕННАЯ ПРОБИОТИЧЕСКИМИ МЕТАБОЛИТАМИ

Рассмотрена актуальность использования ферментированного растительного сырья. Приведена краткая характеристика листьев лопуха большого как перспективного сырья для ферментации и бактерий рода *Propionibacterium* как ферментирующего агента.

Ключевые слова: ферментация, пропионовокислые бактерии, растительное сырье, лопух большой.

E.R. Akhmadulina, L.V. Volkova

FERMENTED SUBSTANCE OF *A. LAPPA L.* LEAF BIOMASS ENRICHED WITH PROBIOTIC METABOLITES

The relevance of the use of fermented vegetable raw materials is considered. A brief description of the leaves of burdock large as a promising raw material for fermentation and *Propionibacterium* as a fermenting agent is given.

Keywords: fermentation, propionic acid bacteria, plant raw materials, burdock large.

Микробная ферментация растительного сырья способствует обогащению его полезными микробными метаболитами. То, какие вещества будут накапливаться в процессе ферментации, зависит от исходного растительного сырья и используемого штамма микроорганизмов. Исследования, проведенные в этой области, показывают, что в процессе ферментации растительное сырье обогащается белками, витаминами, полисахаридами, а также фенольными соединениями и дубильными веществами [1].

Листья лопуха большого богаты по своему химическому составу. В них содержатся такие биологически активные вещества как аскорбиновая кислота (38 мг %), флавоноиды (рутин, кверцетин,

апигенин, хлорогеновая кислота – 1 %), дубильные вещества (8 %), кумарины, полисахариды (6 %), слизи, алкалоиды (0,04 %) [2].

Полисахариды в составе листьев лопуха являются хорошим источником углерода для ферментирующих агентов. Было выявлено, что в полисахаридный комплекс входят такие моносахариды, как арабиноза, глюкоза и галактоза. Глюкоза как субстрат участвует в процессах молочного, пропионовокислого, спиртового, маслянокислого брожения, в процессе которых образуются незаменимые карбоновые кислоты.

Было установлено, что в процессе ферментации лопуха большого бактериями *Lactobacillus plantarum* происходит накопление таких кислот-метаболитов, как уксусная, масляная и молочная (табл. 1). Анализ был проведен в Региональном испытательном центре «Фарматест» ФГБУ ВО ПГФА Минздрава. Для анализа брали 2 пробы: 1 – листья лопуха высушенные; 2 – листья лопуха, ферментированные лактобактериями.

Таблица 1

Содержание кислот-метаболитов в исследуемых образцах

Концентрация уксусной кислоты в экстракте, мкг/мл		Концентрация масляной кислоты в экстракте, мкг/мл		Концентрация молочной кислоты в экстракте, мкг/мл	
Проба 1	Проба 2	Проба 1	Проба 2	Проба 1	Проба 2
5,5	57,8	11,7	699,4	6,1	18233

Лактобактерии являются распространенным ферментирующим агентом для растительного сырья. Больший интерес представляют пропионовокислые бактерии, обладающие иммуномодулирующими свойствами, высокой адгезией, неприхотливостью по отношению к питательной среде и высокими показателями синтеза незаменимого витамина B_{12} [3].

В среде, в которой наилучшим образом происходит рост пропионовокислых бактерий, содержатся такие вещества, как глюкоза, дрожжевой экстракт, гидролизат казеина, сульфат аммония, хлорид кобальта (II) и сульфат марганца (II) [4].

Листья лопуха, богатые полисахаридами, аминокислотами и микроэлементами, по составу могут подойти как сырье для ферментации пропионовокислыми бактериями. Однако для синтеза витамина B_{12} необходимо присутствие в среде ионов кобальта (II), что говорит о необходимости добавления в ферментационную среду дополнительно хлорида кобальта (II).

Ферментация листьев лопуха большого пропионовокислыми бактериями даст возможность получить новое многофункциональное сырье, обогащенное такими полезными метаболитами, как экзополисахариды, соли пропионовой и уксусной кислот, витамин B_{12}, аминокислота пролин [3].

Таблица 2

Польза метаболитов пропионовокислых бактерий для организма человека

Метаболит	Польза для организма
Экзополисахариды	Увеличивают адгезию пробиотиков к стенкам ЖКТ; образуют слизь, оказывающую увлажняющее действие в составе косметических масок
Пропионаты	Оказывают противомикробное действие; нормализуют работу ЖКТ; оказывают противовоспалительное действие
Ацетаты	Оказывают противомикробное действие; обладают антиоксидантными свойствами
Витамин B_{12}	Поддерживает иммунитет; необходим для синтеза эритроцитов; в составе косметических масок оказывает влагоудерживающее действие
Пролин	Участвует в формировании коллагена

Таким образом, ферментация листьев лопуха большого пропионовокислыми бактериями является перспективной областью исследования.

Список литературы

1. Zhao L.F., Xu Y.J., Zhou H.J. Research on microbes improve quality and flavor of pu’er tea in solid fermentation // Food Res. Develop. – 2006. – Vol. 27. – P. 155–156.

2. Кнауб Н.Н. Фитохимическое исследование и перспективы использования листьев лопуха большого, произрастающего в Алтайском крае, в качестве лекарственного сырья: дис. канд. фарм. наук / Перм. гос. фарм. акад. – Пермь, 2006. – 157 с.

3. Воробьева Л.И. Пропионовокислые бактерии. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 288 с.

4. Нетрусов А.И., Егорова М.А., Захарчук Л.М. Практикум по микробиологии: учеб. пособие / под ред. А.И. Нетрусова. – 2005. – 608 с.

Об авторах

Ахмадулина Екатерина Равилевна – студентка бакалавриата кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: ravikatti@mail.ru

Волкова Лариса Владимировна – доктор медицинских наук, профессор кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: wolkowalw@mail.ru

УДК 66.092

Р.Р. Ахмедзянова, Р.Т. Валеева, Д.В. Тунцев

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ПОДСОЛНЕЧНОЙ ШЕЛУХИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВАХ

В данной статье рассматриваются вопросы предварительной обработки лигноцеллюлозной биомассы – подсолнечной шелухи с целью получения максимальных значений редуцирующих веществ в полученных гидролизатах, и возможностью использования их как компонентов питательной среды при получении кормовых дрожжей.

Ключевые слова: лигноцеллюлозная биомасса, подсолнечная шелуха, гидролиз, предварительная обработка, целлюлоза, гемицеллюлоза, лигнин.

R.R. Akhmedzyanova, R.T. Valeeva, D.V. Tuntsev

PRETREATMENT OF SUNFLOWER HUSKS FOR USE IN BIOTECHNOLOGICAL INDUSTRIES

This article discusses the issues of pretreatment of lignocellulose biomass – sunflower husks in order to obtain maximum values of reducing substances in the obtained hydrolysates, and the possibility of using them as components of the nutrient medium in the production of feed yeast.

Keywords: lignocellulose biomass, sunflower husk, hydrolysis, pretreatment, cellulose, hemicellulose, lignin.

В последние годы лигноцеллюлозная биомасса является привлекательным возобновляемым сырьем для производства биопродуктов – для производства экологически чистых продуктов [1, 2].

Лигноцеллюлозная биомасса дает много преимуществ: изобилие, низкая стоимость, устойчивость и основной факт, что она не используется в качестве источника пищи [1]. В настоящее время ресурсы биомассы, предназначенные для получения биопродуктов, состоят из отходов лесного хозяйства и сельского хозяйства, энергетических культур [2]. Чтобы преобразовать биомассу в возобновляемую энергию и биохимические вещества, биопроцессы превращают часть биомассы в простые сахара, которые затем превраща-

ются в биотопливо и другие биопродукты [3]. Ключом к экономическому успеху биоперерабатывающих заводов является получение растворимых сахаров при низких затратах для ферментации или каталитической конверсии.

Однако многие факторы, такие как содержание лигнина, кристалличность целлюлозы и размер частиц, ограничивают усвояемость гемицеллюлозы и целлюлозы, присутствующих в биомассе. Предварительная обработка необходима для улучшения усвояемости лигноцеллюлозной биомассы. Разные виды предварительной обработки оказывают свое собственное воздействие на три основных компонента лигноцеллюлозной биомассы: целлюлозу, гемицеллюлозу и лигнин [4].

Целлюлоза является основным компонентом растительной биомассы, источником углерода, содержащая длинные цепи из D-глюкозы, связанных β–1,4 гликозидной связью. Целлюлоза в растении состоит из частей с кристаллической структурой и частей со слабо организованной аморфной структурой. Наружная поверхность целлюлозы покрыта гемицеллюлозой, которая является гетерополимерами из пентозанов [4, 5].

Гемицеллюлоза – это сложная углеводная структура, состоящая из различных полимеров, таких как ксилоза, арабиноза и маннoза, глюкоза, галактоза, которые часто образуют разветвленные цепи. Гемицеллюлоза служит связующим звеном между лигнином и целлюлозными волокнами. Основным компонентом гемицеллюлозы из сельскохозяйственных растений является ксилан [4, 5].

Лигнин является одним из наиболее распространенных полимеров в природе, который находится после целлюлозы и гемицеллюлозы. Макромолекулы лигнина построены из трех фенилпропановых единиц: *п*-кумарил, кониферил и синапиловый спирт. Аморфный гетерополимер нерастворим в воде и оптически неактивен, из-за этого лигнин трудно разлагается [4, 5].

Общая схема лигноцеллюлозной биоконверсии включает следующие этапы:

– стадия предварительной обработки для разложения клеточных стенок на компоненты;

– кислотный ферментативный гидролиз;

– ферментация моносахаридов, полученных с предыдущей стадии, в целевые продукты;

– отделение остатков и очистка продуктов.

Стадия предварительной обработки является наиболее дорогостоящей во всем процессе, но она имеет решающее значение для повышения доступности ферментов на этапе осахаривания, выделения целлюлозы, разрушения структуры лигнина, изменения как его структурных, так и химических свойств и разрушения кристалличности целлюлозы [2].

В лаборатории «Инженерных проблем биотехнологии» проводятся лабораторные исследования по комплексной переработке одного из вида лигноцеллюлозной биомассы – подсолнечной шелухи с получением гидролизатов – компонентов питательной среды для получения ценных биотехнологических продуктов. Подсолнечная шелуха представляет собой одревесневшую растительную ткань, однородную по физической структуре, с постоянным химическим составом и физико-механическими свойствами. В состав шелухи подсолнечника входит: клетчатка, целлюлоза, лигнин, пентозаны, фитомелан. Благодаря своему составу, является ценным сырьем для получения кормовых дрожжей и других продуктов.

Экспериментальные работы ведутся по подбору: технологических параметров предварительной обработки подсолнечника; кислотных гидролизующих агентов и их концентраций с целью получения максимальных значений редуцирующих веществ в полученных гидролизатах и ферментализатах, и возможностью использования их как компонентов питательной среды при получении кормовых дрожжей. Процессы гидролиза с минеральными кислотами проводятся на лабораторной установке с легко отбираемыми капсулами в определенные любые промежутки времени для проведения анализа полученных гидролизатов. Гидролизаты анализируются на содержание редуцирующих веществ, содержание сухих веществ и активную кислотность. Полученные данные проведенных процессов гидролиза подсолнечной шелухи с растворами серной кислоты представлены на рисунке.

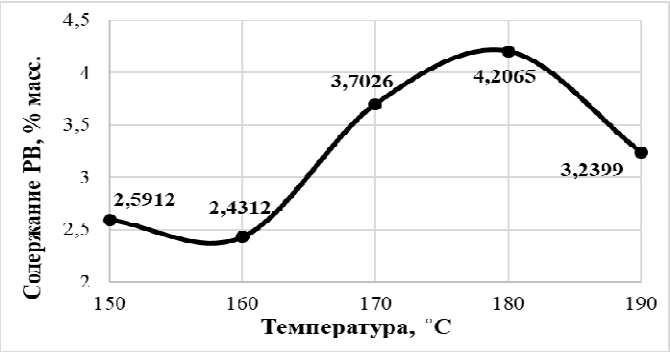


Рис. Динамика изменения содержания редуцирующих веществ от температуры в процессах гидролиза

Из полученных экспериментальных данных следует, что максимальное значение редуцирующих веществ получено при температуре 180 ºС.

Список литературы

1. Consolidated Pretreatment and Hydrolysis of Plant Biomass Expressing Cell Wall Degrading Enzymes / D. Zhang, A.L. VanFossen, R.M. Pagano [et al.] // BioEnergy Research. – 2011. – № 4. – P. 276–286.

2. Capolupo L., Faraco V. Green methods of lignocellulose pretreatment for biorefinery development // Applied Microbiology and Biotechnology. – 2016. – № 100 (22). – P. 9451–9467.

3. Ахмедзянова Р.Р., Тунцев Д.В., Валеева Р.Т. Предварительная переработка отходов подсолнечника с целью получения биотехнологических продуктов // Современные проблемы науки, общества и образования: сб. статей IV Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза: Наука и Просвещение, 2022. – С. 18–20.

4. Hendriks A.T.W.M., Zeeman G. Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass // Bioresource Technology. – 2009. – № 100. – P. 10–18.

5. Рекуперация отходов агропромышленного комплекса / М.Ю. Шурбина, Э.И. Нуретдинова, Р.Т. Валеева [и др.] // Инновационные технологии защиты окружающей среды в современном

мире: сб. материалов Всерос. науч. конф. с междунар. участием. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2021. – С. 1100–1103.

Об авторах

Ахмедзянова Румия Рустамовна – студентка магистратуры кафедры «Химическая кибернетика», Казанский национальный исследовательский технологический университет, e-mail: arumiyar17@mail.ru

Валеева Рауза Тимуровна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Химическая кибернетика», Казанский национальный исследовательский технологический университет, e-mail: valrt2008@rambler.ru

Тунцев Денис Владимирович – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Химическая кибернетика», Казанский национальный исследовательский технологический университет, e-mail: tuncev_d@mail.ru

УДК 54.48 + 577.112.6

А.С. Барашкова, Я.А. Климова, Л.Д. Аснин

ХРОМАТОГРАФИЧЕСКОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ ПЕНТАПЕПТИДОВ ЭНКЕФАЛИНОВ НА ХИРАЛЬНЫХ НЕПОДВИЖНЫХ ФАЗАХ

Исследовано влияние концентрации метанола и ацетатного буфера в водно-метанольных подвижных фазах на закономерности удерживания пентапептидов энкефалинов на новых хиральных колонках на основе привитых к силикагелю аддуктов хинина и хинидина с дипептидом L-Ala-L-Leu.

Ключевые слова: хроматография, хиральная неподвижная фаза, пентапептиды, энкефалины, хинин, хинидин.

A.S. Barashkova, Ya.A. Klimova, L.D. Asnin

CHROMATOGRAPHIC SEPARATION OF PENTAPEPTIDES-ENKEPHALINS IN CHIRAL STATIONARY PHASES

The effect of the concentration of methanol and acetate buffer in water-methanol mobile phases on the retention relationships of enkephalin pentapeptides on new chiral columns based on silica bound adducts of quinine and quinidine with dipeptide L-Ala-L-Leu was studied.

Keywords: chromatography, chiral stationary phase, pentapeptides, enkephalins, quinine, quinidine.

Энкефалины представляют собой эндогенные опиоидные пентапептиды, вырабатывающиеся в основном в центральной нервной системе, мозговом веществе надпочечников и других периферических тканях. Существует два структурно различных энкефалиновых пептида: мет-энкефалин (YGGFM) и лей-энкефалин (YGGFL). Они образуются из белка-предшественника, называемого проэнкефалином, путем посттрансляционного протеолитического расщепления. У млекопитающих проэнкефалин содержит семь последовательностей энкефалина: шесть копий мет-энкефалина и одну копию лей-энкефалина [1]. Перспективным считается применение энкефалинов или их гликозилированных производных в качестве анальгетиков [2]. В составе фармакологических продуктов могут присутствовать

смеси энкефалинов, причем некоторые из них находятся в разных стереоизомерных формах [3]. Для контроля получения энкефалинов в фармакологической промышленности и для анализа их содержания в биологических образцах в физиологических исследованиях необходим метод их разделения. Целью представленной работы является изучение возможности разделения энкефалинов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии.

Исследования проводились на жидкостном хроматографе LC20AD-XR (Shimadzu, Япония), оборудованным УФ-детектором. Влияние концентрации органического компонента в подвижной фазе (ПФ) изучали на колонке ASTRA CHSAK 59B с селектором хинидин-L-Ala-L-Leu. ПФ представляла собой смеси вода-метанол с концентрацией от 0 до 60 об. % MeOH, модифицированная небольшой добавкой $2 \cdot 10^{-4}$ М ацетата аммония. Добавление ацетата аммония не влияет на удерживание, но обеспечивает более быстрое установление равновесия. Исследование влияния pH ПФ на разделение энкефалинов проводилось на колонке ASTRA CHSAK 57B с селектором хинин-L-Ala-L-Leu. В качестве ПФ служил водный ацетатный буфер. pH буферной смеси регулировалась соотношением концентраций соли (CH_3COONa) и кислоты (CH_3COOH). Сумма их концентраций составляла 0,1 моль/л. Эксперименты выполнялись при температуре 25 ^{o}C, скорости подвижной фазы 0,4 и 0,5 мл/мин соответственно, объем пробы составлял 2 мкл при концентрации пробы 0,125 г/мл. Хроматограммы записывали на длине волны 220 нм.

В качестве исследуемых веществ использовались четыре энкефалина производства фирмы Sigma-Aldrich (Германия):

I) Tyr-Gly-Gly-Phe-L-Leu;

II) Tyr-Gly-Gly-Phe-Met;

III) Tyr-D-Ala-Gly-Phe-L-Leu;

IV) Tyr-D-Ala-Gly-Phe-D-Leu.

Каждое измерение повторяли три раза и рассчитывали среднее значение.

Было показано, что фактор удерживания (k) всех пентапептидов уменьшается с увеличением концентрации метанола, приводя к практически полной потере удерживания при содержании ме-

танола 60 об. % (рис. 1). pH ПФ оказывает слабое влияние на удерживание энкефалинов и не ведет к изменению порядка их выхода (рис. 2). Зависимость *k* от pH имеет вид кривой со слабовыраженным максимумом – разность минимального и максимального значений *k* составляет около 10 %.

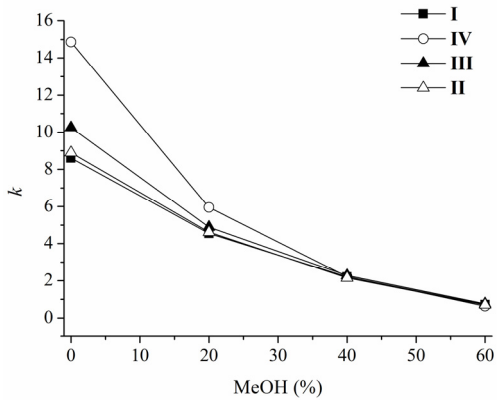


Рис. 1. Зависимость факторов удерживания пентапептидов от концентрации метанола на колонке ASTRA CHSAK 59B

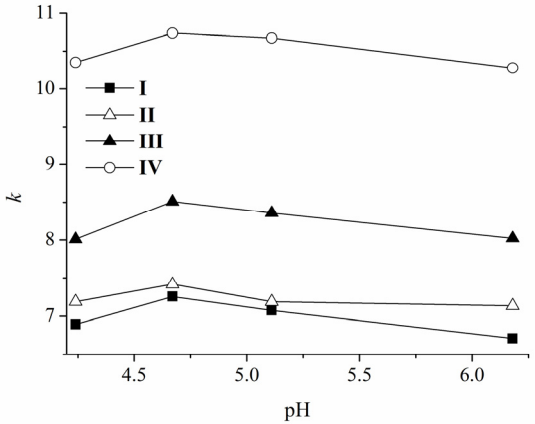


Рис. 2. Зависимость факторов удерживания пентапептидов от показателя pH на колонке ASTRA CHSAK 57B

Дольше всего удерживаются энкефалины **III** и **IV**, у которых второй остаток от N-терминального конца – D-аланин. Из них прочнее удерживается пентапептид **IV** с D-лейцином в C-концевом положении. Поскольку **III** и **IV** отличаются только стереоконфигурацией пятого фрагмента, это указывает на энантиоселективный эффект. Слабее всего удерживаются энкефалины **I** и **II**, имеющие во втором положении аминокислоту глицин. Порядок выхода пентапептидов на колонках с разными селекторами (на основе хинина (ASTRA CHSAK 57B) или хинидина (ASTRA CHSAK 59B)) одинаковый, что говорит о том, что конфигурация алкалоидного фрагмента аддукта не оказывает существенного влияния на удерживание энкефалинов; их разделение осуществляется за счет взаимодействий с другой частью селектора.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-53-26007.

Список литературы

1. Su T.-P. Delta opioid peptide [D-Ala^2, D-Leu^5]-enkephalin promotes cell survival // J. Biomed. Sci. – 2000. – Vol. 7, № 3. – P. 195–199.

2. Polt R., Dhanasekaran M., Keyari Ch.M. Glycosylated neuropeptides: A new vista for neuropsychopharmacology? // Med. Res. Rev. – 2005. – Vol. 25. – P. 557–585.

3. Yagasaki M., Hashimoto Sh. Synthesis and application of dipeptides; current status and perspectives // Appl. Microbiol. Biotechnol. – 2008. – Vol. 81. – P. 13–22.

Об авторах

Барашкова Анна Сергеевна – студентка кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: barashkova.any@yandex.ru

Климова Яна Анатольевна – аспирант кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: yana-klimova-1995@mail.ru

Аснин Леонид Давыдович – кандидат химических наук, доцент кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: asninld@pstu.ru

УДК 613.2

Е.Е. Белоусова, С.Б. Чачина,
Д.А. Гиндер, К.В. Клюкина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОЛЕЙ ФИТИНОВОЙ КИСЛОТЫ В РАСТИТЕЛЬНОМ МОЛОКЕ

Дан анализ состава растительного молока на содержание фитиновой кислоты. Т.к. питательные свойства сои достаточно высоки: она содержит в 2 раза больше белка, чем свинина, в 3 раза больше, чем яйца, и в 12 раз больше, чем молоко, она является более питательной, чем молоко. В процессе прорастания семян значительная роль принадлежит фитину. Фитин является основным фосфорсодержащим компонентом растительной клетки и играет роль резервного энергетического субстрата в период прорастания семян, интенсивного роста и накопления биомассы растения.

Ключевые слова: бобовые, соя, овес, фундук, фитиновая кислота.

E.E. Belousova, S.B. Chachina,
D.A. Ginder, K.V. Klyukina

DETERMINATION OF PHYTIC ACID SALTS IN VEGETABLE MILK

This article contains information about analysis of the composition of vegetable milk for the content of phytic acid. Since the nutritional properties of soy are quite high: it contains 2 times more protein than pork, 3 times more than eggs, and 12 times more, it is more nutritious than milk, it is more nutrition than milk. Phytin plays a significant role in the process of seed germination. Phytin is the main phosphorus-containing component of the plant cell and plays the role of a reserve energy substrate during the period of seed germination, intensive growth and accumulation of plant biomass.

Keywords: legumes, soybeans, oats, hazelnuts, phytic acid.

Актуальность проблемы содержания фитиновых кислот высока. Фитин содержится в семенах злаковых, картофеле, подсолнечнике, бобовых и других культурах, в продуктах питания, не подвергшихся обработке, входит в состав клеточных мембран и негативно воздействует на организм человека.

Население нашей планеты растет, и, к сожалению, не во всех ее «уголках» хватает продуктов для полноценного питания некоторых слоев населения. И если мясных и молочных продуктов, овощей и фруктов на всех может не хватить, то соя имеет все шансы стать идеальным продуктом для заполнения продовольственных пробелов [1].

Фитиновая кислота (или фитаты) является натуральным соединением, содержащимся во многих растительных продуктах, таких как зерновые культуры, орехи, семена и ростки. Она является фосфорсодержащим органическим соединением, которое играет важную роль в метаболизме фосфора растений.

Ростки растений, такие как соя, пшеница, ячмень и другие, содержат высокие концентрации фитиновой кислоты. Однако в процессе прорастания ростков фитиновая кислота разлагается и превращается в фосфор, что делает его более доступным для организма человека.

С другой стороны, фитиновая кислота в растительном молоке, таком как соевое молоко, овсяное молоко и другие, также может снижать усвоение некоторых важных питательных веществ, таких как кальций, железо и цинк. Это происходит из-за того, что фитаты связывают эти минералы, образуя неудобоваримые соединения. Однако современные технологии производства растительного молока могут уменьшить содержание фитиновой кислоты и повысить усвояемость питательных веществ [2].

Задачами работы является изучить разных видов растительного молока на содержание фитиновой кислоты; рассмотреть лучшие вариации состава растительного молока.

Спрос на растительное молоко растет с каждым годом, поэтому на рынке представлено много фирм, производящих такое молоко. Растительное молоко может быть хорошей альтернативой для людей, которые не потребляют животные продукты или ищут здоровые варианты питания. Вот несколько причин, почему растительное молоко может быть лучшей альтернативой:

– более низкий уровень насыщенных жиров: растительное молоко, в отличие от животного, обычно содержит меньше насы-

щенных жиров, которые могут быть вредными для здоровья, если их потреблять в больших количествах;

– без лактозы: растительное молоко не содержит лактозы, что может быть преимуществом для людей с непереносимостью лактозы;

– больше витаминов и минералов: многие виды растительного молока обогащаются витаминами и минералами, такими как кальций, витамин D, витамин B_{12}, что может быть особенно полезным для вегетарианцев и веганов, которые могут иметь недостаток этих питательных веществ в своей диете;

– меньше аллергенов: растительное молоко может быть хорошей альтернативой для людей, страдающих аллергией на молочные продукты или проблемами с пищеварением.

Если регулярно употреблять продукты с повышенным содержанием фитиновой кислоты, то это может привести к некоторым проблемам со здоровьем. Фитиновая кислота может связывать в кишечнике некоторые микроэлементы, такие как железо, цинк, магний и кальций, и препятствовать их усвоению организмом. Это может привести к дефициту этих важных питательных веществ и, в результате, к нарушению функций различных органов и систем в организме [1, 2].

Также стоит учитывать, что фитаты могут ухудшить усвоение белков и жиров, а также некоторых витаминов, таких как витамин D, что может отрицательно сказаться на здоровье человека в целом.

Однако следует отметить, что умеренное употребление продуктов с высоким содержанием фитиновой кислоты не является опасным для здоровья и может даже иметь некоторые полезные эффекты. Например, фитиновая кислота может иметь антиоксидантные свойства, защищая клетки от повреждений свободными радикалами. Также фитиновая кислота может иметь противовоспалительные свойства и помочь снизить риск развития некоторых заболеваний, таких как рак и сердечно-сосудистые заболевания.

К 1 мл надосадочной жидкости добавляют сначала 1,5 мл индикативного 0,03 % кислого раствора роданида аммония NH4SCN в

6 % HCl, затем прибавляли 50 мкл кислого конкурентного раствора хлорида железа (III). Раствор хлорида железа готовят из соли FeCl3, высушенной в эксикаторе с концентрированной серной кислотой. Содержание раствора представляет собой 0,86 % по FeCl3 в 0,2 % по HCl. После добавления раствора хлорида железа (III) образцы колориметрируют в предварительно калиброваных кварцевых кюветах [3]. Полученные данные всех экспериментов представлены в таблице.

Экспериментательные показатели исследуемых образцов

Продукт	Оптическая плотность *D* (Б)	Содержание фитина в массе навески *F* (мг)	Активность фитина, %
Овес	1,800	0,31	13,589
Гречка	1,733	0,30	13,083
Кокос	1,505	0,26	11,362
Фундук	1,600	0,27	12,079
Соя	2,523	0,43	19,047
Сухое молоко	1,700	0,29	12,833

Исходя из измеренной оптической плотности, определяем концентрацию фитина в продуктах по калибровочному графику.

Проведя химический анализ растительного молока, взяв сухое молоко за контроль, мы получили следующие результаты: самое большое содержание фитиновой кислоты можно обнаружить в сое, а самое незначительное в кокосе. Содержание фитиновой кислоты в исследуемых продуктах незначительно превышает рекомендованные нормы.

По результатам проведенных исследований, можно сделать вывод, что для употребления в пищу растительного молока следует отдавать предпочтение на основе злаковых и ореховых культур.

Список литературы

1. Лазарев В.А., Тихонов С.Л., Ворошкевич И.А. Растительное молоко – альтернативное сырье для производства напитков // Наука, образование, инновации: актуальные вопросы и современ-

ные аспекты: сб. статей XIV Междунар. науч.-практ. конф., Пенза, 10 сентября 2022 г. – Пенза: Наука и Просвещение, 2022. – С. 42–45.

2. Терехова О.А., Лаврентьева С.И., Иваченко Л.Е. Влияние погодных условий на энзиматическую активность семян сои, выращенных с использованием природных цеолитов // Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. – № 4 (118).

3. Неверова О.А., Гореликова В.М., Позняковский В.М. Пищевая биотехнология продуктов из сырья растительного происхождения. – Новосибирск: Сиб. ун-е изд-во, 2007. – 415 с.

4. Патент № 2680833 C1 Российская Федерация, МПК G01N 33/00, G01N 1/34. Способ определения солей фитиновой кислоты в семенах растений: № 2018102663: заявл. 23.01.2018: опубл. 28.02.2019 / В.Н. Вепринцев, О.А. Землянухина, В.Н. Калаев [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет».

Об авторах

Белоусова Екатерина Евгеньевна – студентка бакалавриата кафедры «Биотехнология, технология общественного питания и товароведение», Омский государственный технический университет, SPIN-код 7594-2750, e-mail: kati2-02@mail.ru

Чачина Светлана Борисовна – кандидат биологических наук, доцент кафедры «Биотехнология, технология общественного питания и товароведение», Омский государственный технический университет, SPIN-код 9530-2880, e-mail: ksb@mail.ru

Гиндер Даниил Аскарович – студент бакалавриата кафедры «Биотехнология, технология общественного питания и товароведение», Омский государственный технический университет.

Клюкина Ксения Витальевна – студентка магистратуры кафедры «Биотехнология, технология общественного питания и товароведение», Омский государственный технический университет.

УДК 579.22

Е.В. Буденчук, С.Б. Чачина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И АНАЛИЗ САХАРОЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НИТРИФИЦИРУЮЩИХ, АЗОТОФИКСИРУЮЩИХ, АММОНИФИЦИРУЮЩИХ, ДЕНИТИРИФИЦИРУЮЩИХ И НИТРАТРЕДУЦИРУЮЩИХ БАКТЕРИЙ

Даны описание методики определения сахаролитической активности микроорганизмов, а также краткая характеристика нитрифицирующих, азотофиксирующих, аммонифицирующих, денитрифицирующих и нитратредуцирующих бактерий. Представлены результаты определения сахаролитической активности. Выполнен сравнительный анализ сахаролитических свойств представленных бактерий по отношению к различным углеводам и сделано заключение по данным исследования.

Ключевые слова: сахаролитические свойства, бактерии, определение, сравнительный анализ, углеводы.

E.V. Budenchuk, S.B. Chachina

DETERMINATION AND ANALYSIS OF THE SACCHAROLYTIC ACTIVITY OF NITRIFYING, NITROGEN-FIXING, AMMONIFYING, DENITRIFYING AND NITRATE-REDUCING BACTERIA

A description of the methodology for determining the saccharolytic activity of microorganisms is given, as well as a brief description of nitrifying, nitrogen-fixing, ammonifying, denitrifying and nitrate-reducing bacteria. The results of determination of saccharolytic activity are presented. A comparative analysis of saccharolytic properties of the presented bacteria in relation to different carbohydrates has been carried out and a conclusion on the research data has been made.

Keywords: saccharolytic properties, bacteria, determination, comparative analysis, carbohydrates.

Ферменты микроорганизмов обладают теми же функциями и свойствами, что и ферменты других организмов [1]. Известно, что ферментативная активность каждого микроорганизма отличается, и это можно использовать в качестве биологической дифференциации.

Для определения и анализа ферментативной активности и применения этого в биологической дифференциации используют свойства:

1) сахаролитические – способность сбраживать углеводы с образованием кислоты и газа или только кислоты;

2) протеолитические – способность разлагать белковые продукты с образованием сероводорода, индола и других веществ;

3) редуцирующие – способность восстанавливать химические вещества [2].

В данной статье будет затронуто определение сахаролитической активности или активности ферментов-гидролаз, а именно гидролаз глюкозидов, которые осуществляют расщепление углеводов и глюкозидов до более простых соединений [1].

Для определения и анализа ферментативной активности мы берем бактерии рода:

1) нитрифицирующие – окисляют восстановленные соединения азота до нитратов;

2) денитрифицирующие – восстанавливают нитраты и нитриты до молекулярного азота;

3) аммонифицирующие – разлагают азотосодержащие соединения с образованием аммиака или ионов аммония;

4) азотофиксирующие – организмы, способные фиксировать азот из воздуха и переводить в азотосодержащие соединения;

5) нитратредуцирующие – восстанавливают нитраты до нитритов [3].

Сахаролитические свойства определяют путем посева культуры на дифференциально-диагностические среды, содержащие углеводы (лактозу, сахарозу, глюкозу, мальтозу, маннит), пептонный бульон и индикатор Андреде. Под действием ферментов-гидролаз организмов углеводы начинают расщепляться с образованием кислых продуктов, и следовательно, это вызывает изменение окраски индикатора. Неизменным цвет питательной среды остается, если организм не способен расщепить данный сахар. Тем самым мы наблюдаем образование «пестрого» ряда Гисса [2]. После приготовления питательной среды, добавления необходимых сахаров и посева культуры в пробирки со средой, необходимо указать на каждой пробирке название углевода и род бактерий для идентификации.

Цвет среды изменяется в случае использования индикатора Андреде, со светло-желтого на красный. Если реакция положительная и индикатор значительно поменял цвет, то напротив пробирки ставим «+» и считаем сахаролитическую активность выраженной, если реакция прошла слабо, индикатор изменил цвет на желто-розовый, то отмечаем «+–» и считаем сахаролитическую активность слабовыраженной, а если реакция не обнаружена, цвет среды остался неизменным, то обозначаем «–» и считаем, что сахаролитическая активность отсутствует. Все экспериментально полученные данные представлены на рисунке и в таблице.

Рис. Результаты сравнительного анализа микроорганизмов

Результаты сравнительного анализа микроорганизмов

Название бактерий	Глюкоза	Сахароза	Мальтоза	Маннит	Лактоза
Нитрифицирующие	+	–	+–	–	–
Денитрифицирующие	+	+–	+–	–	–
Нитратредуцирующие	+	+–	+	–	–
Аммонифицирующие	+	+	+	–	–
Азотофиксирующие	+	+–	+	–	–

Согласно полученным данным, был сделан вывод, что все использованные бактерии проявляют сахаролитическую активность по отношению к глюкозе. Выраженной активностью по отношению к сахарозе обладают аммонифицирующие бактерии, слабо разлагают сахарозу денитрифицирующие, нитратредуцирующие и азотофиксирующие бактерии и совсем не расщепляют ее нитрифицирующие бактерии. Сбраживают мальтозу нитратредуцирующие, аммонифицирующие и азотофиксирующие бактерии, а слабовыраженная сахаролитическая активность к мальтозе наблюдается у нитрифицирующих и денитрифицирующих бактерий. Способность разлагать маннит и лактозу не наблюдается ни у одного организма.

Список литературы

1. Лысак В.В., Игнатенко Е.И. Физиология микроорганизмов: учеб.-метод. пособие – Минск: БГУ, 2016. – 80 с.

2. Методические указания к лабораторным занятиям по общей медицинской микробиологии / Л.В. Новикова, О.А. Радаева, С.Г. Колесникова, Г.Б. Аношкина. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2011. – 76 с.

3. Лысак, В.В. Микробиология: учеб. пособие. – Минск: БГУ, 2007. – 340 с.

Об авторах

Буденчук Екатерина Владимировна – студентка кафедры «Биотехнология, технология общественного питания и товароведение», Омский государственный технический университет, e-mail: budenchukkate@gmail.com

Чачина Светлана Борисовна – кандидат биологических наук, доцент кафедры «Биотехнология, технология общественного питания и товароведение», Омский государственный технический университет, e-mail: ksb3@yandex.ru

УДК 579.22

А.О. Габова, А.В. Тюленев,
Г.В. Смирнова, О.Н. Октябрьский

СТРЕСС-ИНДУЦИРУЕМАЯ ПРОДУКЦИЯ H_2S У БАКТЕРИЙ *BACILLUS SUBTILIS*

Внесение антибиотика хлорамфеникола или цистина в растущие культуры грамположительных бактерий *Bacillus subtilis* стимулировало быстрое и продолжительное повышение продукции эндогенного сульфида водорода. Образующийся сульфид регистрировался непосредственно в культуре микроорганизмов в режиме реального времени с помощью сульфид-специфичного сенсора.

Ключевые слова: *Bacillus subtilis,* продукция H_2S, электрохимические сенсоры.

A.O. Gabova, A.V. Tyulenev,
G.V. Smirnova, O.N. Oktyabrsky

STRESS-INDUCED H_2S PRODUCTION IN *BACILLUS SUBTILIS*

The introduction of antibiotic chloramphenicol or cystine into growing cultures of gram-positive bacteria *Bacillus subtilis* stimulated a sharp and prolonged increase in the production of endogenous hydrogen sulfide. The resulting sulfide was recorded directly in the culture of microorganisms in real time using a sulfide-specific sensor.

Keywords: *Bacillus subtilis,* H_2S production, electrochemical sensors.

Недавно было обнаружено, что грамм-отрицательные бактерии *Escherichia coli*, растущие в аэробных условиях на минеральной среде, продуцируют H_2S в ответ на такие стрессовые воздействия, как голодание или обработка антибиотиками. Показано, что продукция сульфида включена в механизм поддержания гомеостаза цистеина, уровень которого увеличивается при стресс-индуцируемой остановке роста бактерий. Повышение уровня цистеина стимулирует образование активных форм кислорода в реакции

Фентона [1, 2]. Целью настоящей работы было проверить, существует ли стресс-индуцируемая продукция H_2S у грамм-положительных бактерий *Bacillus subtilis*.

Культуру *B. subtilis*-428 (коллекция ВКМ) выращивали на орбитальном шейкере при температуре 37 ^{o}C на минимальной минеральной среде М9 [3] с добавлением глюкозы и микроэлементов. Непосредственно в колбы с растущими культурами были установлены электрохимические сенсоры, что позволяло регистрировать изменения исследуемых параметров в режиме реального времени [2]. Стрессовые воздействия производили в середине экспоненциальной фазы роста. Измерение оптической плотности и расчет удельной скорости роста проводили традиционными методами.

Изменение продукции сульфида водорода регистрировали с помощью сульфид-специфичного халькогенидного электрода XC-S^{2-}-001 (Sensor Systems Company, РФ). Одновременно детекцию H_2S в газовой фазе над поверхностью бактериальной культуры оценивали цветной реакцией на бумажных полосках, пропитанных ацетатом свинца [4].

Для индукции стресса, вызывающего ингибирование синтеза белка, в культуральную среду добавляли 25 мкг/мл антибиотика хлорамфеникола. Ранее в разных лабораториях с помощью бумажных полосок была обнаружена продукция H_2S, индуцируемая добавлением цистина.

В этой работе мы проследили за выделением H_2S с помощью электрохимического сенсора.

Добавление цистина не вызывало заметных изменений удельной скорости роста *B. subtilis*, в то время как внесение хлорамфеникола полностью ингибировало рост.

Продукция сульфида водорода у бактерий *B. subtilis* при росте в контрольных условиях поддерживается на низком и постоянном уровне в течение всего культивирования. Добавление хлорамфеникола или цистина стимулировало резкое увеличение продукции эндогенного сульфида в обоих случаях, однако наиболее выраженная и продолжительная реакция была в случае с внесением экзогенного цистина (рисунок), что хорошо согласуется с данными, полученны-

ми ранее на культурах *E. coli* [1]. С помощью индикаторных полосок, пропитанных ацетатом свинца, удалось подтвердить показания сульфид-специфичного сенсора.

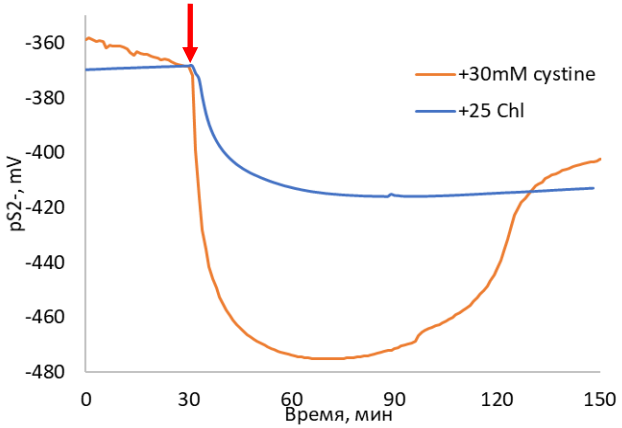


Рис. Изменение продукции сульфида водорода в культуре *B. subtilis* при действии цистина или хлорамфеникола. Момент внесения индуктора стресса обозначен стрелкой

Как и *E. coli,* растущие культуры *B. subtilis* в ответ на действие хлорамфеникола или внесение цистина в среду резко увеличивает продукцию H_2S. В сравнении с *E. coli,* продукция эндогенного сульфида водорода в ответ на аналогичные стрессы у *B. subtilis* более выраженная и продолжительная. Это может быть связано с тем, что у грамположительных микроорганизмов отсутствует глутатион, который у большинства грамотрицательных бактерий является универсальным редокс-буфером и выполняет роль внутриклеточного депо цистеина. Требуются дальнейшие исследования для выяснения роли продукции сульфида у *B. subtilis*. Полученные результаты свидетельствуют о том, продукция сульфида может быть универсальной реакцией на стрессы у аэробных культур бактерий, растущих на сульфате как источнике серы. Неорганический сульфат часто является основным источником серы в естественной среде обитания бактерий.

Работа выполнена при поддержке Гранта РНФ № 22-14-00093.

Список литературы

1. Cysteine homeostasis under inhibition of protein synthesis in *Escherichia coli* cells / G.V. Smirnova, A.V. Tyulenev, K.V. Bezmaternykh [et al.] // Amino Acids. – 2019. – Vol. 51. – P. 1577–1592.

2. The role of sulfides in stress-induced changes of Eh in *Escherichia coli* cultures / A.V. Tyulenev, G.V. Smirnova, N.G. Muzyka [et al.] // Bioelectrochemistry. – 2018. – Vol. 121. – P. 11–17.

3. Miller J.H. Experiments in molecular genetics // Cold Spring Harbor: Cold Spring Harbor Laboratory Press. – 1972. – 466 p.

4. H_2S: a universal defense against antibiotics in bacteria / K. Shatalin, E. Shatalina, A. Mironov, E. Nudler // Science. – 2011. – Vol. 334. – P. 986–990.

Об авторах

Габова Анна Олеговна – студентка магистратуры кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: ms.anya.05@mail.ru

Тюленев Алексей Валерьевич – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН, e-mail: leksey333@yandex.ru

Смирнова Галина Васильевна – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН, e-mail: smirnova@iegm.ru

Октябрьский Олег Николаевич – доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией физиологии и генетики микроорганизмов (ЛФГМ), Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН, e-mail: oktyabr@iegm.ru

УДК 606

К.Е. Габченко, А.Д. Конюхова, С.Б. Чачина

ЗНАЧЕНИЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕДУЦИРУЮЩЕЙ (ВОССТАНАВЛИВАЮЩЕЙ) СПОСОБНОСТИ БАКТЕРИЙ

Дана краткая характеристика редуцирующих свойств микроорганизмов. Представлены методики и результаты определения редуцирующей способности микробов, определение фермента каталазы, тест на оксидазу.

Ключевые слова: редуцирующая способность, определение каталазы, определение оксидазы.

K.E. Gabchenko, A.D. Konyukhova, S.B. Chachina

THE SIGNIFICANCE OF DETERMINING THE REDUCING (REGENERATIVE) ABILITY OF BACTERIA

A brief description of the reducing properties of microorganisms is given. The methods and results of determining the reducing ability of microbes are presented, determination of catalase enzyme, oxidase test.

Keywords: reducing ability, determination of catalase, determination of oxidase.

Редуцирующие свойства определяют на основании изменения цвета органической краски метиленовой сини, малахитовой зелени, нейтрального красного и др.

Методика определения редуцирующей способности. Существует несколько способов определения редуцирующей способности бактерий:

1. Берем пробирку с 5 мл молока с добавленным раствором метиленовой сини и засеваем петлей исследуемую культуру, снятую с плотной питательной среды. Инкубируем 24 ч в термостате при температуре 27 °С и отмечаем результаты. При сильной редуцирующей способности среда из голубой становится кремовой, при слабой – зеленоватой.

2. Пробирки со средой Минкевича или, по-другому, с лакмусовым молоком, засевают по такому же принципу, как и про-

бирки с метиленовой синью. Пробирки с посевами инкубируют 10 дней при температуре 27 °С в термостате, ежедневно оценивая результаты (рис. 1).

Рис. 1. Определение редуцирующей способности

Вывод: во всех пробирках произошло изменение окраски среды из сиреневого в молочный. Следовательно, произошла полная редукция лакмуса.

Определение фермента каталазы. Существуют виды аэробных микроорганизмов, которые в процессе дыхания образуют перекись водорода, которая является клеточным ядом. В культуре

концентрация перекиси водорода никогда не достигает больших концентраций, т.к. при участии фермента каталазы перекись по мере образования расщепляется на воду и молекулярный кислород.

Исходя из этого, для определения фермента каталазы используют чашки Петри с плотной питательной средой, с заранее выращенной микробной культурой. На поверхность плотной питательной среды наносят 1 % раствор перекиси водорода так, чтобы она покрывала тонким слоем поверхность культуры. Оценивают результат наличия фермента каталазы в микробной культуре при образовании пузырьков газа за счет расщепления перекиси водорода (рис. 2).

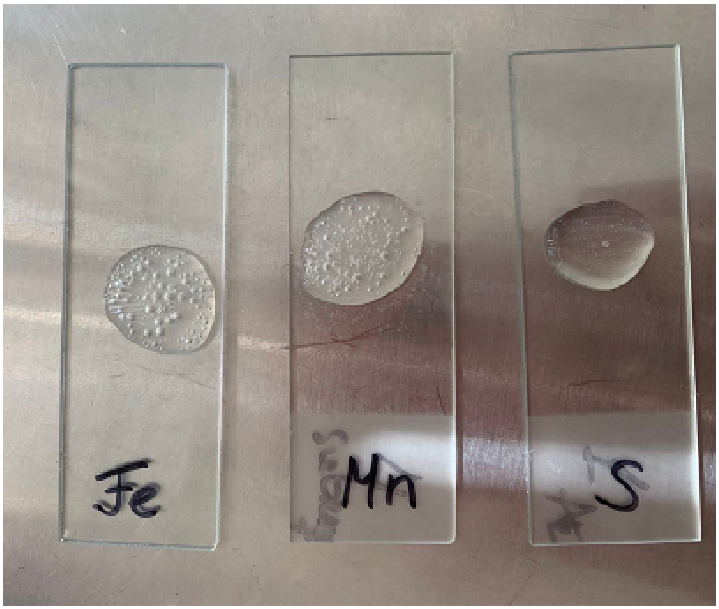


Рис. 2. Определение каталазы

Вывод: в результате опыта железо и марганец выделили большое количество пузырьков газа, а сера – меньшее количество, следовательно, во всех препаратах произошла положительная реакция и образовалась каталаза.

Тест на оксидазу. Тест на оксидазу используется для разделения представителей родов, обладающих оксидазной активностью (*Vibrio, Neisseria, Alcaligenes, Pseudomonas*) от энтеробактерий (оксидазоотрицательные).

Для постановки такого теста используют флакончик, в котором находятся стерильные диски из фильтровальной бумаги, пропитанные оксалатом N, N-диметил-парафенилендиамина, аскорбиновой кислотой и а-нафтолом.

Проводят оксидазный тест путем снятия микробной колонии и растирания ее по оксидазному диску. Результаты учитывают в течение 5–10 с при 25–30 °С. Через 10–60 с учитывают замедленные положительные реакции. Если изменения цвета на диске отсутствуют или окраска развивается через 60 и более секунд, тогда реакцию расценивают отрицательной. У оксидаза-положительных бактерий реактивная зона полоски окрашивается в цвета от голубого до пурпурного (рис. 3).

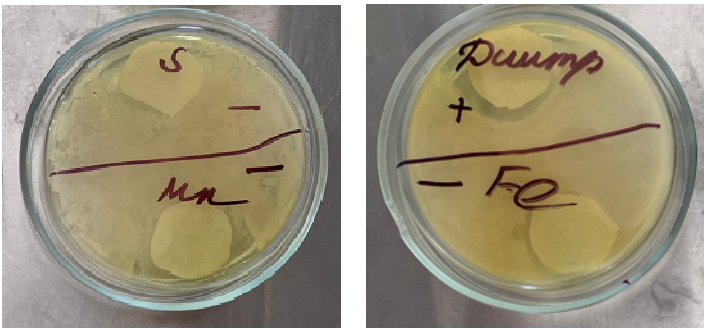


Рис. 3. Тест на оксидазу

Вывод: в образцах с железом, серой и марганцем произошла положительная реакция.

Список литературы

1. Методы общей бактериологии: учеб.-методич. пособие / Д.А. Васильев [и др.]. – Ульяновск: УГСХА, 2007. – 130 с.

2. Госманов Р.Г., Колычев Н.М., Барсков А.А. Практикум по ветеринарной микробиологии и иммунологии: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 111201 – «Ветеринария». – 2-е изд., перераб. и доп. – Омск: Изд-во ОмГАУ: ЛЕО, 2008. – 309 с.

3. Методы определения редуцирующих свойств фитопатогенных бактерий, 2014 [Электронный ресурс]. – URL: https://agro-archive.ru/metody-issledovaniya/775-metody-izucheniya-proteoliticheskih-svoystv.html (дата обращения: 26.02.2023).

4. Методы идентификации грам (–) бактерий, 2011 [Электронный ресурс]. – URL: https://kbmk.kirov.ru/library/7/doc/1/index1.1.htm (дата обращения: 26.02.2023).

Об авторах

Габченко Ксения Евгеньевна – студентка кафедры «Биотехнология, технология общественного питания и товароведение», Омский государственный технический университет, e-mail: ksushagabchenko@gmail.ru

Конюхова Анастасия Дмитриевна – магистрант кафедры «Биотехнология, технология общественного питания и товароведение», Омский государственный технический университет, e-mail: nyaanimekavai@gmail.com

Чачина Светлана Борисовна – кандидат биологических наук, доцент кафедры «Биотехнология, технология общественного питания и товароведение», Омский государственный технический университет, e-mail: ksb3@yandex.ru

УДК 631.859.13:628.3.034.3

А.А. Глушаева, А.В. Портнова

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ХРАНЕНИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ ИОНОВ NH_4^+ И PO_4^{3-} В СТОКАХ ЖИВОТНОВОДСТВА

Представлены данные по количественному определению ионов NH_4^+ и PO_4^{3-} в образцах стоков животноводства при хранении их в разных температурных условиях. Определены оптимальные условия хранения стоков для последующего извлечения этих ионов в виде удобрения магний-аммоний фосфата. Описаны методики подготовки к анализу проб на необходимые ионы. Рассмотрены зависимости влияния температуры и времени хранения на содержание ионов NH_4^+ и PO_4^{3-} в образцах стоков животноводства.

Ключевые слова: отходы сельского хозяйства, сточные воды животноводства, аммонийный азот, фосфат-ионы, магний-аммоний фосфат.

A.A. Glushaeva, A.V. Portnova

INFLUENCE OF STORAGE CONDITIONS ON THE CONTENT OF NH_4^+ IONS AND PO_4^{3-} IN ANIMAL HUSBANDRY WASTEWATER

The data on the quantitative determination of NH_4^+ and PO_4^{3-} ions in animal waste samples during their storage under different temperature conditions are presented. Optimal conditions for the storage of effluents for the subsequent extraction of these ions in the form of magnesium-ammonium phosphate fertilizer have been determined. The methods of preparation for the analysis of samples for the necessary ions are described. The dependences of the influence of temperature and storage time on the content of NH_4^+ and PO_4^{3-} ions in animal waste samples are considered.

Keywords: agricultural waste, animal husbandry wastewater, ammonium nitrogen, phosphate ions, magnesium-ammonium phosphate.

Актуальность проблемы получения удобрений с использованием отходов сельского хозяйства в настоящий момент очень высока. Органические отходы представляют большую опасность для окружающей среды. Попадая в водоемы, они способствуют увеличению содержания аммиака в воде и уменьшают содержание кислорода, что оказывает негативное влияние на жизнедеятельность водных организмов, растений и в целом на микрофлору водоемов

[1]. Повторное использование продуктов животноводства позволит улучшить экологическую ситуацию и уменьшить количество вредных выбросов. Кроме того, это поможет уменьшить затраты на производство удобрений с использованием готовых химических веществ.

На накопление и осаждение ионов NH_4^+ и PO_4^{3-} в стоках животноводства влияют условия хранения, а именно температура и длительность хранения.

В неочищенных сточных водах животноводства основная масса азота находится в виде аммонийного азота. Азот используется микроорганизмами для роста, и часть неорганического азота переходит в образующиеся бактериальные клетки. При высокой температуре и длительном хранении происходит накопление нитрифицирующих бактерий, и аммонийный азот окисляется до нитритного, а далее до нитратного [4]. Таким образом, общее содержание аммонийного азота в стоках уменьшается, что является отрицательным эффектом для последующего получения удобрения магний-аммоний фосфата из отходов животноводческих ферм.

Что касается фосфат-ионов, наиболее распространенными формами, в которых фосфор присутствует в сточных водах, являются органические соединения, ортофосфаты и полифосфаты. Около 80 % фосфора в сточных водах сельского хозяйства находится в виде ортофосфатов или полифосфатов, которые гидролизуются до ортофосфатов [3]. Микроорганизмы оказывают большое влияние на скорость гидролиза полифосфатов, особенно в разбавленных растворах при температуре около 20 °С. Большинство соединений фосфора растворимы в воде и высвобождаются при длительном хранении (отстаивание) [2]. При биохимических процессах микроорганизмов часть фосфора используется для процесса жизнедеятельности, однако в сточных водах сельского хозяйства содержится намного больше фосфора, чем требуется для биохимического цикла. Это является причиной накопления фосфат-ионов в пробах стоков при длительном хранении и определенной температуре.

Проведены анализы по количественному определению содержания ионов NH_4^+ и PO_4^{3-} в пробах сточных вод сельскохозяй-

ственной фермы фотометрическими методами: для определения фосфат-ионов использовался метод с молибдатом аммония в кислой среде, для определения аммонийного азота – метод с применением реактива Несслера.

Эксперименты проводились в течение двух месяцев с периодичностью измерений каждые две недели. Температура хранения проб отличалась:

1) температура около 0 °С;

2) температура комнатная 24 °С;

3) температура повышенная 40 °С.

Перед выполнением фотометрического анализа исходные пробы необходимо разбавить дистиллированной водой, а также отфильтровать, в некоторых случаях предварительно центрифугировать для отделения от мельчайших примесей и получения светлого прозрачного раствора.

На основании проведенных анализов представлены графические зависимости содержания ионов NH_4^+ и PO_4^{3-} (мг/л) от длительности и температуры хранения образцов стоков (рис. 1, 2).

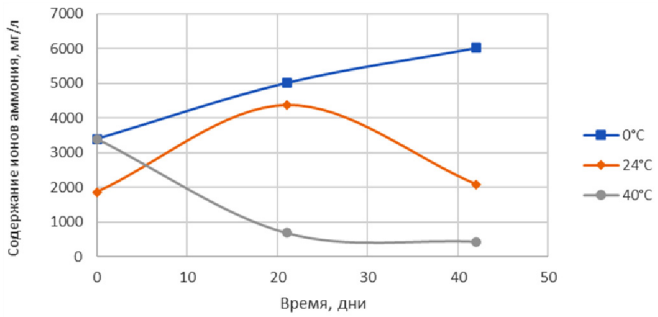


Рис. 1. Содержание ионов аммония в пробах
в зависимости от температуры хранения

На основании полученных данных можно сделать вывод об оптимальных значениях времени и температуры хранения стоков животноводства для получения удобрения магний-аммоний фосфата. Для большего выхода продукта необходимо проводить его вы-

деление по истечении трех недель после получения пробы, т.к. позже происходит окисление аммонийного азота, который является наиболее важным в получении удобрения. Что касается фосфат-ионов, их содержание в течение длительного времени либо не меняется, либо увеличивается при температуре выше комнатной. Но при повышенной температуре количество аммонийного азота снижается, поэтому оптимальной температурой хранения стоков животноводства является комнатная – около 24 °С.

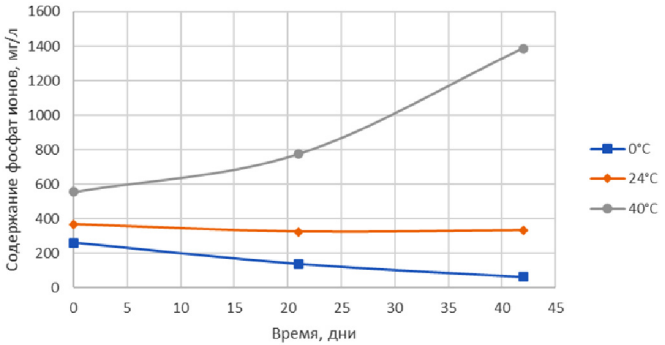


Рис. 2. Содержание фосфатов в пробах в зависимости от температуры хранения

На основании проведенных экспериментов и литературных данных определены оптимальные условия хранения отходов животноводства. Данные результаты будут полезны для разработки технологии получения азотно-фосфорных удобрений с использованием вторичных ресурсов и для улучшения экологического состояния окружающей среды в целом.

Список литературы

1. Киселева М.Г., Смирнова И.Р. Современные биологические способы утилизации отходов животноводства // Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. – 2011. – № 2 (6). – С. 74–75.

2. Гамер П., Джексон Д., Серстон И. Очистка воды для промышленных предприятий; пер. с англ. канд. техн. наук В.М. Кольнера. – М.: Стройиздат, 1968. – 415 с.

3. Ружицкая О.А., Мендеса С. Современные химические и физико-химические методы удаления фосфатов из сточных вод // Системные технологии. – 2019. – № 32. – С. 22–27.

4. Биологическое удаление азота при очистке сточных вод [Электронный ресурс]. – URL: https://www.ecosgroup.com/press/articles/biologicheskoe-udalenie-azota-pri-ochistke-stochnykh-vod/ (дата обращения: 20.02.2023).

Об авторах

Глушаева Александра Андреевна – студентка кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: glushaeva_a@bk.ru

Портнова Анна Владимировна – кандидат химических наук, доцент кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: annysky2002@mail.ru

УДК 54.057; 541.183.12

Ю.А. Головкова, Л.С. Пан

ПОЛУЧЕНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ БИОСОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ МОРСКИХ ВОДОРОСЛЕЙ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ЦЕЗИЯ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

В современном мире со стремительным развитием атомной энергетики возрастает вероятность загрязнения окружающей среды в результате эксплуатации АЭС и возможных ядерных взрывов. В связи с этим актуальным для человека является создание материалов для очистки питьевой воды и удаления радиоактивных веществ из живых организмов. В данном исследовании были получены сорбенты на основе морских водорослей *Cystoseira barbata* и ферроцианида железа (III). Иммобилизация ферроцианида железа на поверхности водорослей возможна, в том числе, благодаря наличию в их клеточной стенке карбоксильных групп, а предварительная обработка водорослей карбоновыми кислотами предполагает увеличение этих групп на поверхности носителя. Методом ИКС была изучена структура полученных сорбентов. Исследована сорбционная емкость сорбентов, которая выше обменной емкости известного препарата «Ферроцин» в 1,8 раз.

Ключевые слова: биосорбент, берлинская лазурь, цезий, морские водоросли, карбоновые кислоты, модификация поверхности.

J.A. Golovkova, L.S. Pan

PREPARATION AND STUDY OF PROPERTIES OF SEAWEED-BASED BIOSORBENTS FOR THE REMOVAL OF CESIUM FROM AQUEOUS SOLUTIONS

In the modern world, with the rapid development of nuclear power, the probability of environmental contamination resulting from the operation of nuclear power plants and possible nuclear explosions is increasing. In this connection, it is relevant for human to create materials for purification of drinking water and removal of radioactive substances from living organisms. In this study sorbents based on the seaweed *Cystoseirabarbata* and ferric ferricyanide (III) were obtained. Immobilization of iron ferricyanide on the surface of the algae is possible, among other things, due to the presence of carboxyl groups in their cell wall, and pretreatment of the

algae with carboxylic acids implies an increase in these groups on the surface of the carrier. The structure of the obtained sorbents was studied by the IR spectroscopy method. The sorption capacity of the sorbents was studied which is 1.8 times higher than the sorption capacity of the known preparation «Ferrocin».

Keywords: biosorbent, Prussian blue, cesium, seaweed, carboxylic acids, surface modification.

В настоящее время возрастает спрос на использование атомной энергетики в качестве замены ископаемому топливу, запасы которого не бесконечны. Однако при эксплуатации АЭС возникает угроза загрязнения окружающей среды радиоактивными веществами, подвергая опасности при этом жизни живых организмов. К тому же наиболее страшные последствия возникают при взрыве АЭС, когда в биосферу поступает огромное число радионуклидов, распространяющихся на большие расстояния. Одним из основных таких загрязнителей окружающей среды является изотоп ^{137}Cs. Данный изотоп опасен тем, что он имеет длительный период полураспада (30 лет) и обладает высокой радиоактивностью. При выбросе ^{137}Cs в окружающую среду он сначала попадает в атмосферу, а затем оседает на поверхности Земли, попадает в почвы и водоемы и, наконец, включается в пищевые цепочки. Высокая скорость распространения этого изотопа по планете обусловлена его хорошей растворимостью в воде [2, 3].

Из известных способов очистки водных растворов от цезия самым эффективным является адсорбция. Доказано, что ферроцианид железа (III) обладает уникальными свойствами к адсорбции цезия, однако недостатком такого сорбента является его механическая непрочность, а также малый размер частиц, что затрудняет отделение этого сорбента от водных растворов, продуктов питания и живых организмов. Данную проблему можно решить путем закрепления частиц берлинской лазури на поверхности нетоксичного пористого носителя с развитой поверхностью. В качестве такого носителя были выбраны нетоксичные бурые водоросли *Cystoseira barbata*. Закрепление ферроцианидной фазы на поверхности водорослей воз-

можно благодаря наличию в их клеточных стенках карбоксильных групп. Модификация поверхности носителя карбоновыми кислотами предполагает увеличение в его составе этих групп. Так, водоросли обрабатывали щавелевой, винной и уксусной кислотами. Далее проводился синтез ферроцианида железа (III) методом послойной сборки. Для этого сначала водоросли обрабатывали раствором хлорида железа (III), а затем раствором ферроцианида калия. В результате получили образование частиц берлинской лазури на поверхности носителя. Для предотвращения пептизации ферроцианидной фазы водоросли повторно обработали раствором хлорида железа (III). Полученные образцы обозначили: Вод + ФОЦ, Вод + ФОЦ + щав., Вод + ФОЦ + вин., Вод + ФОЦ + укс. [1, 2].

Для установления структуры полученных сорбентов был проведен анализ с помощью инфракрасной спектроскопии. ИК-спектры получали для следующих образцов: чистые водоросли, Вод + ФОЦ, Вод + ФОЦ + щав., Вод + ФОЦ + вин., Вод + ФОЦ + укс. По данным [4] наличие полос поглощения в области 1760–1600 см–1 говорит о колебаниях C = O связи, что доказывает закрепление карбоксильных групп на поверхности носителя. Область около 2170–2040 см$^{-1}$ говорит о валентных колебаниях C ≡ N связи. На образцах, обработанных ферроцианидом железа (III), появляется полоса поглощения в данной области, что говорит об успешном вхождении ферроцианидной фазы в состав сорбента.

Для изучения сорбционных свойств были определены значения статической обменной емкости (СОЕ) полученных сорбентов. Значения СОЕ для полученных образцов приведены в таблице.

Значения СОЕ для полученных образцов

Образец	СОЕ, мг (Cs)/г (сорбента)
Вод + ФОЦ	12,08
Вод + ФОЦ + щав.	12,42
Вод + ФОЦ + вин.	12,09
Вод + ФОЦ + укс.	12,31
Чистые водоросли	0

По полученным результатам можно сделать вывод, что предварительная обработка водорослей растворами карбоновых кислот приводит к увеличению значений СОЕ, однако это увеличение незначительно.

Наилучший результат наблюдается для образца Вод + ФОЦ + щав. Отсутствие сорбционной способности у чистых водорослей к ионам цезия ($СОЕ_{чист.\ вод.}$ = 0 мг/г) говорит о том, что иммобилизация ферроцианидной фазы на поверхности водорослей приводит к получению сорбента, способного селективно удалять цезий из водных растворов.

Изучены термодинамика и равновесие процесса сорбции цезия на полученных биосорбентах. По полученным значениям сделали следующие выводы: отрицательные значения энергии Гиббса говорят о том, что процесс сорбции цезия идет самопроизвольно, а положительные значения энтальпии указывают на то, что процесс сорбции идет с поглощением теплоты. Также процесс протекает с увеличением энтропии.

Таким образом, были получены сорбенты на основе водорослей и ферроцианида железа (III) методом послойной сборки.

Методом ИКС доказано вхождение ферроцианидной фазы в состав сорбентов.

Модификация поверхности носителя карбоновыми кислотами не приводит к увеличению активной фазы в составе сорбента и значительному улучшению их сорбционных свойств.

Список литературы

1. Surface modification of poly (vinyl alcohol) sponge by acrylic acid to immobilize Prussian blue for selective adsorption of aqueous cesium / H. Wi [et al.] // Chemosphere. – 2019. – Vol. 226. – P. 173–182.

2. Golovkova J.A., Pan L.S Preparation of biosorbents based on seaweed modified by carboxylic acids for removal of cesium from aqueous solutions // Химия. Экология. Урбанистика. – 2022. – Vol. 2. – P. 179–182.

3. Савельева В.К., Пан Л.С. Методы модифицирования поверхности морских водорослей с целью получения биосорбентов для цезия с улучшенными свойствами // Химия. Экология. Урбанистика. – 2022. – Т. 2. – С. 124–128.

4. Смит А. Прикладная ИК-спектроскопия. – М.: Мир, 1982. – 327 с.

Об авторах

Головкова Юлия Александровна – студентка бакалавриата кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: julygol18@mail.ru

Пан Лариса Сергеевна – кандидат химических наук, доцент кафедра «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: lara.pan1959@gmail.ru

УДК 579.22

М.В. Додина, А.В. Ахова, А.Г. Ткаченко

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОНВЕРСИИ АРГИНИНА В АГМАТИН БАКТЕРИЯМИ *ESCHERICHIA COLI*

Проведена оценка способности штамма *Escherichia coli* K12 и природных изолятов *E. coli*, выделенных из разных мест обитания, продуцировать агматин в зависимости от условий культивирования. Конверсия аргинина в агматин протекала активнее при культивировании бактерий на минимальной среде M9 с добавкой глюкозы. Был сделан вывод, что для получения целевого вещества (агматина) исследованные природные изоляты *E. coli* более перспективны, чем штамм *E. coli* K12.

Ключевые слова: агматин, путресцин, аргинин, аргининдекарбоксилаза.

M.V. Dodina, A.V. Akhova, A.G. Tkachenko

INFLUENCE OF CULTIVATION CONDITIONS ON THE EFFICIENCY OF CONVERSION OF ARGININE TO AGMATINE BY *ESCHERICHIA COLI*

The ability of *Escherichia coli* K12 and *E. coli* isolates isolated from different habitats to produce agmatine was estimated depending on the cultivation conditions. The conversion of arginine to agmatine was more effective when bacteria were cultivated on M9-based culture medium with the addition of glucose. It was concluded that the studied *E. coli* isolates are more promising for obtaining the target substance (agmatine) than *E. coli* K12.

Keywords: agmatine, putrescine, arginine, arginine decarboxylase.

Агматин (1-(4-диаминобутил)-гуанидин) – это катионное соединение, образующееся в живых организмах при декарбоксилировании аргинина ферментом аргининдекарбоксилазой (АДК) (рисунок).

Аргининдекарбоксилаза в клетках бактерий представлена биодеградативной (индуцибельной) и биосинтетической (конститутивной) формами. Биодеградативная форма АДК проявляет активность при низких значениях pH (оптимум pH = 5,2) в присутствии пиридоксальфосфата, ее основной функцией является защита клетки

от кислотного стресса. Биосинтетическая форма АДК активна в слабощелочной и нейтральной среде (оптимум pH = 8,4), для проявления активности ей требуется пиридоксальфосфат и ионы Mg^{2+} [1].

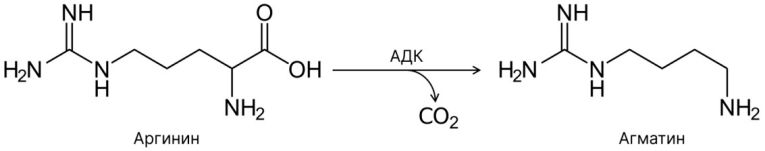


Рис. Реакция декарбоксилирования аргинина

В организме человека агматин выполняет функции эндогенного нейромодулятора психического стресса и нейропротектора при многих неврологических заболеваниях. Исследования на животных показали, что он имеет потенциал для разработки новых лекарственных препаратов против таких заболеваний, как депрессия, гипоксическая ишемия, болезнь Альцгеймера, болезнь Паркинсона и др. [2]. Кроме того, в перспективе агматин предполагают использовать как промежуточный продукт для получения ацилагматина, обладающего хорошими поверхностно-активными свойствами [3].

В настоящее время производство агматина в промышленных масштабах основано на химическом синтезе из 1,4-бутандиамина или 1,4-бутилендибромида. Однако этот процесс характеризуется сложными стадиями и токсичностью промежуточных продуктов для окружающей среды [4]. На данный момент актуальна разработка биотехнологических методов производства агматина.

Целью данного исследования является оценка влияния условий культивирования на эффективность конверсии аргинина в агматин штаммом *E. coli* K12 и природными изолятами *E. coli.*

Объектами исследования являются штамм *Escherichia coli* K12, полученный из Всероссийской коллекции микроорганизмов, и природные изоляты *E. coli*, выделенные от животных фермерских хозяйств Пермского края в период 2016–2018 гг (любезно предоставлены профессором, д.б.н., в.н.с. «ИЭГМ УрО РАН» М.В. Кузнецовой). Изоляты № 27, 30, 31, 32, 33 были выделены из внутренних

органов цыплят-бройлеров, изоляты № 46 и 48 – из фекалий кролика и свиньи, соответственно.

Для получения инокулята микроорганизмы, сохраняемые в полужидком агаре, засевали в 20 мл бульона LB и культивировали без перемешивания при 37 ºС в течение 16–18 ч. Полученную бактериальную культуру разводили в 5 мл свежеприготовленной среды до оптической плотности культуры OD_{600} = 0,3. В качестве питательных сред использовали физраствор и минимальную среду М9 с pH, доведенным до 7,4 и 4,0, и добавкой 0,4 % раствора глюкозы как источника углерода и энергии, а также бульон LB с pH равным 7,4, 5,5 и 4,0. Аргинин вносили в среду в количестве 1 г/л.

Количество полиаминов в среде определяли методом тонкослойной хроматографии их дансилпроизводных [5] на 2, 6 и 24 ч после добавки аргинина в среду.

Оценку способности бактерий продуцировать агматин проводили, определяя в среде количество путресцина, поскольку агматин является метаболическим предшественником в синтезе путресцина аргининдекарбоксилазным путем [1].

Из 10 исследованных вариантов композиции сред максимальное количество синтезированного путресцина на 24 ч культивирования было зафиксировано при культивировании штамма *E. coli* K12 на таких средах, как физраствор с pH 7,4 и добавкой глюкозы (0,38 мМ), физраствор с pH 4,0 и добавкой глюкозы (0,35 мМ) и М9 с pH 4,0 и добавкой глюкозы (0,34 мМ). Конверсия субстрата на 24 час культивирования в этих случаях составила порядка 5–6 %. Начало накопления продукта реакции при культивировании на перечисленных средах отмечалось на 6 ч культивирования. Конверсия субстрата на 6 ч составила 0,5–1 %. При культивировании штамма на других средах незначительное накопление продукта наблюдалось на 24 ч культивирования либо не наблюдалось вовсе, как, например, в случае культивирования в бульоне LB.

Скорость биоконверсии аргинина в агматин клетками *E. coli* K12 на всех исследованных средах на 2 ч культивирования была равна нулю, на 6 ч в случае культивирования в физрастворе с pH 7,4 и добавкой глюкозы и физрастворе с pH 4,0 и добавкой глюкозы она составляла порядка 0,01 мМ/ч.

Из исследованных природных изолятов *E. coli* наибольший выход продукта обеспечивали изоляты № 27, 30, 33 и 46. Максимальное количество синтезированного путресцина было выявлено при культивировании изолята № 46 на среде М9 с pH 7,4 и добавкой глюкозы (2,18 мМ). Конверсия субстрата на 24 ч культивирования в этом случае составила почти 38 %. Также существенный выход путресцина наблюдался при культивировании изолята № 30 (1,43 мМ) на среде М9 с pH 7,4 и добавкой глюкозы, изолятов № 27 (1,5 мМ) и 33 (1,53 мМ) на среде М9 с pH 4,0 и добавкой глюкозы. Конверсия субстрата на 24 ч культивирования в этих случаях составила порядка 25 %.

Наиболее раннее значительное накопление продукта реакции наблюдалось при культивировании изолятов № 30, 33 и 46 на среде М9 с pH 7,4: на 2 ч культивирования конверсия субстрата составила порядка 2 %, а скорость биоконверсии аргинина в агматин – порядка 0,03 мМ/ч. На 6 ч культивирования максимальная конверсия субстрата – около 10 % – была отмечена при культивировании изолята № 27 на среде М9 с pH 4,0 и добавкой глюкозы и изолята № 30 на среде LB с pH 4,0. Скорость биоконверсии аргинина в агматин в этих случаях составила порядка 0,09 мМ/ч.

Исследованные природные изоляты *E. coli* обладают повышенной аргининдекарбоксилазной способностью и могут быть использованы в качествы основы для разработки биокатализаторов для направленного синтеза агматина, а также как источники высокоактивных аргинидекарбоксилаз.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (АААА-А19-119112290009-1).

Список литературы

1. Tabor C.W., Tabor H. Polyamines in microorganisms // Microbiological Reviews. – 1985. – Vol. 49, № 1. – P. 81–99.

2. Insights into the Mn^{2+} Binding Site in the Agmatinase-Like Protein (ALP): A Critical Enzyme for the Regulation of Agmatine Lev-

els in Mammals. / M.B. Reyes, J. Martinez-Oyanedel, C. Navarrete, E. Mardones, I. Martinez, [et al.] // International journal of molecular sciences. – 2020. – Vol. 21, № 11. – P. 4132.

3. Methods of producing agmatine and arginine decarboxylase: pat. 1260588A2 European Patent Office. – № 02009802.6 / M. Hiroshi, K. Shiga, M. Yukiko, [et al.] – fil. 30.04.2002. – publ. 27.11.2002. – Bul. 2002/48.

4. Protecting-group strategies for the synthesis of N-4-substituted and N-1, N-8-disubstituted spermidines, exemplified by hirudonine / B.T. Golding, A. Mitchinson, W. Clegg, M. Elsegood, R.J. Griffin // Journal of the Chemical Society, Perkin Transactions. – 1999. – Vol. 1, № 3. – P. 349–356.

5. Чудинов А.А., Чудинова Л.А., Коробов В.П. Метод определения низкомолекулярных олигоаминов в различном биологическом материале // Вопросы медицинской химии. – 1984. – Т. 30, № 4. – С. 127–132.

Об авторах

Додина Мария Викторовна – студентка кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: dodinamv@mail.ru

Ахова Анна Викторовна – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории адаптации микроорганизмов, Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН; доцент кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: akhovan@mail.ru

Ткаченко Александр Георгиевич – доктор медицинских наук, зав. лабораторией адаптации микроорганизмов, Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН, e-mail: agtkachenko@iegm.ru

УДК 54.48 + 577.112.6

**Д.И. Зиганшина, Е.А. Морева,
А.В. Кудинов, Л.Д. Аснин**

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЛИНЫ ПЕПТИДНОЙ ЦЕПИ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ПЕПТИДОВ НА ЭНАНТИОСЕЛЕКТИВНОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ НА ХИРАЛЬНЫХ НЕПОДВИЖНЫХ ФАЗАХ

Изучена способность колонки ASTRA CHSAK 56B (с привитым к силикагелю аддуктом хинина и дипептида L-Leu-L-Ala) к энантиоселективному разделению и удержанию стереоизомеров олигопептидов. Рассмотрено влияние соотношения воды и органического растворителя (метанола) в подвижной фазе на удержание аналитов. Изучено влияние длины пептидной цепи низкомолекулярных пептидов на энантиоселективное разделение.

Ключевые слова: хроматография, хиральная неподвижная фаза, дипептиды, трипептиды, тетрапептиды.

**D.I. Ziganshina, E.A. Moreva,
A.V. Kudinov, L.D. Asnin**

STUDY OF THE EFFECT OF THE LENGTH OF THE CARBON CHAIN OF LOW MOLECULAR PEPTIDES ON THE ENANTIOSELECTIVE SEPARATION ON CHIRAL STATIONARY PHASES

The ability of the ASTRA CHSAK 56B column (with the adduct of quinine and L-Leu-L-Ala dipeptide grafted to silica gel) for enantioselective separation and retention of stereoisomers of oligopeptides was studied. The influence of the ratio of water and organic solvent (methanol) in the mobile phase on the retention of analytes is considered. The influence of the length of the peptide chain of low molecular weight peptides on enantioselective separation was studied.

Keywords: chromatography, chiral stationary phase, dipeptides, tripeptides, tetrapeptides.

Олигопептиды используются в фармакологической, косметологической и пищевой промышленностях. Они могут выступать в качестве естественных биомаркеров в медицинских исследова-

ниях или играть роль системы доставки лекарственных препаратов [1]. Низкомолекулярные пептиды могут использоваться в пищевой промышленности в качестве усилителей вкуса.

Поскольку аминокислоты (за исключением глицина) имеют две стереохимические формы (*L* и *D*), продукты их полимеризации – пептиды – могут существовать во множестве конфигураций, которые могут характеризоваться различными биологическими свойствами [2]. По этой причине возникает необходимость разработки методов выделения индивидуальных стереоизомеров олигопептидов из их смесей и анализа таких смесей для определения их энантиомерного состава. Одним из популярных способов решения этой задачи является высокоэффективная жидкостная хроматография на хиральных неподвижных фазы (ХНФ) [3].

Экспериментальные данные получены на хроматографе Ultimate 3000 (Thermo Fisher, Германия). Хроматографическая колонка ASTRA CHSAK 56B длинной 150 мм и внутренним диаметром 3 мм была заполнена силикагелем с привитым аддуктом хинина и дипептида L-Leu-L-Ala, размер частиц насадки – 3 мкм. Подвижными фазами служили водные растворы метанола с объемной долей спирта от 0 до 100 %. В качестве аналитов использовали *L*- и *D*-энантиомеры следующих пептидов: Gly-Leu, Gly-Gly-Leu, Gly-Gly-Gly-Leu, Leu-Gly, Leu-Gly-Gly, Leu-Gly-Gly-Gly, Ala-Ala, Ala-Ala-Ala.

На рис. 1–3 представлены зависимости фактора удерживания от доли органического компонента в подвижной фазе. Наблюдаются возрастающие и *U*-образные зависимости.

При присоединении глицила к *N*-терминальному концу Gly-Leu наблюдается улучшение энантиоселективного разделения с увеличением времени удержания при высоких концентрациях органического растворителя. Дальнейшее увеличение пептидной цепи за счет присоединения следующего глицильного остатка приводит к уменьшению удерживания и степени разделения энантиомеров (рис. 1).

Противоположная зависимость наблюдается при увеличении пептидной цепи для олигопептидов Leu-$(Gly)_n$ (рис. 2).

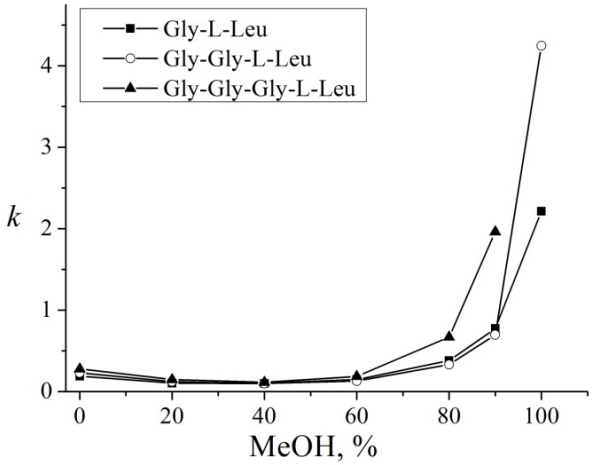


Рис. 1. Зависимость фактора удержания (k) пептидов $(Gly)_n$-Leu от концентрации метанола в подвижной фазе. Показаны графики для *L*-энантиомеров, графики *D*-энантиомеров совпадают с ними в масштабе рисунка

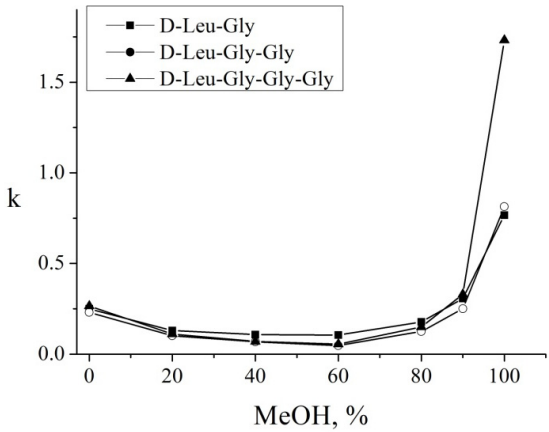


Рис. 2. Зависимость фактора удержания (k) от концентрации метанола в подвижной фазе

Для стереоизомеров дипептида Leu-Gly характерно разделение при элюировании водно-органического раствора с любым со-

держанием метанола. Увеличение пептидной цепи приводит к прекращению разделения стереоизомеров.

При переходе от дипептида Ala-Ala к трипептиду Ala-Ala-Ala наблюдается увеличение энантиоразделения с увеличением содержания метанола в подвижной фазе. При этом уменьшается время удерживания стереоизомеров в колонке (рис. 3).

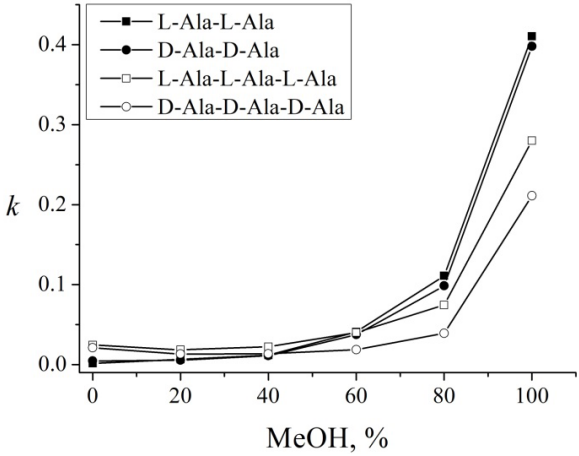


Рис. 3. Зависимость фактора удержания (*k*) энантиомеров Ala-Ala и Ala-Ala-Ala от концентрации метанола в подвижной фазе

Влияние длины пептидной цепи низкомолекулярных пептидов на энантиоселективное разделение имеет сложных характер. Для некоторых групп увеличение цепи на один и тот же мономер приводит к повышению селективности, для других – наоборот. Зависимость удержания стереоизомеров на ХНФ возрастает с увеличением концентрации метанола, но не имеет прямой зависимости от длины цепи.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-53-26007.

Список литературы

1. Czerwenka C., Lindner W. Stereoselective peptide analysis // Anal. Bioanal. Chem. – 2005. – Vol. 382, № 3. – P. 599–638.

2. Ayon N. J. Features, roles and chiral analyses of proteinogenic amino acids // AIMS Molecular Science. – 2020. – Vol. 7, № 3. – P. 229–268.

3. Lämmerhofer M. Liquid chromatographic enantiomer separation with special focus on zwitterionic chiral ion-exchangers // Anal. Bioanal. Chem. – 2014. – Vol. 406, № 25. – P. 6095–6103.

Об авторах

Зиганшина Дарья Игоревна – магистрант кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: dahsha2012@ya.ru

Морева Елизавета Александровна – студентка кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: moreva.lizainbox.ru@gmail.com

Кудинов Андрей Викторович – старший преподаватель кафедры «Химические технологии», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: kudinov@pstu.ru

Аснин Леонид Давыдович – кандидат химических наук, доцент кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: asninld@pstu.ru

УДК 606

Д.А. Зимина, С.Б. Чачина

ПОЛУЧЕНИЕ БЕЛКА ИЗ ВЕРМИКУЛЬТУРЫ СО СНИЖЕННЫМИ АНТИПИТАТЕЛЬНЫМИ ФАКТОРАМИ

Вещества, которые ингибируют, инактивируют или негативно влияют на полезные компоненты белкового препарата, называются антипитательными (токсическими) факторами. К ним относятся ингибиторы протеаз (трипсина и химотрипсина), фитиновая кислота, ингибиторы амилазы и др. В статье рассмотрена технология производства белка со сниженными антипитательными факторами из дождевых червей *Eisenia fetida*.

Ключевые слова: вермикультура, белок, антипитательные факторы, *Eisenia fetida.*

D.A. Zimina, S.B. Chachina

PROTEIN PRODUCTION FROM VERMICULTURE WITH REDUCED ANTI-NUTRITIONAL FACTORS

Substances that inhibit, inactivate, or adversely affect beneficial components of a protein preparation are called anti-nutritional (toxic) factors. These include protease inhibitors (trypsin and chymotrypsin), phytic acid, amylase inhibitors and others. The article deals with the technology of protein production with reduced anti-nutritional factors from the earthworm *Eisenia fetida*.

Keywords: vermiculture, protein, anti-nutritional factors, *Eisenia fetida*.

При производстве кормовых добавок, а также пищевого белка необходимо соблюдать ряд требований, в которых четко прописан состав и количественное содержание определенных веществ. Помимо витаминов, аминокислот и других полезных веществ, в кормах и продуктах пищевого назначения могут содержаться токсические факторы, которые будут негативно влиять на людей и животных. К ним относятся фитиновая кислота, ингибиторы протеаз и амилаз, фермент уреаза, гликопротеины, хромопротеины и нуклеопротеины.

В Омском государственном техническом университете провели исследование по разработке пищевого белка со сниженными антипитательными факторами. В качестве исследуемого образца использовали дождевого червя *Eisenia fetida*.

Сухой порошок белка получили следующим образом: червей выращивают в почвенном субстрате, увлажняют почву один раз в 3–5 дней и кормят червей в таком же режиме. Далее провели эвакуацию содержимого кишечника червей, высушили полученную биомассу и измельчили до порошкообразного однородного состояния. С целью получения наибольшего выхода продукта использовали несколько методов высушивания и экстракции белка, а именно высушивание в СВЧ в диапазоне температур от 30 до 120 ºС в течение 10–20 мин., высушивание на воздухе при комнатной температуре в хорошо проветриваемом месте в течение 2–3 сут или высушивание в сушильном шкафу при температуре 95 ºС в течение одного часа. Для экстракции белка червей бланшировали одну минуту в кипящей воде, использовали ацетон или муравьиную кислоту.

Анализ образцов на антипитательные факторы показал следующие результаты.

Фитиновая кислота. Наименьшее содержание фитина наблюдалось в пробе, которую подвергли сушке в СВЧ – 6,7 мг, высокое содержание фитина отмечено при обработке червей ацетоном, бланшировании и сушке в сушильном шкафу – 14,2 мг.

Активность фермента уреазы. При сушке червей с ацетоном активность уреазы составила 0,233, что ниже контрольного образца – 0,467, – но является самым высоким показателем среди тестируемых образцов. Лучшие результаты показала сушка СВЧ – 0,023.

Амилолитическая активность. Контроль амилазы показал активность 0,213. Низкий уровень активности амилазы отмечен при обработке червей ацетоном – 0,114. При сушке червей СВЧ отмечена высокая активность амилазы – 0,408.

Активность пепсина. Основным показателем для измерения активности пепсина является время денатурации белка в образцах. Так, минимальное количество времени на денатурацию затрачено в образце «контроль пепсин». Здесь активность пепсина показала

максимальный результат – 10. Низкая активность пепсина отмечена в образцах с обработкой ацетоном – 2,8, а при сушке в СВЧ высокая активность – 5,5.

Активность трипсина. Максимальное значение активности трипсина – 10,02 – отмечено контрольном образце. Низкая активность трипсина отмечена в варианте с обработкой червей ацетоном – 3,6. Высокая активность трипсина отмечена при сушке СВЧ – 8,1.

Активность химотрипсина. В эталонном образце «контроль химотрипсин» активность химотрипсина составила 8,1. Минимальное значение активности химотрипсина отмечено при обработке червей муравьиной кислотой – 3,2. При сушке в СВЧ отмечена наибольшая активность фермента – 5,1.

Гликопротеины и хромопротеины. Биуретова реакция и реакция с нафтолом дали положительный результат во всех пробах, что свидетельствует о содержании гликопротеинов во всех тестируемых образцах. Что касается хромопротеинов, то они также обнаружены во всех образцах, но при высушивании биомассы червей в СВЧ наблюдается наименьшее их содержание.

Нуклеопротеины. Для определения содержания нуктеопротеинов были проведены Биуретова реакция на содержание пептидов, серебряная проба на пуриновые основания, реакция Молиша на определение пентозы, молибденова проба на фосфорную кислоту, а также определили содержание рибозы и дезоксирибозы. Биуретова реакция положительна во всех образцах, меньше всего пептидов обнаружено при высушивании в СВЧ. Серебряная проба отрицательна для сушки в СВЧ, бланшировании червей и высушивании при комнатной температуре. Реакция Молиша отрицательна для высушивания при комнатной температуре. Больше всего пентозы при сушке в СВЧ. Рибоза и дезоксирибоза обнаружены во всех образцах. Молибденова проба также положительна во всех вариантах высушивания и экстракции белка.

По завершении работы была получена технология, которая позволяет получить пищевой белок из дождевых червей со сниженными антипитательными факторами и наибольшим выходом целевого продукта.

Список литературы

1. Lawrence R.D., Millar R.H. Protein content of earthworms // Nature (London). – 1945. – № 3939. – P. 517.

2. Sabine J. The nutritive value of earthworm meal // Proceedings of Conference on Utilization of Soil Organisms in Sludge Management, Syracuse, N.Y. / ed. by R. Kalamazoo. – MI 1978. – P. 122–130.

3. Edwards C.A., Niederer A. The production and processing of earthworm protein / Earthworms in Waste and Environmental Management ed. C.A. Edwards and E.F. Neuhauser. – The Hague, the Netherlands: SPB Academic Publishing, 1988. – P. 211–220.

4. Титов И.Н., Усоев В.М. Вермикультура как возобновляемый источник животного белка из органических отходов // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2012. – № 2 (18). – С. 74–80.

Об авторах

Зимина Дарья Александровна – студентка бакалавриата кафедры «Биотехнология, технология общественного питания и товароведение», Омский государственный технический университет, e-mail: dashazimina16@gmail.com

Чачина Светлана Борисовна – кандидат биологических наук, доцент кафедры «Биотехнология, технология общественного питания и товароведение», Омский государственный технический университет, e-mail: ksb3@yandex.ru

УДК 606

Д.А. Зимина, С.Б. Чачина

ПОЛУЧЕНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМОГО ИСТОЧНИКА БЕЛКА ИЗ ВЕРМИКУЛЬТУРЫ

Выращивание биомассы червей является перспективным способом получения незаменимого для организмов вещества – белка, который можно использовать для получения белково-витаминных кормовых добавок в животноводстве и птицеводстве, а также биологически активных добавок к пище в рационе людей. В работе описана технология получения животного белка из вермикультуры, который по свойствам практически, не уступает традиционному животному белку и превосходит белок растительного происхождения.

Ключевые слова: вермикультура, белок, питатльные вещества, *Eisenia fetida.*

D.A. Zimina, S.B. Chachina

OBTAINING A RENEWABLE SOURCE OF PROTEIN FROM VERMICULTURE

Cultivation of worm biomass is a promising way to obtain a substance that is essential for organisms – protein, which can be used to obtain protein-vitamin feed additives in animal husbandry and poultry, as well as biologically active food supplements in the diet of humans. This article describes the technology of obtaining animal protein from vermiculture, which has almost the same properties as the traditional animal protein and surpasses the protein of plant origin.

Keywords: vermiculture, protein, nutrients, *Eisenia fetida*.

Во многих странах мира научные сообщества сегодня находятся в поиске новых технологий, которые должны быть экономически жизнеспособными, экологически дружественными и социально приемлемыми. Технология вермикультуры сочетает в себе все эти достоинства и качества одновременно.

Многочисленные исследования компонентов тканей различных видов дождевых червей показали, что общий состав тканей

дождевых червей существенно не отличается от таковых для многих тканей позвоночных животных. Ткани дождевых червей содержат ряд незаменимых аминокислот, например, лизин, метионин, цистеин, фенилаланин и тирозин. Кроме того, ткани дождевого червя содержат длинноцепочечные жирные кислоты, минеральные вещества, некоторые витамины и никотиновую кислоту, которые также необходимы для питания животных и человека.

На базе Омского государственного технического университета было проведено исследование по разработке технологии получения белка из вермикультуры. В качестве опытного образца использовали дождевых червей – *Eisenia fetida*. На первых этапах работы осуществлялся выбор субстрата для выращивания и корма. В лабораторных условиях тестировали низинный торф и грунт универсальный, где первый вариант показал более высокие результаты по численности червей и их массе.

По сравнению с грунтом универсальным отмечен рост численности в 2–4 раза. Что касается корма, то предоставлялся выбор между картофелем и мукой четырех видов: гречневая, овсяная, гороховая и цельнозерновая пшеничная. Использование картофеля при выращивании червей в торфе показало увеличение численности червей в 30 раз, гороховой муки – в 20–25 раз, овсяной муки – в 16 раз, гречневой муки – примерно в 12 раз. В сравнении с грунтом универсальным численность червей увеличилась примерно в 7–8 раз вне зависимости от пищевого субстрата.

На втором этапе работы были изучены методы очистки содержимого кишечника. Для этого использовали очистки содержимого кишечника на агаровых пластинах в разных концентрациях агар-агара, методы сатурированной фильтровальной бумаги и эвакуации содержимого желудка дождевых червей с помощью измельченной целлюлозы.

Лучшие результаты при исследовании на остаточные частицы в кишечнике дождевых червей получены при использовании метода агаровых пластин с концентрацией агар-агара от 3–4 г/л.

Далее необходимо получить сухой порошок, содержащий целевой продукт. Для этого изучили следующие методы: высушивание в СВЧ-печи в диапазоне температур от 40 до 110 ºС, лиофилизация биомассы и высушивание при комнатной температуре в хорошо проветриваемом месте.

Для экстракции белка применяли такие методы, как бланширование при 100 ºС в течение одной минуты, обработку ацетоном и обработку муравьиной кислотой.

Определение эффективности методов экстракции и высушивания определяли по потерям массы. Наилучшие результаты показала такая комбинация методов, как экстракция ацетоном и высушивание на воздухе, выход продукта со 100 г биомассы составил 14,7 г белка.

В результате исследования был получен белок, который пригоден для использования в сельском хозяйстве и производства биологически активных добавок к пище, поскольку данный белок содержит в себе все необходимые для рациона компоненты.

Список литературы

1. Lawrence R.D., Millar R.H. Protein content of earthworms // Nature (London). – 1945. – № 3939. – P. 517.

2. Sabine J. The nutritive value of earthworm meal // Proceedings of Conference on Utilization of Soil Organisms in Sludge Management, Syracuse, N.Y. / ed. by R. Kalamazoo. – MI. 1978. – P. 122–130.

3. Edwards C.A., Niederer A. The production and processing of earthworm protein / Earthworms in Waste and Environmental Management ed. C.A. Edwards and E.F. Neuhauser. TheHague, the Netherlands: SPB Academic Publishing, 1988. – P. 211–220.

4. Резниченко И.С. Сравнительный анализ методик очищения пищеварительной системы дождевых червей для экотоксикологических исследований на *Eisenia fetida* (SAVIGNY, 1826) // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 6–5. – С. 1156–1159.

5. Титов И.Н., Усоев В.М. Вермикультура как возобновляемый источник животного белка из органических отходов // Вестник

Томского государственного университета. Биология. – 2012. – № 2 (18). – С. 74–80.

Об авторах

Зимина Дарья Александровна – студентка бакалавриата кафедры «Биотехнология, технология общественного питания и товароведение», Омский государственный технический университет, e-mail: dashazimina16@gmail.com

Чачина Светлана Борисовна – кандидат биологических наук, доцент кафедры «Биотехнология, технология общественного питания и товароведение», Омский государственный технический университет, e-mail: ksb3@yandex.ru

УДК 57.088.55:628.35

А.В. Игнатенко

СЕДИМЕНТАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ РЕГЕНЕРАЦИИ ВСПУХШЕГО АКТИВНОГО ИЛА

В работе проведен седиментационный анализ вспухшего активного ила городских очистных сооружений при его регенерации. Для характеристики состояния ила наряду с иловым индексом предложено использовать индекс полидисперсности частиц и остаточное светорассеивание надосадочной жидкости, позволяющие сократить длительность анализа седиментационных свойств ила до 10 мин.

Ключевые слова: биологическая очистка, активный ил, седиментация, вспухание, регенерация.

A.V. Ignatenko

SEDIMENTATION ANALYSIS OF REGENERATION SWOLLEN ACTIVATED SLUDGE

The paper presents a sedimentation analysis of the swollen activated sludge of urban wastewater treatment plants during its regeneration. To characterize the state of the sludge, along with the sludge volume index, it is proposed to use the polydispersity index of particles and residual light scattering of the sedimentation fluid, which reduce the duration of the analysis of sedimentation properties of sludge to 10 minutes.

Keywords: biological purification, activated sludge, sedimentation, swelling, regeneration.

Экологическая биотехнология играет важную роль в устранении негативного действия человека на природную среду и ее сохранения для будущих поколений населения. Одной из крупнотоннажных экологических биотехнологий является очистка городских сточных вод с помощью активного ила. Данная технология была предложена более столетия назад и предназначалась вначале для очистки городских коммунальных сточных вод от органических загрязнителей постоянного химического состава и сохранения санитарно-гигиенической чистоты окружающей среды [1].

Дальнейшее распространение биоочистки на смешанные коммунальные и промышленные сточные воды, обладающие сложным химическим составом, широким спектром тяжелых металлов, ксенобиотиков привело к перегрузке ила токсичными и трудно разрушаемыми веществами. В неблагоприятных условиях это ведет к вспуханию ила, снижению его биологической активности и гибели.

Вспухание ила является одной из основных проблем городских очистных сооружений, обрабатывающих смешанные сточные воды. Причина вспухания ила связана с увеличением содержания устойчивых к загрязнителям нитчатых форм бактерий. Это приводит к образованию рыхлого, плохо оседающего ила, выносу его из вторичных отстойников и загрязнению окружающей среды. Оценка вспухания ила на производстве проводится по показателю илового индекса. При его значении выше 150 $см^3$/г ил считается вспухшим [2].

Для восстановления биологической активности циркулирующего активного ила требуется его периодическая регенерация путем обработки кислородом воздуха.

Цель работы – контроль регенерации вспухшего активного ила методом седиментации.

В работе использовали образцы вспухшего активного ила очистных сооружений г. Смолевичи с влажностью 99,2 %. Регенерацию ила проводили в склянке Дрекселя, в которую вносили 300 $см^3$ отработанного голодного ила и барботировали воздух через насадку с помощью аквариумного скалярия АС-500 (Resun, Китай), в течение 6 ч. Через каждый час отбирали по 10 $см^3$ активного ила для изучения кинетики седиментации частиц и нахождения илового индекса. Значение илового индекса определяли в соответствии с [3].

За кинетикой седиментации ила наблюдали методом светорассеивания. Для этого готовили водные суспензии ила с концентрацией 2 г/л, вносили их в 1 см кюветы и измеряли оптическую плотность образцов при 600 нм с помощью спектрофотометра Specord UV-VIS (Германия). Скорость осаждения частиц ($U_{сед}$) определяли по изменению $(D/D_o)_{600}$ от t.

В соответствии с уравнением Стокса радиус частиц (r) связан со скоростью их оседания $U_{сед}$ уравнением [4]:

$$r = К\sqrt{U_{сед}}, \quad (1)$$

где K – константа Стокса, зависящая от разности плотностей активного ила, воды и их вязкости.

На рис. 1 приведено изменение илового индекса от времени регенерации t активного ила.

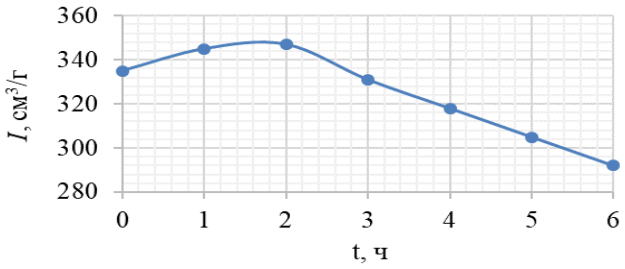


Рис. 1. Изменение илового индекса вспухшего активного ила от времени его регенерации

Как видно из рис. 1, при малом времени регенерации ила наблюдается небольшое увеличение начального значения I_o = 335 см^3/г, связанное с разрушением хлопьев ила при барботировании воздуха. При 6-часовой обработке иловый индекс снижался в 1,2 раза, что связано с доокислением сорбированных на иле трудно разрушающихся веществ и ассоциацией частиц.

Регенерация ила кислородом воздуха не позволяет устранить его вспухание при такой длительности обработки, и требуется более 24 ч для снижения илового индекса до 150 см^3/г.

На рис. 2 приведена кинетика седиментации вспухшего ила до и после его 3-часовой регенерации. Наблюдался сложный характер изменения светорассеивания среды для вспухшего активного ила при его отстаивании (рис. 2, *1*).

Вначале отмечался рост светорассеивания среды в течение 8–9 мин наблюдения, что может быть связано с всплыванием и агрегацией частиц вспухшего ила, имеющего удельную плотность

ниже плотности воды – 1 г/см^3. Далее, в результате уплотнения частиц всплывшего ила, наблюдалось его частичное осаждение с сохранением высокого остаточного светорассеивания надосадочной жидкости.

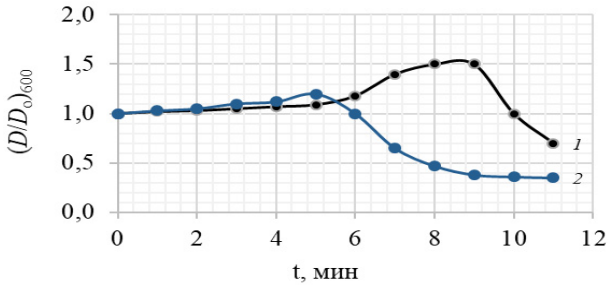


Рис. 2. Кинетика изменения $(D/D_o)_{600}$ среды при седиментации вспухшего активного ила:
1 – до регенерации; *2* – через 3 ч регенерации

После 3-часовой регенерации вспухшего ила (рис. 2, *2*) отмечалось уменьшение роста светорассеивания среды, сокращение периода начала седиментации частиц и уменьшение остаточного светорассеивания надосадочной жидкости по сравнению с исходным илом (см. рис. 2, *1*). Аналогичный характер зависимости сохранялся и при увеличении времени регенерации ила.

Для характеристики состояния ила наряду с иловым индексом может быть использована величина индекса полидисперсности частиц (*IP*):

$$IP = r_o \ / \ r_t \ = \frac{\sqrt{U_o}}{\sqrt{U_t}}. \qquad (2)$$

где r_o, r_t – размеры движущихся частиц в начальный и текущий момент времени, U_o, U_t – начальная и текущая скорости осаждения частиц.

Рассчитанное значение индекса полидисперсности ила до регенерации составило *IP* = 0,20, после 3 ч регенерации – *IP* = 0,41.

Помимо индекса полидисперсности для характеристики регенерации ила можно также использовать светорассеивание надосадочной жидкости после 10 мин осаждения ила, которое линейно зависит от времени регенерации ила в полулогарифмических координатах (рис. 3).

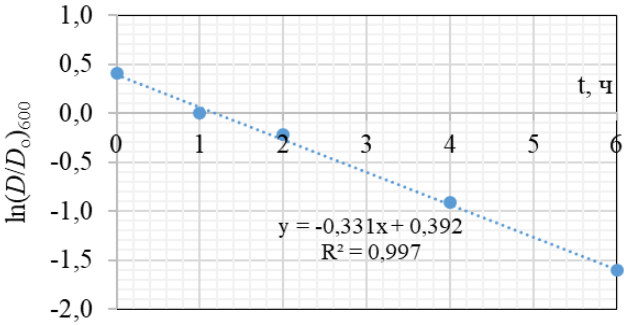


Рис. 3. Изменение светорассеивания надиловой воды в полулогарифмических координатах для вспухшего ила в зависимости от времени его регенерации

Таким образом, полученные данные указывают на то, что 6 ч регенерации активного ила недостаточно для устранения его вспухания, и требуется увеличение времени обработки ила выше 24 ч для снижения илового индекса с I_o = 335 см^3/г до I_t = 150 см^3/г.

Для характеристики состояния вспухшего ила при его регенерации можно использовать показатели: иловый индекс, индекс полидисперсности частиц, а также значение относительной оптической плотности $(D_t/D_o)_{600}$ после 10 мин отстаивания ила.

Список литературы

1. Игнатенко А.В. Анализ биологической очистки сточных вод и детоксикации активного ила очистных сооружений // Химическая безопасность. – 2022. – Т. 6, № 1. – С. 21–46.

2. Жмур Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. – М.: АКВАРОС, 2003. – 512 с.

3. Комплект методик по гидрохимическому контролю активного ила: определение массовой концентрации активного ила, илового индекса, зольности сырого осадка, активного ила, прозрачности надиловой воды. – М: АКВАРОС, 2008. – 33 с.

4. Романовский С.И. Физическая седиментология. – Л.: Недра, 1988. – 240 с.

Об авторе

Игнатенко Аркадий Васильевич – кандидат биологических наук, доцент кафедры «Биотехнология», Белорусский государственный технологический университет, e-mail: ignatenko_av@tut.by

УДК 54.48 + 577.112.6

**Я.А. Климова, А.С. Барашкова, Д.И. Зиганшина,
Е.А. Морева, Л.Д. Аснин**

ЭНАНТИОСЕЛЕКТИВНОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ СТЕРЕОИЗОМЕРОВ ДИПЕПТИДОВ НА ХИРАЛЬНЫХ НЕПОДВИЖНЫХ ФАЗАХ НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНЫХ ХИНИНОВЫХ АЛКАЛОИДОВ

Исследована возможность разделения стереоизомеров дипептидов на новых хиральных ионообменных адсорбентах, которые представляют собой привитые к силикагелю аддукты хинина (QN) и хинидина (QD) с дипептидом L-Ala-L-Leu. Рассмотрено влияние состава подвижной фазы на факторы удерживания дипептидов. Установлено, что форма зависимости фактора удерживания от доли органического модификатора в составе подвижной фазы определяется липофильностью / липофобностью исследуемых дипептидов.

Ключевые слова: хроматография, хиральная неподвижная фаза, дипептиды, хининовые алкалоиды.

**Ya.A. Klimova, A.S. Barashkova, D.I. Ziganshina,
E.A. Moreva, L.D. Asnin**

ENANTIOSELECTIVE SEPARATION OF DIPEPTIDE ENANTIOMERS ON CHIRAL STATIONARY PHASES BASED ON CINCHONA ALKALOID DERIVATIVES

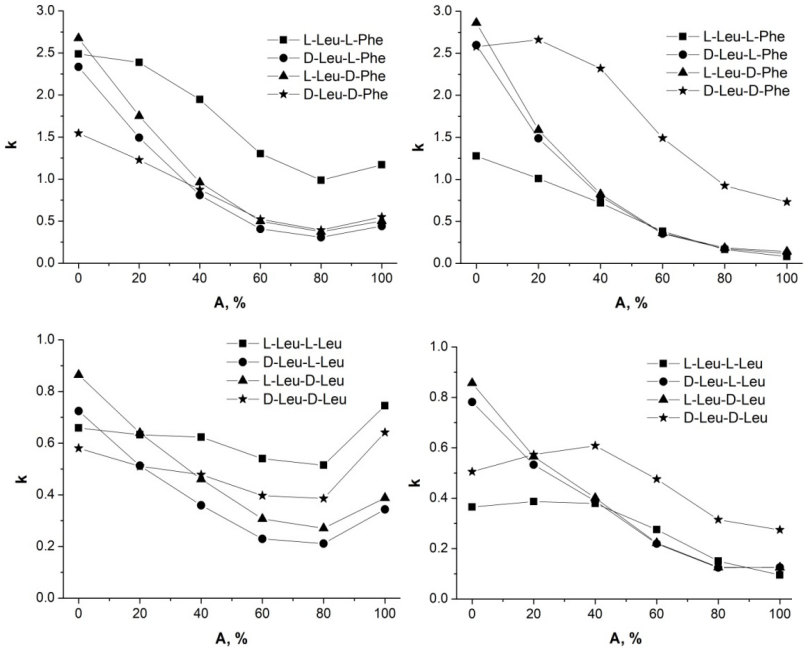
The possibility of separating stereoisomers of dipeptides on new chiral ion exchange columns, which are adducts of quinine (QN) and quinidine (QD) grafted to silica gel with the dipeptide L-Ala-L-Leu was studied. The influence of the composition of the mobile phase on the retention factors of dipeptides is considered. It was found that the form of dependence of the retention factor on the proportion of organic modifier in the mobile phase is determined by the lipophilicity/ lipophobicity of the studied dipeptides.

Keywords: chromatography, chiral stationary phase, dipeptides, cinchona alkaloid.

Олигопептиды широко используются в пищевой и фармацевтической промышленности [1]. Дипептиды (кроме глицина) являются хиральными веществами, существующими в виде L или D стереоизомеров. Соответственно, дипептиды, не содержащие остаток глицина, могут существовать в формах LL, LD, DL или DD. Стереоизомеры дипептидов могут проявлять разное фармакологическое действие, поэтому в пищевых добавках или лекарственных препаратах следует использовать только стереоизомер с требуемой биологической активностью [2]. В связи с этим появляется необходимость разделения стереоизомеров дипептидов. Хиральная высокоэффективная жидкостная хроматография является одним из наиболее популярных методов решения данной задачи. В последнее время хроматографисты уделяют повышенное внимание применению хиральных цвиттерионных неподвижных фаз, т.к. они хорошо зарекомендовали себя для разделения энантиомеров различных амфолитных соединений [3].

Эксперименты выполняли на жидкостных хроматографах LC20AD-XR (Shimadzu, Япония) и Ultimate 3000 (Thermo Fisher, Германия), оснащенных УФ-детекторами. В работе использовались новые хиральные колонки, которые представляют собой привитые к силикагелю аддукты хинина (QN) и хинидина (QD) с дипептидом L-Ala-L-Leu: ASTRA CHSAK 57B (QN-L-Ala-L-Leu) и ASTRA CHSAK 59B (QD-L-Ala-L-Leu). Размеры обеих колонок – 15×0,3 см, диаметр частиц сорбента – 3 мкм. В качестве подвижных фаз (ПФ) использовали смеси H_2O-MeOH (0–100 об. % MeOH) модифицированные ацетатом аммония ($2 \cdot 10^{-4}$ М). Такая незначительная добавка ацетата аммония не влияет на удерживание и разделение дипептидов, но ускоряет установление равновесия в колонке. Экспериментальные данные получали при температуре 25 °C, объем проб составлял 2 мкл. Исследуемые аналиты – стереоизомеры дипептидов Leu-Leu и Leu-Phe.

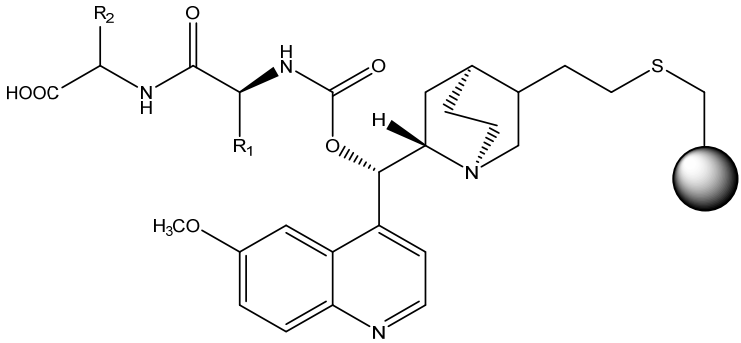
На рис. 1 представлены зависимости фактора удерживания (k) исследуемых дипептидов от содержания органического компонента в подвижной фазе (φ).



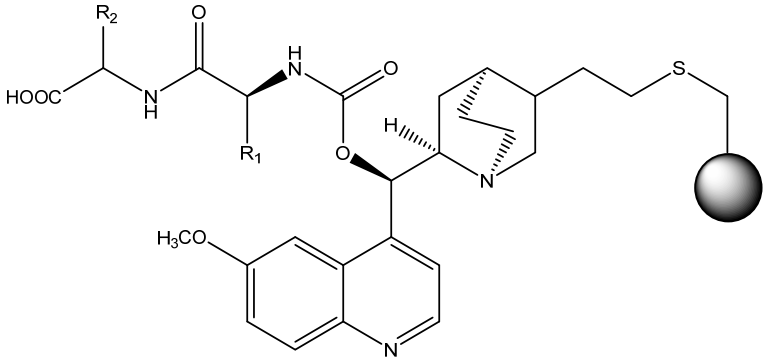
а *б*

Рис. 1. Зависимость фактора удерживания дипептидов от концентрации метанола в ПФ на колонках с привитыми селекторами: *а* – QN-L-Ala-L-Leu; *б* – QD-L-Ala-L-Leu A – содержание MeOH в ПФ, об. %

Из полученных зависимостей видно, что на всех исследуемых колонках достигается разделение энантиомерной пары LL/DD обоих дипептидов практически во всем диапазоне концентраций MeOH в ПФ, однако разделение пары LD/DL не наблюдается. В целом пара LL/DD Leu-Phe характеризуется большим коэффициентом разделения, чем LL/DD Leu-Leu. Также наблюдается обращение порядка элюирования пары LL/DD энантиомеров при переходе от хининовой к хинидиновой ХНФ, отличающихся конфигурацией атомов углерода C_8 и C_9 (рис. 2). Можно сделать вывод, что энантиоселективность данных ХНФ связана с алкалоидной частью селектора.



а



б

Рис. 2. Структуры хиральных селекторов на основе аддуктов хинина (*а*) или хинидина (*б*) и дипептидов

Все исследуемые дипептиды на колонке с селектором QN-L-Ala-L-Leu характеризуются слабовыраженной U-образной зависимостью k от φ. На колонке с привитым QD-L-Ala-L-Leu энантиомерная пара LD/DL имеет убывающую зависимость $k(\varphi)$, однако у пары LL/DD зависимость проходит через слабо выраженный максимум и далее падает.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-53-26007.

Список литературы

1. Yagasaki M., Hashimoto Sh. Synthesis and application of dipeptides; current status and perspectives // Appl. Microbiol. Biotechnol. – 2008. – Vol. 81. – P. 13–22.

2. Nguyen L.A., He H., Pham-Huy C. Chiral drugs: an overview // J. Biomed. Sci. – 2006. – Vol. 2, № 2. – P. 85.

3. Method development and optimization on cinchona and chiral sulfonic acid–based zwitterionic stationary phases for enantiomer separations of free amino acids by high-performance liquid chromatography / T. Zhang, E. Holder, P. Franco, W. Lindner // J. Chromatogr. A. – 2014. – Vol. 1363. – P. 191–199.

Об авторах

Климова Яна Анатольевна – аспирант кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: yana-klimova-1995@mail.ru

Барашкова Анна Сергеевна – студентка кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: barashkova.any@yandex.ru

Зиганшина Дарья Игоревна – магистрант кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: dahsha2012@ya.ru

Морева Елизавета Александровна – студентка кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: moreva.lizainbox.ru@gmail.com

Аснин Леонид Давыдович – кандидат химических наук, доцент кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: asninld@pstu.ru

УДК 593.17

Е.А. Колмакова

ВИДОВАЯ СТРУКТУРА ФАУНЫ ИНФУЗОРИЙ МАЛЫХ РЕК Г. ХАБАРОВСКА

Исследованы данные о видовом разнообразии и сезонной динамике фауны инфузорий, зарегистрированной в малых реках г. Хабаровска (р. Чердымовка, Плюснинка, Полежаевка, Гнилая Падь) в период с 2019 г. по 2022 г. Выявлено 43 вида инфузорий, которые относятся к двум подтипам и девяти классам. Проанализированы значения коэффициентов Серенсена–Чекановского, показавшие степень фаунистического подобия от 32,4 до 58,8 %.

Ключевые слова: инфузории, фауна, малые реки, *Ciliata*, фаунистическое сходство, цилиофауна, видовой состав.

E.A. Kolmakova

SPECIES STRUCTURE OF THE INFUSORIAN FAUNA OF SMALL RIVERS IN KHABAROVSK

Data on the species diversity and seasonal dynamics of the fauna of ciliates recorded in the small rivers of Khabarovsk (Cherdymovka, Plyusninka, Polezhaevka, Gnilaya Pad rivers) in the period from 2019 to 2022 were studied. 43 species of ciliates were identified, which belong to two subtype and nine classes. The values of the Sorensen – Czekanowski coefficients were analyzed, showing the degree of faunistic similarity from 32,4 to 58,8 %.

Keywords: ciliophora, fauna, small rivers, *Ciliata*, faunistic similarity, ciliofauna, species composition.

Большая часть населения Российской Федерации проживает в бассейнах малых рек, формирующих средние и большие реки. Неудовлетворительное состояние малых рек, а именно качество воды в них, вызывает значительный интерес у специалистов. В первую очередь, это обусловлено их уникальной ландшафт образующей и экологической ролью, состоящей в формировании и функционировании более крупных водотоков, водоемов, ландшафтов, биоценозов. Антропогенное воздействие на малые реки постоянно возрастает, что объясняется ростом населения и про-

цессами урбанизации. Концентрация населения и промышленного потенциала в городах приводит к тому, что они преобразовываются в крупные источники загрязнения малых рек. В связи с чем на территории городов возникают существенные проблемы водного хозяйства [1].

Вопрос изучения и сохранения биотопов малых рек неразрывно связан с изучением их биологического разнообразия. В современных исследованиях сведений о видовом разнообразии, сезонной динамике и распределении инфузорий малых рек г. Хабаровска в пространстве заметно не хватает, именно поэтому повышенный интерес вызывают малые реки г. Хабаровска. Существенную функцию в формировании и жизнедеятельности биотопов выполняют представители типа *Ciliata* (*Ciliophora*). Исходя из исследований, проведенных Н.С. Жмур, каждый водный объект считается богатым и стабильным к внешнему воздействию, если он состоит, как минимум, из 25 представителей простейших. Следовательно, определяющим фактором и показателем устойчивости экосистем является сохранение биологического разнообразия в природных резерватах.

Цель работы: определение видового состава, выявление закономерностей сезонной динамики и особенностей распространения инфузорий в малых реках г. Хабаровска.

Отбор гидробиологических проб проводился в устьевых частях (Чердымовка, Плюснинка) и на мелководье (Полежаевка, Гнлая Падь) изучаемых малых рек на протяжении 2019–2022 гг. Отбор проб осуществляли с применением пробоотборников и преобразованного метода «стекол обрастания».

При изучении морфологии клеток, обнаружении ядерного и ресничного аппарата использовали растворы Да-Фано и кальций-формола, предварительно фиксируя представителей фауны инфузорий. Размеры и форму ядер определяли при помощи красителей – 0,1%-ного метиленового синего и малахитового зеленого.

Исследование фауны инфузорий проводилось *in vivo* и *in vitro* под микроскопом фирмы «Микмед-6» (Россия). Обработка фотоснимков, измерение длины, ширины клеток, числа, диаметра

ядер и количества сократительных вакуолей производилось в программе «MCview».

При сравнительном анализе группировок инфузорий нами использовался коэффициент фаунистического сходства Серенсена–Чекановского, вычисляемый по формуле [2]:

$$I_{cs} = \frac{2C \cdot 100}{A + B},$$

где C – число видов, общих для двух сравниваемых биотопов; A – число видов, населяющих первый объект; B – то же, во втором.

В ходе цитологического анализа малых рек г. Хабаровска было зарегистрировано 43 вида фауны инфузорий, которые относятся к двум подтипам (*Postciliodesmatophora*, *Intramacronucleata*) и девяти классам.

Наиболее многочисленными были *Oligohymenophorea* (12 видов или 28 %), *Spirotrichea* (10 видов или 23 %) и *Litostomatea* (8 видов или 18 %), в состав которых входило больше половины видов от всей определенной цилиофауны.

Максимальное количество видов цилиофауны относится к родам *Stylonychia* (3 вида) и *Litonotus* (3 вида), наряду с этим по два вида было определено из родов *Spirostomum, Trithigmostoma, Aspidisca, Paramecium, Vorticella* и *Colpidium.*

В гидробиологических образцах реки Гнилая Падь было выявлено 25 видов фауны инфузорий. Это соответствует 58 % от всей определенной фауны инфузорий. Появление в водоеме *Paramecium aurelia, Stentorroeseli* указывает на увеличение содержания органических веществ в реке [3]. Присутствие редких видов инфузорий лишний раз доказывает серьезное антропогенное воздействие на водоем.

В реке Полежаевка было зарегистрировано 19 видов, что составляет 44 % от общего видового богатства фауны инфузорий. Проводя анализ данных по частоте встречаемости инфузорий в реке Полежаевка, необходимо выделить доминирование *Urocentrum turbo, Paramecium caudatum, Amphileptus pleurosigma* и *Lacrymariaolor.*

В реке Чердымовка выявлено 18 видов инфузорий, что соответствует 42 % от всей определенной фауны инфузорий. Однако даже при таком незначительном видовом разнообразии в исследуемой реке выявлены специфические виды – *Trithigmostomasteinii* и *Vorticella alba.*

В реке Плюснинка выявлено 16 видов инфузорий, что составляет 37 % от всего видового разнообразия цилиофауны. Стенотопными видами являются *Acineri asp.* и *Paramecium sp*. Доминирующими видами являются *Spirostomumteres* (63,6 %), *Stylonychia mytilus complex* (72,7 %), *Aspidisca costata* (73,8 %), *Oxytricha fallax* (61,3 %) и *Vorticella convallaria* (63,6 %).

Сведения по фаунистическому сходству инфузорий малых рек г. Хабаровска представлены в таблице.

Коэффициент фаунистического сходства инфузорий малых рек г. Хабаровска

Биотоп	Чердымовка	Плюснинка	Полежаевка	Гнилая Падь
Чердымовка		58,8	32,4	46,5
Плюснинка	58,8		40	43,9
Полежаевка	32,4	40		54,5
Гнилая Падь	46,5	43,9	54,5	

Проводя сравнительный анализ данных по схожести видового состава фауны инфузорий малых рек г. Хабаровска, следует отметить, что коэффициент фаунистического сходства варьируется в диапазоне от 32,4 до 58,8 %, что свидетельствует об общности экологических условий исследуемых малых рек [4]. Максимальное видовое сходство сообществ цилиофауны малых рек г. Хабаровска зафиксировано межу р. Чердымовка и Плюснинка (58,8 %). Очевидно, высокое значение фаунистического сходства между подземными реками обусловлено общностью происхождения водных объектов. Также между р. Полежаевка и Гнилая Падь коэффициент видового сходства составляет 54,5 %. Это объясняется тем, что водоемы протекают по территории одного района г. Хабаровска – железнодорожного.

Из выявленных 43 видов инфузорий, которые относятся к двум подтипам и девяти классам, наиболее многочисленными яв-

ляются *Oligohymenophorea* (12 видов или 28 %), *Spirotrichea* (10 видов или 23 %) и *Litostomatea* (8 видов или 18 %). Значительная доля видового разнообразия приходится на представителей классов *Oligohymenophorea*, *Spirotrichea* и *Litostomatea*;

Наибольшее видовое разнообразие инфузорий было определено в р. Гнилая Падь;

По частоте встречаемости цилиат доминируют *Loxodes rostrum, Spirostomumteres, Stylonychia mytilus complex, Paramecium caudatum, Urocentrum turbo, Uronema marinum, Tetrahymena pyriformis complex.*

Коэффициент видового фаунистического подобия колеблется в пределах от 32,4 до 58,8 %.

Список литературы

1. Шульц Б. Вода для продовольственной и экологической устойчивости в быстро меняющихся условиях // Мелиорация и водное хозяйство. – 2002. – № 3. – С. 46–48.

2. Костина Н.В. Применение индексов сходства и различия для районирования территорий на основе локальных флор // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – Т. 15, № 3. – С. 2160–2168.

3. Жмур Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. – М.: АКВАРОС, 2003. – 512 с.

4. Чернов Ю.И. Основные синэкологические характеристики почвенных беспозвоночных и методы их анализа // Методы почвенно-зоологических исследований. – М., 1975. – С. 160–215.

Об авторе

Колмакова Елена Александровна – преподаватель кафедры «Нефтегазовое дело, химия и экология», Дальневосточный государственный университет путей сообщения, e-mail: kulenko_elena.95@mail.ru

УДК 628.35

К.Н. Колыхматова, О.И. Бахирева

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ ИОНОВ МАРГАНЦА (II)

Представлены экспериментальные данные, которые характеризуют культуру микроорганизмов, выделенную из почвы, загрязненной тяжелыми металлами. Рассмотрена возможность создания биосорбента на основе вермикулита и культуры бактерий. Проведена сорбция ионов марганца (II) в динамических условиях.

Ключевые слова: ионы марганца (II), культура микроорганизмов, вермикулит, биосорбент.

K.N. Kolykhmatova, O.I. Bakhireva

STUDY OF THE POSSIBILITY OF USING A MICROBIOLOGICAL METHOD TO TREAT WATER FROM MANGANESE (II) IONS

Experimental data are presented, which characterize microbial culture isolated from soil contaminated with heavy metals. The possibility of creating a biosorbent based on vermiculite and bacterial culture is considered. The sorption of manganese (II) ions under dynamic conditions was carried out.

Keywords: manganese (II) ions, microbial culture, vermiculite, biosorbent.

Марганец является необходимым элементом для человека, т.к. он связан с функционированием таких ферментов, как марганецзависимая супероксиддисмутаза, глутаминсинтетаза, ацетилхолинэстераза и др. Однако при его избыточном попадании в организм он может стать причиной неврологических, репродуктивных и респираторных заболеваний [3].

Марганец поступает в воды в результате природных процессов – выщелачивания железомарганцевых руд, разложения остатков растений; а также из антропогенных источников – с выбросами металлургических предприятий, в ходе нефтедобычи, при использовании удобрений в агропромышленности [4]. Предельно допус-

тимая концентрация (ПДК) марганца в водных объектах составляет 0,1 мг/л [1].

В настоящее время существует множество методов деманганации воды: химический, электрохимический, сорбционный, мембранный, ионообменный, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки, область применения и эффективность очистки. С ростом интереса к биотехнологии активно развивается новый метод очистки вод – биосорбция, который характеризуется дешевизной, доступностью и безопасностью для окружающей среды и человека. В качестве сорбентов тяжелых металлов при данном методе выступает биомасса микроорганизмов, которая для увеличения эффективности очистки иммобилизуется на носителях [5].

В ходе работы использовалась культура микроорганизмов, выделенная из почвы, загрязненной тяжелыми металлами. Культивирование проводилось при T = 29 °С в течение 5 сут на питательной среде PYG составом: 1 л водопроводной воды, 0,5 % пептона, 0,25 % дрожжевого экстракта, 0,1 % глюкозы. Культура была описана по морфологическим признакам после выделения и очистки, результаты представлены в таблице.

Морфологические признаки культуры микроорганизмов

Морфологический признак	Описание культуры
Форма	Округлая
Размеры	2–4 мм
Поверхность	Гладкая
Блеск	Блестящая
Цвет	Бежевая
Профиль	Выпуклый
Край	Зубчатый
Структура	Однородная
Оптические свойства	Полупрозрачная

В ходе микроскопирования было определено, что культура представлена грамотрицательными диплококками.

Для определения чувствительности культуры к ионам марганца (II) применялся диско-диффузионный метод, в ходе которого

было определено, что микроорганизмы устойчивы к действию данных ионов в диапазоне концентраций 5–200 мг/л.

Изучение скорости роста культуры микроорганизмов проводилось в питательной среде, содержащей ионы марганца (II) в концентрации 100 мг/л, и без их добавления. Были построены кривые роста, представленные на рис. 1.

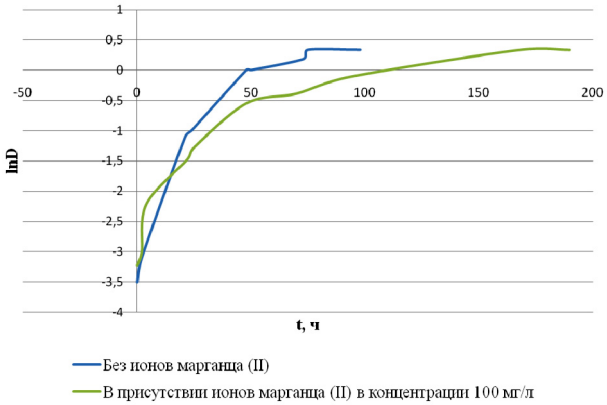


Рис. 1. Кривые роста культуры микроорганизмов

Значения максимальной удельной скорости роста культуры составили: без добавления ионов марганца (II) – 0,11 $ч^{-1}$; при концентрации 100 мг/л – 0,04 $ч^{-1}$. Таким образом, происходило замедление скорости роста микроорганизмов в экспоненциальной фазе, которое связано с накоплением марганца в клетках и последующим ингибированием роста.

В качестве исходного сорбента для очистки от ионов марганца (II) использовался вермикулит – природный нетоксичный материал. Он был предварительно подготовлен к работе: простерилизован в сухожаровом шкафу, промыт дистиллированной водой и высушен на воздухе.

Иммобилизация биомассы микроорганизмов проводилась путем пропускания суспензии клеток через колонку, заполненную вермикулитом, до установления постоянной концентрации на выходе. Затем биосорбент промывался несколько раз физиологическим раствором, после чего был готов к дальнейшей работе. Изу-

чение поглощения ионов марганца (II) вермикулитом в чистом виде и с иммобилизованной культурой проводили в динамических условиях. Для этого внутрь колонки помещали навеску сорбента и непрерывно медленным потоком пропускали через нее раствор, содержащий 100 мг/л исследуемых ионов [2]. Зависимость концентрации ионов марганца (II) от объема пропущенного раствора представлена на рис. 2.

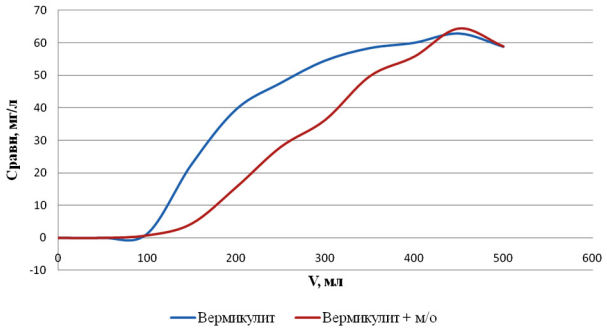


Рис. 2. Зависимость концентрации ионов марганца (II) от объема пропущенного раствора

Было определено, что до превышения уровня ПДК (0,1 мг/л) через колонку с вермикулитом прошло 62 мл исходного раствора с концентрацией ионов марганца (II) 100 мг/л, а с биосорбентом – 80 мл. Полная динамическая обменная емкость вермикулита составила 4,57 мг/г, а вермикулита с иммобилизованными клетками бактерий – 5,49 мг/г. Данные результаты показывают, что иммобилизация клеток повышает сорбционные свойства вермикулита. Исходя из того, можно сделать вывод о том, что более эффективно для деманганации воды использовать биосорбент.

Список литературы

1. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. – М: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических

веществ Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2003 – 154 с.

2. Синтез и использование сорбционных материалов на основе вермикулита и микроорганизмов для извлечения стронция / О.И. Бахирева, Л.С. Пан, В.В. Вольхин, О.В. Белякова, М.С. Федорова // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. – 2010. – № 11. – С. 150–156.

3. Нотова С.В., Казакова Т.В., Маршинская О.В. Изучение химических форм меди и марганца в живом организме (обзор) // Животноводство и кормопроизводство. – 2020. – Т. 103, № 1. – С. 47–64.

4. Рогачева С.М., Каменец А.Ф., Шилова Н.А. Влияние растворимых соединений марганца на высшие растения и оценка фитоэкстракционной способности растений // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т. 18, № 5–3. – С. 484–488.

5. Фрог Б.Н., Левченко А.П. Водоподготовка: учеб. пособие для вузов. – М.: Изд-во МГУ, 1996. – 680 с.

Об авторах

Колыхматова Ксения Николаевна – студентка бакалавриата кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: kolksu020601@gmail.com

Бахирева Ольга Ивановна – кандидат химических наук, доцент кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: bahirevy@mail.ru

УДК 631.861:614

Д.А. Кочергина, Н.Е. Завьялова, М.В. Кузнецова

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ НА ОСНОВЕ КУРИНОГО ПОМЕТА

Органические удобрения на основе куриного помета часто используются для улучшения структуры, качества и плодородия сельскохозяйственных земель. Однако, являясь важным источником питательных веществ для роста сельскохозяйственных культур, куриный помет также может содержать различные виды патогенных и условно-патогенных микроорганизмов. В работе оценена общая микробная обсемененность и содержание некоторых таксономических групп бактерий, в том числе ампициллиноустойчивых, в образцах удобрения, различающегося по срокам и условиям хранения.

Ключевые слова: куриный помет, микробная обсемененность, антибиотикорезистентность.

D.A. Kochergina, N.E. Zavyalova, M.V. Kuznetsova

MICROBIOLOGICAL ANALYSIS OF ORGANIC FERTILIZERS BASED ON CHICKEN MANURE

Organic fertilizers based on chicken manure are often used to improve the structure, quality, and fertility of agricultural soil. Chicken manure is an important source of nutrients for crop growth. However, chicken manure may contain various types of pathogenic and opportunistic microorganisms. The work evaluated the total microbial contamination and the content of some taxonomic groups of bacteria, including ampicillin-resistant ones, in fertilizer samples that differ in terms and storage conditions.

Keywords: chicken manure, microbial contamination, antibiotic resistance.

Куриный помет или органические удобрения на его основе часто используются для улучшения структуры, качества и плодородия сельскохозяйственных земель [1]. Он содержит большое количество питательных и гумусообразующих веществ, способствует развитию полезной почвенной микробиоты, обеспечивающей доступ растений к питательным веществам, превосходит другие органические удобрения и почти не уступает минеральным удобрениям

по действию на урожайность растительных культур [2]. Так, применение органических удобрений на основе куриного помета значительно увеличивало в почве содержание органического углерода, доступных растениям соединений азота и фосфора, а также обменного калия, и, кроме того, уменьшало подкисление почвы по сравнению с использованием химических удобрений [3].

Органические удобрения, являясь важным источником питательных веществ для сельскохозяйственных культур, могут также содержать различные виды патогенных и условно-патогенных микроорганизмов. Например, некоторые представители семейств *Enterobactriaceae* и *Pseudomonadaceae*, попадающие в почву вместе с птичьим пометом, представляют эпизоотическую и эпидемиологическую опасность для животных и людей. Следует также отметить возможность распространения в окружающую среду антибиотикоустойчивых штаммов бактерий, которые формируются и циркулируют в условиях птицеводческих хозяйств из-за постоянного и многократного использования антибактериальных препаратов при выращивании птицы. Органические удобрения являются факторами биологического, химического и механического загрязнения биосферы. Согласно санитарно-гигиеническим нормам **с**вежий куриный помет относят к III классу опасности (вещества умеренно опасные), а перепревший – к IV классу опасности (вещества малоопасные). Учитывая, что микроорганизмы могут сохраняться в свежем курином помете или его компостированных продуктах в течение длительного времени, представляется актуальным провести микробиологическую оценку безопасности органического удобрения на основе куриного помета, различающегося по срокам и условиям хранения.

Цель работы – оценить общую микробную обсемененность и содержание некоторых таксономических групп бактерий, в том числе ампициллиноустойчивых, в удобрении на основе куриного помета.

Объектом исследования стали пробы органического удобрения на основе куриного помета, различающегося по срокам и условиям хранения: I группа – свежий помет (n = 6), II группа –

помет после шести месяцев хранения в хранилище (n = 3); III группа – помет после шести месяцев хранения в хранилище и полугода в буртах в поле (n = 6). Всего проанализировано 15 образцов.

Общее количество гетеротрофных и грамотрицательных бактерий (в том числе представителей семейств *Enterobactriaceae* и *Pseudomonadaceae*) определяли методом прямого высева последовательных децимальных разведений бактериальных суспензий на селективные агаризованные питательные среды. Навеску удобрения 1 г помещали в коническую колбу, приливали 50 мл фосфатно-буферной среды (pH 7,0–7,2), взбалтывали и трехкратно обрабатывали ультразвуком в течение 1 мин при 37 кГц, поместив колбы в ультразвуковую ванну Elma Ultrasonic 30S (Elma, Германия). Для подсчета гетеротрофов использовали агаризованную среду Луриа – Бертани (LBA) (Becton, USA), энтеробактерий и псевдомонад – Endo agar (Becton, USA) и Pseudomonas CN agar (Conda S.A., Spain) среды, соответственно. Ампициллиноустойчивые бактерии учитывали на богатых и селективных средах с добавлением ампициллина (100 мкг/мл). Численность микроорганизмов определяли как количество колониеобразующих единиц (КОЕ) в пересчете на 1 г сухого удобрения. Выделение и идентификацию культуры проводили бактериологическим методом, рекомендованным «Приказом об унификации микробиологических методов исследования № 535, 1985 г.».

Химический анализ образцов куриного помета проводили общепринятыми методами.

Статистический анализ проводили с использованием стандартных пакетов компьютерных программ Microsoft Office XP Excel. Показатели в таблицах представлены в виде среднего арифметического и его ошибки ($M \pm m$).

Результаты исследования. Общее количество гетеротрофных микроорганизмов в пробах с удобрением варьировало от 2,76 КОЕ + 07 до 1,32Е + 10 КОЕ/г сух. веса, что совпадает с данными других исследований, в которых показано, что концентрация микроорганизмов в курином помете может достигать 10Е + 10 КОЕ/г сух. веса (таблица).

Содержание некоторых таксономических групп бактерий в удобрении на основе куриного помета

Группа	Среднее количество микроорганизмов, клеток/г сух. веса					
	Гетеротрофы		Бактерии на селективных средах			
	LB	LB + amp	Pseudo-агар	Pseudo-агар + amp	Эндо	Эндо + amp
I группа (n = 6)	9,31E + 09 ± 3,77E + 09	2,73E + 09 ± 1,14E + 09 22,7 %[α]	9,82E + 05 ± 8,12E + 05	8,77E + 05 ± 6,78E + 05 47,2 %	2,42E + 07 ± 3,28E + 07	1,58E + 07 ± 1,68E + 07 39,5 %
II группа (n = 3)	2,61E + 09 ± 7,13E + 08*	6,41E + 08 ± 4,86E + 08* 19,7 %	1,18E + 07 ± 8,71E + 06	1,01E + 07 ± 5,79E + 06 46,2 %	3,37E + 08 ± 2,86E + 08	2,48E + 08 ± 1,84E + 08 35 %
III группа (n = 6)	1,02E + 09 ± 7,23E + 08*×	6,63E + 07 ± 9,85E + 07 6,1 %	7,74E + 06 ± 1,87E + 06	0	1,43E + 07 ± 2,23E + 07	6,81E + 06 ± 8,86E + 06 32,2 %

Примечание: [α] – доля в соответствующей группе, %, * – достоверное отличие показателя от I группы; × – достоверное отличие показателя от II группы (t-тест); amp – ампициллин.

Число гетеротрофных микроорганизмов ожидаемо снижалось с увеличением срока хранения удобрения: статистически значимые различия выявлены между группами I и II (p = 0,006), I и III (p = 0,003), II и III (p = 0,034). Аналогичная тенденция выявлена и для ампициллиноустойчивых микроорганизмов – по сравнению с I группой их среднее количество во II и III группах уменьшилось на один и два порядка соответственно (p = 0,006 и p = 0,002). Что касается отдельных таксономических групп, то на среде Pseudo-агар (детектируются преимущественно представители семейства *Pseudomonadaceae*) отмечена тенденция к увеличению количества бактерий после полугода (II группа) и года (III группа) хранения по сравнению со свежим удобрением (I группа). Интересно, что среднее количество ампициллиноустойчивых представителей *Pseudomonadaceae* после полугода хранения (II группа) увеличилось на два порядка по сравнению с I группой, тем не менее, в III группе данные микроорганизмы не детектировали. Среднее число бактерий, в том числе устойчивых к ампициллину, определяемых на

среде Эндо, в II группе увеличилось, а в пробах III группы – снижалось. Следует отметить, что в свежем помете большинство учитываемых на селективной среде (колонии красного цвета с металлическим блеском) и выделенных культур оказались представителями семейства *Enterobactriaceae* и, в частности, *Escherichia coli* (идентифицированы с помощью микротест-системы «ENTEROtest 16»), тогда как в группах II и III эшерихий практически не было. Оценивая встречаемость антибиотикоустойчивых субпопуляций в каждой группе, обнаружено, что ампициллиноустойчивые бактерии сохраняются в удобрениях в течение всего срока хранения, и несмотря на то, что процент в целом существенно снижается (с 22,7 до 6,1 %), доля резистентных энтеробактерий и неферментирующих бактерий остается высокой, что свидетельствует о зоонозном источнике этих представителей. Кроме того, этот факт, как и данные других исследований, подтверждает влияние внесения органических удобрений на структуру резистома в почве.

Проведен корреляционный анализ между показателем общей микробной обсемененности и влажностью, pH и содержанием азота (данные не представлены). Выявлена сильная отрицательная достоверная связь между массой сухого вещества и количеством гетеротрофов ($rs = -0{,}815$), что объяснимо, учитывая важность данного параметра для сохранения жизнеспособности микроорганизмов. Показано, что с увеличением значения pH, то есть с переходом среды в щелочную зону, число бактерий уменьшалось ($rs = -0{,}696$). Содержание гетеротрофных микроорганизмов напрямую зависело от количества общего азота ($rs = 0{,}764$).

Современные подходы к санитарно-гигиенической оценке органических удобрений должны учитывать как высокую микробную контаминацию нативного материала, так и возможность сохранения в нем патогенных микроорганизмов при хранении или после специальной обработки.

В результате проведенного исследования выявлено, что в свежем курином помете содержание колиформных бактерий выше

допустимых пределов, что может нанести вред растениям и окружающей среде. Кроме того, независимо от сроков хранения в птичьем помете сохраняется существенное количество ампициллиноустойчивых микроорганизмов, в том числе бактерий кишечной группы, что имеет значение для санитарно-медицинской службы.

Дальнейшее исследование будет направлено на изучение детерминант резистентности и патогенности у выделенных штаммов эшерихий и псевдомонад.

Список литературы

1. Dikinya O., Mufwanzala N. Chicken manure enhanced soil fertility and productivity: Effects of application rates // J. Soil Sci. Environ. Manag. – 2010. – P. 46–54.

2. Михайлова Л.А. Агрохимия. Удобрения: виды, свойства, химический состав: курс лекций в 3 ч. Ч. 1. – Пермь: Прокростъ, 2015. – С. 318–322.

3. Hsu C.-M., Lai H.-Y. Comprehensive assessment of the influence of applying two kinds of chicken-manure-processed organic fertilizers on soil properties, mineralization of nitrogen, and yields of three crops // Agronomy. – 2022. – P. 2355.

Об авторах

Кочергина Дарья Андреевна – студентка кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: kocdas@yandex.ru

Завьялова Нина Егоровна – главный научный сотрудник Пермского НИИСХ – филиала ПФИЦ УрО РАН, доктор биологических наук, e-mail: nezvyalova@gmail.com

Кузнецова Марина Валентиновна – ведущий научный сотрудник ИЭГМ УрО РАН, доктор медицинских наук, e-mail: mar@iegm.ru

УДК 663.15

Е.В. Кравцова, А.В. Портнова

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ АМИЛОЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ФЕРМЕНТОВ, ВЫДЕЛЯЕМЫХ КУЛЬТУРОЙ *BACILLUS SUBTILIS*

В работе была выделена культура микроорганизмов-продуцентов амилаз *Bacillus subtilis* из настоя сена. Доказано наличие амилазной активности метаболитов, продуцируемых объектом исследования, и модифицирована методика определения активности ферментного препарата.

Ключевые слова: амилолитическая активность, ферменты, ржаные отруби, крахмал, *Bacillus subtilis*.

E.V. Kravtsova, A.V. Portnova

OPTIMIZATION OF THE METHOD FOR DETERMINING THE AMYLOLYTIC ACTIVITY OF ENZYMES PRODUCED BY THE CULTURE OF *BACILLUS SUBTILIS*

In this work a culture of amylase-producing microorganisms *Bacillus subtilis* was isolated from hay infusion. The presence of amylase activity of metabolites produced by the object of study was proved, and the method for determining the activity of the enzyme preparation was modified.

Keywords: amylolytic activity, enzymes, rye bran, starch, *Bacillus subtilis*.

В условиях современных промышленных технологий животноводства одним из важнейших факторов, способствующих сохранению здоровья животных и получению требуемого количества продукции, является сбалансированное питание, содержащее все необходимые вещества для роста и развития поголовья. Наряду с этим, важное значение имеет поддержание нормальной микрофлоры желудочно-кишечного тракта, дефицит которой может привести к снижению перевариваемости корма, уменьшению всасывания питательных веществ, раздражению кишечных стенок, диарее, росту заболеваемости и т.д. К нарушениям могут привести антисанитария ферм, чрезмерная концентрация поголовья на единицу

площади, применение антибиотиков, ограничение контакта животных и птиц с естественными донорами нормальной микрофлоры, такими как вода, растения и почва. Включение в состав кормов пробиотиков способствует решению данной проблемы.

Непатогенная грамположительная бактерия вида *Bacillus Subtilis* является активным внеклеточным продуцентом различных антибиотиков и ферментов и успешно может использоваться при конструировании пробиотических препаратов. Данный микроорганизм является спорообразующим и может выживать в условиях кислотности желудка. Также установлено, что *B. subtilis* продуцируют внеклеточную α-амилазу.

Микробная биоконверсия малоценных отходов перерабатывающего производства, обладающих богатым химическим составом, с использованием пробиотических микроорганизмов позволяет получить корма, содержащие биологически активные соединения наряду с живыми клетками микроорганизмов, что способствует улучшению перевариваемости корма, снижению заболеваемости и увеличению продуктивности сельскохозяйственного производства [1].

В ходе исследования была получена накопительная культура микроорганизмов путем настаивания сена и последующей выдержки настоя на кипящей водяной бане в течение 15 мин: при кипячении споры сенной палочки выдерживают нагревание до температуры 100 °С в течение 20 мин, в то время как сопутствующие бактерии погибают [2].

Для выявления наличия амилаз было проведено разведение полученной накопительной культуры в 1000 раз, после чего один мл разведения высеяли на агаризованную среду (РПА, содержащий 2 % растворимого крахмала). Культивирование проводилось в термостате при температуре 37 °С в течение 24 ч. После образования изолированных колоний поверхность среды была залита раствором Люголя, в результате чего наблюдались зоны просветления среды, где произошел гидролиз крахмала, что свидетельствовало о наличии амилолитической активности ферментов, выделяемых культурой *B. subtilis.* Для дальнейшего исследования был выбран штамм микроорганизмов, вокруг которого наблюдалась наибольшая зона просветления среды.

За основу количественного определения амилолитической активности бралась методика, представленная в ГОСТ 34440-2018 «Ферментные препараты для пищевой промышленности. Методы определения амилолитической активности» [3].

Данный метод основан на количественном определении прогидролизованного крахмала в результате его гидролиза ферментами амилолитического комплекса до декстринов различной молекулярной массы при 6,0 ед. pH (для бактериальных α-амилаз).

За единицу амилолитической активности (АС) принимают такое количество фермента, которое в определенных условиях температуры, pH и времени катализирует гидролиз одного грамма растворимого крахмала до декстринов различной молекулярной массы, что составляет 30–50 % от количества крахмала, введенного в реакцию. Количество прогидролизованного крахмала определяют колориметрическим методом по разнице между интенсивностью окраски с раствором йода исходного и остаточного крахмала.

Для проведения исследования были взяты две питательные среды, в которых в качестве источника углерода были выбрали разные субстраты: в состав среды I входил крахмал, в состав среды II входили ржаные отруби. Источником азота в обеих средах служил карбамид, также в среды добавлялись следующие минеральные соли: дигидрофосфат калия, сульфат магния, карбонат кальция и хлорид натрия.

Количественное определение амилолитической активности проводилось через 7 сут. после засева питательной среды культурой продуцента. Гидролиз крахмала проводился под действием ферментов культуральной жидкости при температуре 45 °С в течение 10 мин. Раствор крахмала с массовой долей 1 % готовился с использованием ацетатного буферного раствора со значением 6,0 ед. pH. Интенсивность окраски раствора после взаимодействия и добавления раствора йода измерялась на фотоэлектроколориметре при длине волны $\lambda = 600$ нм и толщине слоя исследуемого раствора один см.

В результате исследования была определена амилолитическая активность ферментов, выделяемых культурой *Bacillus subtilis*, которая составила 17,97 ед./мл в питательной среде I, содержащей крахмал, и 33,86 ед./мл в среде II, содержащей ржаные отруби.

В дальнейших исследованиях планируется оптимизация питательных сред с целью увеличения амилазной активности ферментов при использовании различных крахмалосодержащих субстратов.

Список литературы

1. Соколенко Г.Г., Лазарев Б.П., Миньченко С.В. Пробиотики в рациональном кормлении животных // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2015. – № 1. – С. 72–78.

2. Микробиология: практикум к лабораторным занятиям для студентов специальности 1-25 01 09 «Товароведение и экспертиза товаров» специализации 1-25 01 09 01 «Товароведение и экспертиза продовольственных товаров» / авт.-сост.: И.Ю. Ухарцева, В.М. Гулевич, Е.Г. Тюлькова; Белорус. торгово-экон. ун-т потребительской кооперации. – Гомель, 2008. – 100 с.

3. ГОСТ 34440-2018. Ферментные препараты для пищевой промышленности. Методы определения амилолитической активности. – Введ. 2019-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 2018.

Об авторах

Кравцова Елена Вадимовна – студентка бакалавриата кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: kravhelen457@gmail.com

Портнова Анна Владимировна – кандидат химических наук, доцент кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: annysky2002@mail.ru

УДК 576.854/576.193

А.А. Кусакин, Т.С. Соколова

КОРРОЗИЯ СТАЛИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ТИОНОВЫХ БАКТЕРИЙ В КАРБОНАТНЫХ СРЕДАХ

Исследована скорость микробиологической коррозии стали в растворах карбоната и гидрокарбоната натрия. В качестве субстрата для тионовых бактерий использован сульфид натрия. В присутствии тионовых бактерий скорость коррозии уменьшается. Влияние тионовых бактерий усиливается в разбавленных карбонатных растворах, что обусловлено участием кислорода в процессах коррозии и метаболизма бактерий.

Ключевые слова: микробиологическая коррозия стали, тионовые бактерии, растворы карбонатов.

A.A. Kusakin, T.S. Sokolova

CORROSION OF STEEL UNDER THE INFLUENCE OF THIONIC BACTERIA IN CARBONATE MEDIA

The rate of microbiological corrosion of steel in solutions of sodium carbonate and bicarbonate has been investigated. Sodium sulfide was used as a substrate for thionic bacteria. In the presence of thion bacteria, the corrosion rate decreases. The influence of thionic bacteria is enhanced in dilute carbonate solutions, which is due to the participation of oxygen in the processes of corrosion and metabolism of bacteria.

Keywords: microbiological corrosion of steel, thionic bacteria, solutions of carbonates.

Нейтрализация пластовых вод при переработке нефти приводит к образованию слабощелочных жидких сред, содержащих соединения серы, карбонатов и гидрокарбонатов. Присутствие сульфидов и растворенного кислорода в таких растворах создают условия для физиологической активности микроорганизмов, например тионовых бактерий. Это обеспечивает развитие процессов микробиологической коррозии аппаратов и оборудования [1].

Целью исследования являлось выделение тионовых бактерий из речной воды и определение скорости микробиологической кор-

розии стали под воздействием тионовых бактерий в карбонатных средах на сульфидном субстрате.

Накопительная культура тионовых бактерий выделена из речной воды на питательной среде Старки. Из накопительной культуры получены две условно чистые культуры, которые были использованы в предварительных коррозионных испытаниях. При исследовании коррозии в карбонатных средах использована одна из выделенных культур.

В качестве коррозионной среды использовали растворы Na_2S с концентрацией 0,5–5,0 г/л в условиях естественной аэрации, а также растворы, содержащие дополнительно Na_2CO_3 или $NaHCO_3$ с концентрацией 0,1–2,0 г/л. Продолжительность испытаний составляла 28 сут. Для определения скорости коррозии использовали гравиметрический метод по потере массы образцов стали [2]. После испытаний в коррозионной среде определяли значение pH, концентрацию сульфидной серы и концентрацию тионовых бактерий [3].

Влияние выделенных культур тионовых бактерий на скорость коррозии стали проводили в растворе Na_2S с концентрацией 0,5 г/л, которая заметно уменьшается в процессе коррозии. Значения pH также уменьшаются с 11,7 до 8,8. В присутствии второй культуры скорость коррозии уменьшается в 1,6 раза. Данная культура была использована в дальнейших исследованиях (табл. 1).

Таблица 1

Влияние выделенных культур тионовых бактерий на скорость коррозии стали

Образец № п/п	Наличие культуры	pH	Концентрация Na_2S, г/л	Изменение массы образца Δm, г	Скорость коррозии K_m^-, г/м^2 ч
1	Без культуры	8,91	0,35	0,202	0,072
2	Культура 1	8,66	0,31	0,223	0,079
3	Культура 2	8,86	0,27	0,124	0,044

Влияние тионовых бактерий на скорость коррозии наиболее значительно проявляется в разбавленных растворах $NaHCO_3$. При этом повышается растворимость кислорода воздуха, который обес-

печивает деполяризацию коррозионного процесса, поэтому в отсутствие бактерий скорость несколько увеличивается.

В процессе микробиологической коррозии кислород дополнительно обеспечивает метаболизм бактерий, и скорость коррозии экстремально уменьшается в два раза при концентрации $NaHCO_3$ 0,5г/л. С увеличением концентрации $NaHCO_3$ растворимость кислорода уменьшается, и значения скоростей сближаются. В растворах, содержащих Na_2CO_3 и Na_2S, проявляется ингибиторный эффект, обусловленный формированием на поверхности металла защитных пленок, например карбонатов или сульфидов [4]. Это приводит к более низким значениям скоростей и незначительного влияния тионовых бактерий (рис. 1).

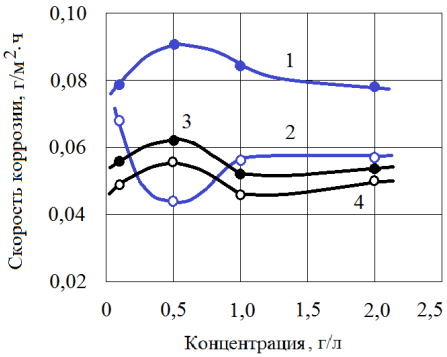


Рис. 1. Скорость коррозии в карбонатных растворах без бактерий (*1*, *3*) и в присутствии бактерий (*2*, *4*). Состав растворов: *1*, *2* – 0,5 г/л Na_2S + $NaHCO_3$; *3*, *4* – 5,0 г/л Na_2S + Na_2CO_3

Таблица 2

Изменение концентраций тионовых бактерий (ТБ) и сульфида натрия в коррозионной среде

Состав коррозионной среды	Концентрация ТБ, кл/мл		Концентрация Na_2S в конце испытаний, г/л
	в начале испытаний	в конце испытаний	
5,0 г/л Na_2S + 0,5 г/л Na_2CO_3	10^6	10^6	1,73
0,5 г/л Na_2S + 0,5 г/л $NaHCO_3$	10^{13}	10^{11}	нет
0,5 г/л Na_2S	10^8	10^6	0,09

В исследованных растворах концентрация тионовых бактерий в процессе испытаний остается достаточно стабильной, а концентрация сульфидной серы значительно уменьшается. В конце испытаний сульфидная сера полностью отсутствует при высоком содержании бактерий (табл. 2).

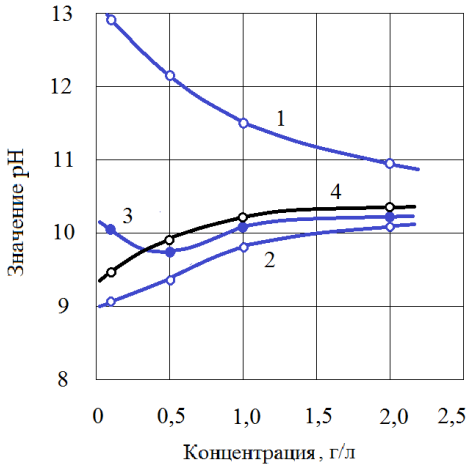


Рис. 2. Изменение значений pH при коррозии в присутствии бактерий (*1*, *2*, *4*) и без бактерий (*3*). Состав растворов: *1*, *2*, *3* – 0,5 г/л Na_2S + $NaHCO_3$; *4* – 5,0 г/л Na_2S + Na_2CO_3; *1* – в начале испытаний; *2*, *3*, *4* – через 28 сут. испытаний

В процессе коррозии значения pH уменьшаются и устанавливаются в интервале значений 9–10. Метаболические процессы с участием тионовых бактерий приводят к подкислению растворов, что наблюдается в разбавленных растворах, содержащих $NaHCO_3$ и Na_2S. После коррозии в растворах Na_2CO_3 значения pH совпадают независимо от наличия бактерий или их отсутствия (рис. 2).

Список литературы

1. Медведева М.Л. Коррозия и защита оборудования при переработке нефти и газа: учеб. пособие. – М.: Нефть и газ, 2005. – 312 с.

2. Соколова Т.С., Коновалова В.Д. Влияние тионовых бактерий на коррозию стали // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2017. – № 2. – С. 7–19.

3. Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод. – М.: Химия, 1984. – С. 208–211.

4. Коррозионная стойкость оборудования химических производств. Нефтеперерабатывающая промышленность: справочное руководство / Ю.И. Арчаков, Б.М. Тесля, М.К. Старостина [и др.]; под ред. Ю.И. Арчакова, А.М. Сухотина. – Л.: Химия, 1990. – 400 с.

Об авторах

Кусакин Александр Александрович – студент кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: alexandr230801@gmail.com

Соколова Татьяна Степановна – кандидат химических наук, доцент кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет,e-mail: soktast@hotmail.com

УДК 602.4

Е.А. Лебедев, В.В. Мартазова

ПРОИЗВОДСТВО ВАКЦИН V ПОКОЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ АДЕНОВИРУСОВ

Целью исследования является определение оптимальных параметров культивирования клеточной культуры HEK293.

Ключевые слова: культивирование клеточной культуры, разморозка криофлаконов, отделение клеточной культуры от криопротектора, параметры культивирования.

E.A. Lebedev, V.V. Martazova

PRODUCTION OF V-GENERATION VACCINES BASED ON ADENOVIRUSES

The aim of the study is to determine the optimal parameters of HEK293 cell culture cultivation.

Keywords: cell culture cultivation, cryoflakon defrosting, cell culture separation from cryoprotector, cultivation parameters.

Актуальность развития биотехнологии высока. В современной литературе отсутствует информация по культивированию клеточной культуры HEK293, что замедляет процесс разработки новых вакцин.

В данной работе культивирование клеточной культуры осуществляли в питательной среде, приготовленной из следующих компонентов:

1. Питательная среда BalanCD HEK293 Powder – универсальная, химически определенная среда, оптимизированная для культивирования клеточной культуры HEK293.
2. GlutaMAX – альтернатива L-глютамину с повышенной стабильностью.
3. Гидрокарбонат натрия – вещество для доведения pH питательной среды до требуемого значения.
4. Вода для инъекции.

Для первого эксперимента приготовили 100 мл питательной среды с pH = 7,2 (оптимальное значение для культивирования клеток HEK293).

Приготовленная питательная среда была стерильно профильтрована в колбу Эрленмейера общим объемом 500 мл и помещена на кондиционирование в шейкер-инкубатор со следующими параметрами:

1) температура внутри инкубатора – 37 ^{o}C;

2) вращение шейкера – 100 об/мин.

Полученная питательная среда после кондиционирования в течение 12 ч имела pH = 7,6. Спустя 24 ч кондиционирования pH = 7,9.

Поскольку полученное значение pH не соответствовало оптимальному для культивирования, для 2-го эксперимента приготовили 100 мл питательной среды с pH = 6,7. Гидрокарбонат натрия во время приготовления питательной среды не использовался.

Полученная питательная среда после кондиционирования в течение 12 ч имела pH = 7,3. Спустя 24 ч кондиционирования pH = 7,6.

Так как в питательной среде нет компонентов, способных понижать pH питательной среды, было принято решение подать в шейкер-инкубатор CO_2.

Для проведения 3-го эксперимента было приготовлено 3 колбы по аналогичному составу из 1-го эксперимента и 3 колбы по аналогичному составу из 2-го эксперимента. Подбор подачи CO_2 в шейкер-инкубатор приведен в таблице.

Подбор подачи CO_2 в шейкер-инкубатор

Колба / % CO_2	Время кондиционирования, ч		
	12	24	36
1/3 %	7,3	7,5	7,6
2/5 %	7,2	7,2	7,3
3/7 %	7,2	7,2	7,1
4/3 %	7,1	7,2	7,4
5/5 %	6,9	7,1	7,2
6/7 %	6,8	6,8	6,9

Для культивирования клеточной культуры и первичной разморозки были выбраны колбы № 3 и № 5 (далее по тексту – КБ 1.1

и КБ 1.2, соответственно), т.к. полученное значение pH наиболее подходит для культивирования клеточной культуры HEK293.

Для засева клеточной культуры использовался клеточный банк HEK. Концентрация клеток в криофлаконе составляла $15 \cdot 10^6$ кл/мл.

Первичная клеточная концентрация после засева была принята $0{,}3 \cdot 10^6$ кл/мл. Проведя расчет количества питательной среды, получили: для разморозки одного криофлакона 1,2 мл необходимо 60 мл питательной среды.

В качестве колбы для первого пассажа использовали одну колбу общим объемом 125 мл.

Разморозку клеточной культуры произвели в водяной бане при температуре 37 ^{o}C. Размороженную клеточную культуру перенесли в колбу КБ 1.1 и поместили в шейкер-инкубатор со следующими параметрами:

1) температура внутри инкубатора – 37 ^{o}C;

2) вращение шейкера – 100 об/мин;

3) CO_2 – 7 %.

Провели аналогичную разморозку для колбы КБ 1.2 и поместили в шейкер-инкубатор со следующими параметрами:

1) температура внутри инкубатора – 37 ^{o}C;

2) вращение шейкера – 100 об/мин;

3) CO_2 – 5 %.

Спустя 12 ч после начала культивирования проведено центрифугирование и замена питательной среды для колб КБ 1.1 и КБ 1.2 с целью удаления криопротектора (ДМСО), в котором находилась клеточная культура во время хранения в замороженном состоянии. Во время определения центробежного ускорения 1-е центрифугирование было проведено с ускорением 14000 *g*, после проведения подсчета клеточной концентрации в надосадочной жидкости пришли к выводу, что данного ускорения недостаточно.

Осадок был растворен в питательной среде и проведено повторное центрифугирование с ускорением 16500 *g*, после центрифугирования в надосадочной жидкости следов клеток не было обнаружено. Для колбы КБ 1.2 использовалось ускорение 16500 *g*. Увеличение центробежного ускорения не производили по причине

возможности негативного воздействия на клетки во время процесса центрифугирования.

На 36 ч культивирования по периметру движения раствора образовался слой из отмерших клеток, было принято решение увеличить скорость вращения шейкера до 120 об/мин. На данной скорости рабочего объема 60 мл на 125 мл колбы было много, поэтому рабочий объем был уменьшен до 40 мл с целью снижения риска микробной контаминации.

Спустя 96 ч культивирования в колбе КБ1.1 получили концентрацию $2{,}85 \cdot 10^6$ кл/мл и жизнеспособность 94 %, в колбе КБ 1.2 получили концентрацию $2{,}56 \cdot 10^6$ кл/мл и жизнеспособность 90 %,

С целью ускорения времени культивирования было проведено еще 2 разморозки в начальную концентрацию 0,5 и $1{,}0 \cdot 10^6$ кл/мл (далее по тексту – КБ 1.3 и КБ 1.4 соответственно). Результаты дополнительных разморозок показали, что разморозка в 0,5 и $1{,}0 \cdot 10^6$ кл/мл принципиально не отличается стартовым ростом и концентрация для пересева на следующий пассаж достигается примерно через 72 ч после начала культивирования, что на 24 ч быстрее, чем для колб КБ 1.1 и КБ 1.2. Колбы КБ 1.1, КБ 1.2, и КБ 1.4 были утилизированы.

Последующие пассажи до итогового объема культивирования клеточной культуры в колбе Эрленмейера общим объемом 1000 мл и рабочим объемом 350 мл осуществлялись из колбы КБ1.3 в шейкере-инкубаторе со следующими параметрами:

1) температура внутри инкубатора – 37 °С;

2) вращение шейкера – 120 об/мин;

3) CO_2 – 7 %.

По итогу исследования были определены оптимальные параметры для проведения колбовой стадии культивирования клеточной культуры HEK293:

1. Питательную среду для культивирования необходимо готовить с pH = 7,2 до кондиционирования.

2. Кондиционирование питательной среды в шейкере-инкубаторе проводить при следующих параметрах:

– температура шейкера-инкубатора 37 °С;

– вращение шейкера – 100 об/мин;

– подача CO_2 в шейкер-инкубатор – 7 %;

– время кондиционирования – не менее 12 ч.

3. Разморозку проводить в водяной бане с температурой 37 ^{o}C.

4. Объем клеточной культуры на 1-м пассаже должен составлять не более 40 мл на колбу с рабочим объемом 125 мл.

5. Концентрация клеточной культуры после разморозки должна составлять от 0,45 до $0{,}55 \cdot 10^6$ кл/мл.

6. Отделение криопротектора проводить в интервале от 12 до 24 часов после проведения разморозки.

7. Переход на следующий пассаж проводить после достижения клеточной концентрации не менее $2{,}5 \cdot 10^6$ кл/мл.

Список литературы

1. Graham F.L., Smiley J., Russell W.C., Nairn R. // Journal of General Virology. – 1977. – № 36. – С. 59–72.

2. Logunov D.Y., Dolzhikova I.V. // TheLancet. – 2020. – № 396. – С. 887–897.

3. Gálvez J., Lecina M., Solà C., Cairó J.J., Gòdia F. // Journal of Biotechnology. – 2012. – № 157. – С. 214–222.

Об авторах

Лебедев Евгений Александрович – магистрант кафедры «Химическая технология биологически активных веществ и полимерных композитов», Ярославский государственный технический университет, e-mail: gogry@yandex.ru

Мартазова Валентина Владимировна – кандидат химических наук, доцент кафедры «Органическая и аналитическая химия», Ярославский государственный технический университет, e-mail: martazovavv@ystu.ru

УДК 581.143.6:582.594.2

А.Ю. Левкович, А.С. Карунос, С.М. Ленивко

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ТИДИАЗУРОНА НА КУЛЬТИВИРОВАНИЕ ДВУХ ТИПОВ ЗРЕЛЫХ ЭКСПЛАНТОВ ФАЛЕНОПСИСА ГИБРИДНОГО

Проведена оценка соматического эмбриогенеза и регенерации в культуре *in vitro* двух типов эксплантов *Phalaenopsis hybridum* hort под влиянием тидиазурона. Установлено усиление морфогенетической активности при повышении концентрации диазурона.

Ключевые слова: тидиазурон, *Phalaenopsis hybridum* hort., листовые и корневые экспланты.

A.Yu. Levcovich, A.S. Karunos, S.M. Lenivko

THE EFFECT OF DIFFERENT CONCENTRATIONS OF TIDIAZURON ON CULTIVATION OF TWO TYPES OF MATURE EXPLANTS OF PHALAENOPSIS HYBRID

Somatic embryogenesis and regeneration in *in vitro* culture of two types of *Phalaenopsis hybridum* hort explants were evaluated under the influence of tidiazuron. An increase in morphogenetic activity was found with an increase in the concentration of tidiazuron.

Keywords: tidiazuron, *Phalaenopsis hybridum* hort., leaf and root explants.

Семейство Орхидных (*Orchidaceae Juss.*) представляет значительный интерес в качестве объекта исследования для разработки технологии микроклонального размножения. Так, введение орхидей в асептическую культуру, оптимизация процессов их онтоморфогенеза в условиях *in vitro* и *ex vitro* может выступить как один из подходов по сохранению уязвимых видов, а также будет способствовать пополнению ассортимента промышленного и любительского цветоводства. В мировом промышленном цветоводстве орхидеи занимают лидирующие позиции. Основными странами-производителями являются Китай, Германия, Япония, Нидерланды, Тайланд и США [1]. В Беларуси производство орхидей не развито.

В то же время следует отметить, что флора нашей страны насчитывает 36 видов и 19 родов из семейства Орхидные. Все виды орхидных охраняются, а 21 вид включен в Красную Книгу Республики Беларусь [2]. Это определяет актуальность проводимых нами исследований по разработке методических приемов гормональной регуляции морфогенеза в культуре *in vitro* зрелых эксплантов *Phalaenopsis hybridum* hort., а полученные результаты будут использованы для моделирования условий результативной мультипликации путем прямого соматического эмбриогенеза *in vitro* автохтонных видов орхидных флоры Беларуси.

Наработанный нами практический опыт по микроклональному размножению растений показывает, что для каждого вида растений нужно подбирать индивидуальные параметры регуляторов роста и состава питательной среды, разрабатывать оптимальный регламент онтоморфогенеза. При этом соматический эмбриогенез является эффективной системой регенерации растений в условиях *in vitro*, поскольку позволяет получать наибольшее число растений от одного эксплантa [3].

В настоящее время все чаще при работе с трудно размножаемыми видами растений используется тидиазурон (ТДЗ). ТДЗ (N-фенил-N´-(1,2,3-тиадиазол-5-ил) мочевина, $C_9H_8N_4OS$, $Mr = 220{,}25$ г/моль) является производным дифенилмочевины, изначально разработан как дефолиант хлопка, но обнаруженная цитокининовая активность вызывает большой интерес по его использованию в качестве синтетического морфорегулятора в условиях *in vitro* у многих видов растений. Выполненные нами исследования являются продолжением работ по оценке эффективности соединений с цитокининовым типом действия на индукцию процессов морфогенеза у зрелых эксплантов [4].

Цель работы – оценить влияние различных концентраций ТДЗ в условиях *in vitro* на индукцию в тканях листа и корня фаленопсиса гибридного морфогенетических процессов, приводящих к соматическому эмбриогенезу и регенерации.

В качестве объектов исследования использовались два типа зрелых эксплантов: листья трех порядков и части корней асептических сеянцев *Phalaenopsis hybridum* hort. Сформированные юве-

нильные растения фаленопсиса гибридного из коллекции пробирочных растений кафедры зоологии и генетики БрГУ имени А.С. Пушкина имели по 3 листа и 2–3 корня. Базальный лист был определен как лист 1-го порядка, следующий за ним – 2-го порядка, апикальный лист – листом 3-го порядка. Корень был разделен на 3 фрагмента – базальную, среднюю и апикальную части. Пассаж эксплантов проводился на модифицированную питательную среду Мурасиге и Скуга, содержащую макро- и микроэлементы в половинной концентрации и дополненную определенной концентрацией ТДЗ. В вариантах опыта был использован ТДЗ в диапазоне концентраций от 0,5 до 3,0 мг/л с интервалом в 0,5 мг/л.

В каждом варианте опыта было заложено по три повторности. Индукция процессов морфогенеза проводилась при постоянной температуре 24 °С на протяжении 60 дней.

Морфогенетическая реакция эксплантов фиксировалась дважды, через 30 и 60 дней с помощью бинокулярного микроскопа МБС-10. Статистические расчеты проводились с использованием MS Excel. Уровень достоверной значимости различий между вариантами эксперимента оценивался при $P \leq 0{,}05$.

Из трех типов листовых эксплантов наиболее отзывчивым на условия культивирования оказался апикальный лист.

Наиболее высокие показатели частоты формирования эмбриоидов на 30-й и 60-й день культивирования зарегистрированы при культивировании апикальных листьев в двух вариантах опыта: 54 и 74 % соответственно на среде с ТДЗ в концентрации 2 мг/л, 57 и 83 % на среде с ТДЗ в концентрации 3 мг/л. Под влиянием ТДЗ в концентрации 3 мг/л по сравнению с концентрацией 0,5 мг/л зарегистрированы достоверно значимые отличия по формированию эмбриоидов как среди апикальных, так и средних листовых эксплантов на 60-й день культивирования. Частота морфогенетического отклика у базальных листьев, используемых в качестве эксплантов, существенно не различалась в вариантах опыта.

Из трех типов корневых эксплантов наиболее выраженный соматический эмбриогенез был отмечен у базальных фрагментов с максимумом частоты (92,0 ± 7,0) в варианте опыта с ТДЗ в концен-

трации 3 мг/л на 60-й день культивирования. Частота эмбриогенеза на 60-й день в варианте опыта с ТДЗ в концентрации 3 мг/л, по сравнению с концентрацией 0,5 мг/л, оказалась существенно выше у всех испытанных типов корневых эксплантов. Также достоверно высоким оказался регистрируемый показатель и в варианте опыта с ТДЗ в концентрации 2 мг/л по сравнению с концентрацией 0,5 мг/л у базальных и средних фрагментов корня.

Для статистического выяснения закономерностей изменчивости формирования эмбриоидов под влиянием тидиазурона у *Phalaenopsis hybridum* hort. В системе «концентрация – тип экспланта» проведен двухфакторный дисперсионный анализ, по результатам которого была рассчитана доля влияния фактора, представленная в таблице. Дисперсионный анализ подтвердил наличие достоверных различий по частоте формирования эмбриоидов у *Phalaenopsis hybridum* hort. как типа экспланта, так и концентрации ТДЗ, причем последний фактор оказался определяющим в индукции соматического эмбриогенеза. Так доля влияния концентрации тидиазурона в варьировании данного показателя оказалась выше 50 % при культивировании листовых и корневых эксплантов на протяжении всего эксперимента.

Доля влияния фактора (%) в изменчивости частоты формирования эмбриоидов у *Phalaenopsis hybridum* hort

Источник вариации	Листовые экспланты		Корневые экспланты	
	30-е сутки	60-е сутки	30-е сутки	60-е сутки
Тип экспланта	38,3	26,6	22,0	11,4
Концентрация тидиазурона	59,9	72,2	74,0	86,6
Случайные отклонения	1,8	1,2	4,0	1,9

Таким образом, выявлено усиление морфогенетической активности при повышении концентрации ТДЗ – синтетического регулятора с цитокининовым типом действия – с 0,5 до 3 мг/л, при этом значительно более высокий морфогенный отклик зафиксиро-

ван под влиянием TDZ в концентрациях 2 и 3 мг/л, что свидетельствует об их эффективности.

Обнаружено, что отзывчивость на испытанные концентрации ТДЗ снижалась во всех вариантах опыта у листовых эксплантов в ряду апикальный лист > средний лист > базальный лист, а морфогенетическая активность у корневых эксплантов снижалась в трех вариантах опыта в ряду базальный фрагмент > средний фрагмент > апикальный фрагмент. Проведенный дисперсионный анализ полученных результатов эксперимента позволил установить достоверное влияние на частоту соматического эмбриогенеза у фаленопсиса гибридного как концентрации TDZ, так и типа экспланта. При этом доля влияния фактора концентрации возрастала на протяжении всего эксперимента.

Список литературы

1. Модификация процессов роста и набора биомассы протокормов *Phalaenopsis hybridum blume* в культуре *in vitro* под действием брассинолида и кастастерона / М.А. Черныш, Д.А. Пржевальская, И.А. Горский, Д.В. Колбанов, В.Н. Жабинский, В.А. Хрипач, В.В. Демидчик // Журнал Белорусского государственного ун-та. Биология. – 2018. – № 2. – С. 105–113.

2. Красная книга Республики Беларусь: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений растения / гл. ред.-кол.: И.М. Качановский (предс.). М.Е. Никифоров, В.И. Парфенов [и др.]. – 4-е изд. – Минск: Беларус. Энцыкл. Імя П. Броўкі. – 2015. – 448 с.

3. Митрофанова И.В. Соматический эмбриогенез как система *in vitro* размножения культурных растений // Физиология и биохимия культурных растений. – 2009. – Т. 41, № 6. – С. 496–508.

4. Ленивко С.М. Эффективность влияния цитокининовых соединений на индукцию морфогенеза *in vitro* у листовых эксплантов малины // Менделеевские чтения 2022: сб. материалов Респ. науч.-практ. конф. по химии и хим. образованию с междунар. участием / БрГУ. – Брест, 2022. – С. 70–73.

Об авторах

Левкович Анастасия Юрьевна – студентка факультета естествознания, Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина, e-mail: nicauchiha2019@mail.ru

Карунос Артур Сергеевич – магистрант факультета естествознания, Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина, e-mail: sikhotetiger@yahoo.com

Ленивко Светлана Михайловна – кандидат биологических наук, доцент кафедры «Зоология и генетика», Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина, e-mail: lenivko@brsu.brest.by

УДК 628.316.12

А.А. Лобанова, О.И. Бахирева

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ ФЕНОЛА

В данной работе представлены экспериментальные данные, характеризующие влияние фенола на рост и жизнедеятельность культуры микроорганизмов, а также данные, определяющие количество фенола в производственной сточной воде до и после контакта загрязнителя с исследуемой культурой. Основной целью исследования является использование культуры для биологической очистки от фенола. Рассмотрен способ интенсификации биологической очистки с помощью иммобилизации клеток на твердый носитель – древесные опилки.

Ключевые слова: культура микроорганизмов, фенол, биологическая очистка, диско-диффузионный метод, кривые роста, иммобилизация, древесные опилки.

A.A. Lobanova, O.I. Bakhireva

BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT FROM PHENOL

This paper presents experimental data characterizing the effect of phenol on the growth and vital activity of a culture of microorganisms, as well as data determining the amount of phenol in industrial wastewater before and after contact of the pollutant with the culture under study. The main purpose of the study is to use the culture for biological purification from phenol. A method for intensifying biological purification by immobilizing cells on a solid carrier – sawdust is considered.

Keywords: Culture of microorganisms, phenol, biological purification, disco-diffusion method, growth curves, immobilization, sawdust.

На сегодняшний день достаточно остро стоит проблема очистки сточных вод от промышленных выбросов, которые впоследствии становятся загрязнителями и значительно ухудшают качество воды, а также негативно влияют на экологию. Зачастую такими загрязнителями являются органические соединения, наиболее опасными среди них выделяют фенол и его производные. ПДК (предельно-допустимая концентрация) фенола в воде составляет 0,001 мг/дм^3, по сравнению с другими загрязнителями эта концентрация достаточно мала, что требует прибегать к эффективным

способам очистки сточных вод. Основными способами очистки являются механические, физические, химические, а также биологические. Под биологическими способами очистки понимают использование культур микроорганизмов в составе активного ила, которые используют фенол в качестве источника углерода. Эффективность биологической очистки возможно повысить, например, с помощью иммобилизации культуры клеток на твердый носитель.

Целью данной работы является изучение биологической очистки сточных вод от фенола с помощью культуры микроорганизмов.

Для определения влияния фенола на жизнедеятельность бактерий проводился диско-диффузионный метод, суть которого состоит в воздействии на исследуемые микроорганизмы определенным раздражителем. При этом рассматривали наличие или отсутствие зоны угнетения и ее размер. Данные, полученные в ходе экспериментов, представлены в табл. 1 [1].

Таблица 1

Оценка степени чувствительности микроорганизмов к фенолу

Концентрация фенола	Диаметр сектора, мм	Оценка степени чувствительности
0,1; 0,5; 1,0; 5,0 мг/л	–	нечувствительные
100; 500 мг/л	10	устойчивые
1,0 г/л	12	малочувствительные
2,5 г/л	14	малочувствительные
3,5 г/л	15	чувствительные
4,5 г/л	16	чувствительные
5,0 г/л	17	чувствительные

Также была установлена концентрация фенола, которая оказывает угнетающее воздействие на исследуемую культуру, эта концентрация лежит в интервале от 2,5 до 3,5 г/л.

Для установления концентрации, при которой прирост биомассы во времени будет максимальным, было выполнено построение кривых роста микроорганизмов на средах с различным содержанием фенола.

Графики зависимости логарифма оптической плотности от времени, построенные по экспериментальным данным, представлены на рисунке [2].

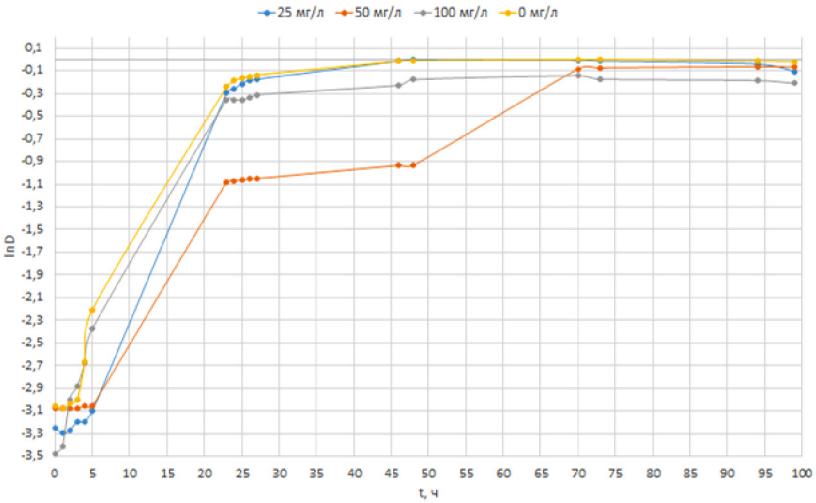


Рис. Кривые роста микроорганизмов на среде, содержащей 0, 25, 50 и 100 мг/л фенола

Результатом построения серии кривых роста на средах с различным содержанием фенола (от 0 до 100 мг/л) стало установление удельных скоростей роста микроорганизмов для исследуемых культур. Значения максимальной скорости роста: при концентрации 0 мг/л – 0,1099, при концентрации 25 мг/л – 0,1132, при концентрации 50 мг/л – 0,1184, при концентрации 100 мг/л – 0,1060.

Поскольку основной целью выделения микроорганизмов является применение для поглощения данных токсичных веществ, то именно их они используют в качестве источника питания. Концентрация фенола в питательной среде 50 мг/л является оптимальной для роста данной культуры, т.к. большая концентрация 100 мг/л ингибирует скорость роста, а меньшая (25 мг/л) и не дает микроорганизмам достаточного питания, и скорость роста невысокая.

Исследуемая культура была использована для очистки сточной воды от фенола в нативном состоянии, а также в иммобилизованном состоянии на древесные опилки. Для изучения скорости потребления фенола к суспензии с исследуемой культуры добавили растворы фенола, приготовленные таким образом, чтобы его концентрации в растворе составляли 25 мг/л – (проба 1) и 50 мг/л – (проба 2), и фиксировали изменение концентрации фенола количественным методом [3].

Таблица 2

Количество поглощенного фенола в ходе биологической очистки

Поглощение фенола древесными опилками				Потребление фенола не иммобилизованными микроорганизмами		Потребление фенола микроорганизмами, иммобилизованными на древесные опилки			
Опилки 1 фракции (>10 мм)		Опилки 2 фракции (3–5 мм)		1 проба	2 проба	Опилки 1 фракции (>10 мм)		Опилки 2 фракции (3–5 мм)	
1 проба	2 проба	1 проба	2 проба			1 проба	2 проба	1 проба	2 проба
0,06 %	0,02 %	0,08 %	0,08 %	8,60 %	8,32 %	18,30 %	13,91 %	20,92 %	15,54 %

Также фиксировали изменение концентрации фенола количественным методом в растворе с культурой микроорганизмов в иммобилизованном состоянии при внесении растворов фенола таких же концентраций. Иммобилизация была проведена на древесные опилки разных фракций, 1 фракция – опилки > 10 мм, 2 фракция – опилки 3–5 мм [4]. Помимо этого, была определена сорбционная емкость древесных опилок. Результаты экспериментов представлены в табл. 2.

Таким образом, по результатам эксперимента видно, что микроорганизмы в иммобилизованном состоянии утилизируют фенол лучше, чем в не иммобилизованном. При этом сорбция фенола древесными опилками позволяет утилизировать лишь незначительное количество загрязнителя. Размер опилок также влияет на поглощение фенола, потребление фенола микроорганизмами, иммобилизованными на опилки 1-й фракции (>10 мм) менее эффективное, чем микроорганизмами, иммобилизованными на опилки 2-й фракции

(3–5 мм). Это можно объяснить тем, что опилки 2-й фракции обладают большей общей поверхностью всех пор, позволяющей иммобилизовать большее количество микроорганизмов. Концентрация фенола в растворе 50 мг/л частично ингибирует рост культуры микроорганизмов, с увеличением концентрации фенола его поглощение становится менее эффективным.

Исходя из полученных экспериментальных данных, можно сделать вывод, что иммобилизация микроорганизмов на древесные опилки является эффективным способом интенсификации процесса биологической очистки воды от фенола.

Список литературы

1. Сидоренко С.В., Колупаев В.Е. Антибиотикограмма: диско-диффузионный метод. Интерпретация результатов. – М.: Русский медицинский журнал, 2010. – Брошюра.

2. Бирюков В.В. Основы промышленной биотехнологии. – М.: КолосС, 2004. – 296 с.

3. ПНД Ф 14.1:2.105-97 Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации летучих фенолов в природных и очищенных сточных водах фотометрическим методом после отгонки с водяным паром. Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды. – М., 2004. – 19 с.

4. Микробиология: учебник / под ред. В.В. Зверева. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2015. – 384 с.

Об авторах

Лобанова Анастасия Андреевна – магистрант кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: LobanovaNNN3@yandex.ru

Бахирева Ольга Ивановна – кандидат химических наук, доцент кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: bahirevy@mail.ru

УДК 661.183.2

Е.А. Лобачева, Е.А. Першин, Е.А. Фарберова

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ БИОХИМИЧЕСКОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ НЕФТЯНОГО КОКСА С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ АКТИВИРОВАННЫХ УГЛЕЙ

В статье представлен анализ возможности роста нефтеокисляющих микроорганизмов на питательной среде с использованием в качестве источника углерода водорастворимых органических соединений, входящих в структуру нефтяного кокса, с целью дальнейшей переработки нефтяного кокса в активированный уголь.

Ключевые слова: нефтяной кокс, активированный уголь, культивирование, микроорганизмы, биохимическое модифицирование.

E.A. Lobacheva, E.A. Pershin, E.A. Farberova

EVALUATION OF THE POSSIBILITY BIOCHEMICAL MODIFICATION OF PETROLEUM COKE WITH THE PURPOSE OF PRODUCING ACTIVATED CARBONS

The article presents an analysis of the possibility of growth of oil-oxidizing microorganisms on a substratum using water-soluble organic compounds included in the structure of petroleum coke as a carbon source for the purpose of further processing of petroleum coke into activated carbon.

Keywords: petroleum coke, activated carbon, cultivation, microorganisms, biochemical modification.

Нефтяной кокс является твердым низкопористым продуктом от темно-серого до черного цвета, получаемым при коксовании нефтяных углеводородов и их гетеропроизводных. В коксе содержатся все элементы, входящие в состав исходного сырья, но в других количественных отношениях и в новых структурных формах. Получают кокс обычно в специальных печах при очень высоких температурах и отсутствие доступа воздуха. В результате этого процесса нефтяные фракции с высоким содержанием углерода разлагаются на более простые соединения, а углерод конденсируется в

виде твердых частичек – кокса. Нефтяной кокс используют в алюминиевой промышленности, для изготовления углеродных электродов и т.п. Высокое содержание углерода в составе нефтяных коксов (более 90 %) позволяет прогнозировать возможность их применения в качестве сырья для получения активированных углей. Однако сложность состава углеродных соединений нефтяного кокса, существенно отличающегося от состава традиционного сырья, требует дополнительных исследований [1]. Анализ литературы [2] и результаты предварительных исследований образцов нефтяных коксов показали, что в их составе сдержится большое количество ароматических углеводородов различной структуры.

Ароматические углеводороды могут служить источником углерода для обеспечения жизнедеятельности клеток микроорганизмов, в том числе углеводородокисляющих бактерий.

Активированные угли представляют собой высокопористые углеродные адсорбенты. В качестве сырья для получения активированного угля традиционно используются каменный уголь, древесина, растительное сырье: скорлупа кокосовых и грецких орехов, фруктовая косточка и другие углеродсодержащие материалы. Технология получения дробленных активированных углей включает в себя следующие стадии:

1. Подготовка сырья – измельчение, очистка от примесей.

2. Карбонизация – термическая обработка сырья в условиях отсутствия кислорода при температурах 400–800 ^{o}C. В результате этого процесса происходит разложение органических веществ и образование твердого углеродного каркаса.

3. Активация. Существует два основных способа активации угля: физическая и химическая активации. Физическая активация – это процесс активации угля путем термообработки карбонизованного полупродукта при высоких температурах 800–900 ^{o}C в окислительной атмосфере в присутствии перегретого водяного пара или диоксида углерода. Это приводит к образованию мелких пор и увеличению удельной поверхности пор на единицу массы. Химическая активация обычно осуществляется путем обработки некарбонизованного сырья химическими реагентами, такими как

гидроксиды калия или натрия, фосфорная кислота или цинковые соли, с последующей термической обработкой при температурах 600–700 ^{o}C.

Таким образом, технология получения активированных углей из органического сырья включает в себя несколько этапов, которые позволяют получить продукт с большой удельной поверхностью и способностью адсорбировать различные вещества [3, 4].

В данной работе исследуется возможность применения биохимического метода модифицирования нефтяного кокса с целью дальнейшего получения активированного угля по традиционной технологии. Суть процесса заключается в помещении частиц нефтяного кокса в культуральную среду с микроорганизмами, способными окислять сложные органические соединения. В результате этой операции нефтяной кокс подвергается биохимическому разложению, что должно привести к изменению структуры нефтяного кокса и потенциально повысить его реакционную способность в процессах карбонизации и активации.

Полученный таким образом модифицированный нефтяной кокс проходит процесс отмывки с целью удаления остатков микроорганизмов и далее подвергается термическому воздействию согласно традиционной технологии получения активированного угля. Биохимическая модификация нефтяного кокса является более экологически чистым способом изменения его структуры по сравнению с химическими методами.

Исследование начали с попытки выделить культуру микроорганизмов, возможно, присутствующих на поверхности образцов нефтяного кокса. С этой целью образцы кокса обрабатывали стерильной дистиллированной водой, эти смывы использовали в качестве инокулята. Из проб смывов выделяли культуру углеводородокисляющих микроорганизмов на питательной среде следующего состава: на 100 мл водопроводной воды: KNO_3 – 0,4 г; KH_2PO_4 – 0,06 г; $Na_2HPO_4 \cdot 12\ H_2O$ – 0,14 г; $MgSO_4 \cdot 7\ H_2O$ – 0,08 г; $C_{16}H_{34}$ (гексадекан) – 2 мл.

Для адаптации выделенной культуры к органическим соединениям, входящим в структуру нефтяного кокса, проводили много-

кратное культивирование, постепенно заменяя в составе питательной среды гексадекан как источник углерода на водную вытяжку с образца нефтяного кокса.

Построена кривая роста клеток микроорганизмов на питательной среде с полной заменой гексадекана на водную вытяжку нефтяного кокса (рисунок).

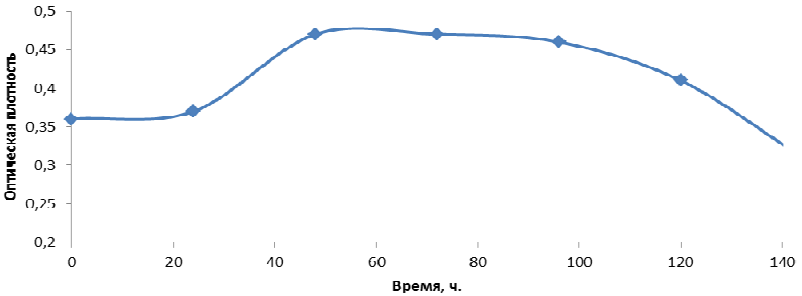


Рис. Кривая роста нефтеокисляющих микроорганизмов на среде с использованием водной вытяжки нефтяного кокса в качестве источника углерода

Длительность лаг-фазы в процессе культивирования составляет примерно 20 ч, при этом культура микроорганизмов выходит на экспоненциальную фазу на 2 сутки, а на стационарную фазу – на 3 сутки культивирования.

Способность микроорганизмов к использованию непосредственно нефтяного кокса в качестве субстрата требует дальнейшего подтверждения.

Список литературы

1. Сюняев З.И. Производство, облагораживание и применение нефтяного кокса. – М.: Химия, 1973. – 295 с.

2. Исследование возможности переработки нефтяного кокса с повышенным содержанием летучих веществ в углеродные сорбенты / Е.А. Фарберова, А.С. Максимов, Е.А. Тиньгаева, А.С. Ширкунов, В.Г. Рябов, В.А. Стрелков // Известия высших учебных заведений. Сер. Химия и химическая технология. – 2021. – Т. 64, № 4. – С. 92–99.

3. Фарберова Е.А., Тиньгаева Е.А., Кобелева А.Р. Технология получения активных углей и их применение: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2018. – 148 с.

4. Кинле Х., Бадер Э. Активные угли и их промышленное применение. – Л.: Химия, 1984. – 216 с.

Об авторах

Лобачева Екатерина Александровна – студентка кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: katya.lobacheva42443@gmail.com

Першин Егор Александрович – аспирант кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: egorpershin96@gmail.com

Фарберова Елена Абрамовна – кандидат химических наук, доцент кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: elenafarb@gmail.com

УДК 619.15

Д.Г. Мавлетшина, Р.Т. Валеева

ПИТАТЕЛЬНЫЕ СРЕДЫ ДЛЯ ПРОБИОТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ НА ОСНОВЕ РОДА *BACILLUS*

В данной работе проведены исследования по применению в микробиологическом и биотехнологическом производстве экономически выгодных и доступных видов сырья, используемых для приготовления питательных сред с целью получения пробиотических препаратов на основе рода *Bacillus*.

Ключевые слова: пробиотические препараты, культуры рода *Bacillus,* питательные компоненты, гидролизаты.

D.G. Mavletshina, R.T. Valeeva

NUTRIENT MEDIA FOR PROBIOTIC PREPARATIONS BASED ON THE GENUS BACILLUS

In this work, studies were carried out on the use in microbiological and biotechnological production of economically viable and affordable types of raw materials used for the preparation of nutrient media in the production of probiotic preparations based on the genus *Bacillus.*

Keywords: probiotic preparations, cultures of the genus *Bacillus*, nutritional ingredients, hydrolysates.

Актуальность вопросов интенсификации пищевых производств, отрасли мясного скотоводства обосновывается повышением продуктивности животных, уменьшением затрат на их содержание, то есть повышение уровня ее рентабельности, что позволяет расширить потенциал мясных продуктов страны и обеспечить продовольственную безопасность [1, 2], а с увеличением продуктивности животных резко возрастают и требования к их кормлению.

Одним из способов повышения эффективности выращивания сельскохозяйственных животных является применение пробиотических препаратов – живой микробной кормовой добавки, которая

оказывает на них полезное действие, улучшая их кишечный микробный баланс [2].

Разработка пробиотических препаратов кормового назначения является перспективным направлением микробной биотехнологии. Использование биотехнологических методов переработки малоценных отходов перерабатывающих производств путем микробной биоконверсии с использованием в качестве продуцентов пробиотических микроорганизмов позволяет получать ценные кормовые продукты с повышенным содержанием белка, биологически активных соединений и живых клеток пробиотических культур, создает возможность для получения кормов нового поколения, обладающих высокой кормовой ценностью и пробиотическими свойствами [3, 4].

Наиболее часто используются пробиотические культуры рода *Lactobacillu*s, *Bifidobacterium* и некоторые виды рода *Bacillus* [2].

Достаточное многообразие питательных веществ, необходимых для нормального роста жизнедеятельности культур рода *Bacillus,* значительно затрудняют выбор питательных компонентов и исходного сырья для приготовления питательных сред [5].

Спорообразование бактерий рода *Bacillus* зависит от источников питания и условий проведения процесса культивирования, в том числе и интенсивность процессов спорообразования зависит от наличия в питательной среде минеральных солей, содержащих ионы металлов Ca, Mg, K, Mn, Fe, Zn, C и других металлов. В отсутствие некоторых из них, прежде всего ионов металлов Ca, Mg, Mn, спорообразование может происходить замедленно или не проходить [3]. Микроорганизмы видов *Bacillus subtilis* и *Bacillus licheniformis* могут развиваться на белковых и синтетических питательных средах с аммонийными солями или нитратами. К бактериям, восстанавливающим нитраты, относят многие штаммы *Bacillus licheniformis* [5]. Основным источником азотного питания для микроорганизмов рода *Bacillus,* таких как *Bacillus subtilis, Bacillus licheniformis* и для других непатогенных аэробных спорообразующих бактерий, является белковое сырье, в частности пептон, соя, казеин, горох [4].

Использование гидролизатов растительного сырья в качестве питательной среды и подпитки при культивировании пробиотических препаратов позволяют улучшить физиологическое состояние культур, сократить продолжительность процессов выращивания, снизить стоимость питательных сред и заменить дорогие питательные компоненты на более дешевые, сохранить хорошее качество биомассы пробиотических культур [4].

В лаборатории «Инженерных проблем биотехнологии» КНИТУ ведутся исследовательские работы по оценке влияния на процесс роста споровых пробиотических культур *Bacillus* гидролизатов как компонентов питательной среды таких вторичных продуктов, как отходы [1, 5]:

– перерабатывающей промышленности: мясоперерабатывающей – кровяная мука и костная мука;

– промышленного рыбного лова и рыбопереработки – рыбная мука;

– крахмало-паточного и мукомольного производства – кукурузная мука и кукурузные кочерыжки, гороховая мука;

– сахарного производства – свекловичный жом.

При проведении процессов культивировании пробиотических культур рода *Bacillus* в качестве питания в контрольных процессах используем минеральные соли (сульфаты, фосфаты, хлориды) и сахарозу. В экспериментальных процессах в качестве подпиток и компонентов питательных сред вместо сахарозы используем гидролизаты.

Процессы культивирования пробиотических культур проводим на качалочных колбах и в биореакторах в периодическом режиме до полного срабатывания субстрата при аэрации воздухом. Контроль редуцирующих веществ и оптической плотности в отбираемых пробах осуществляли один раз в 3–4 часа в период 0–21 ч процесса, а при необходимости продолжения процесса – один раз в час. При исчерпании субстрата и недостижении заданной плотности популяции вносим стерильный концентрат питательной среды – подпитку. После достижения заданной плотности культуры процесс спорообразования продолжаем в рабочем режиме перемеши-

вания и аэрации в течение 24 ч. Контроль спорообразования осуществляли с помощью камеры Горяева один раз в 2–4 ч.

Из всех исследуемых питательных сред наибольший эффект получен на основе гидролизатов рыбной муки и растительного сырья на питательной среде с использованием гидролизата кукурузных кочерыжек.

Таким образом, проблему замены дорогого сырья на более дешевые компоненты питательной среды для производства споровых пробиотиков возможно решить посредством использования питательных сред на основе гидролизатов растительного сырья, что позволит уменьшить стоимость препарата и сократить продолжительность процесса культивирования бактериальных культур, тем самым повысить объем выпуска препарата.

Список литературы

1. Ильина А.А., Мухамедшин А.Ф., Валеева Р.Т. Пробиотические препараты для сельскохозяйственных животных на основе *Bacillus subtilis и Bacillus licheniformis* // Наука молодых – будущее России*:* сб. научных статей 7 Междунар. научн. конф. перспективных разработок молодых ученых. Т. 5 / Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск, 2022. – С. 477–480.

2. Фозилов Ш.Ф., Черенкова В.В., Валеева Р.Т. Питательные среды для производства пробиотических препаратов на основе гидролизатов растительного сырья // Пищевые технологии и биотехнологии: сб. тезисов докл. XVI Всеросс. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов с междунар. участием. – Казань: Изд-во КНИТУ.– 2019. – С. 224–226.

3. Смирнов В.В., Осадчая А.И., Кудрявцев В.А. Рост и спорообразование *Bacillus subtillis* в различных условиях аэрации // Микробиологический журнал. – 1993. – № 3. – С. 38–43.

4. Иванов Ю.И., Мухачев С.Г., Валеева Р.Т. Питательные среды для производства споровых пробиотиков на основе гидролизатов растительного сырья // Биотехнологии в химико лесном комплексе: сб. тезисов докл. Междунар. науч. конф. – Архангельск: ИД Сев. арктич. федер. ун-та, 2014. – С. 170–171.

5. Питательные среды в производствах медицинских и ветеринарных препаратов / О.В. Федорова, С.А. Понкратова, Р.Т. Валеева, И.Р. Исламгулов // Вестник Казанского технологического университета. – 2017. – Т. 20, № 4. – С. 140–142.

Об авторах

Мавлетшина Дина Газинуровна – магистрант кафедры «Химическая кибернетика», Казанский национальный исследовательский технологический университет, e-mail: dinamavletshina@yandex.ru

Валеева Рауза Тимуровна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Химическая кибернетика», Казанский национальный исследовательский технологический университет, e-mail: valrt2008@rambler.rudinamavletshina@yandex.ru

УДК 669.1: 606: 622.7

А.Е. Маковец, С.Б. Чачина

ИЗУЧЕНИЕ БИОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖЕЛЕЗООКИСЛЯЮЩИХ МИКРООРГАНИЗМОВ

В данной работе описана морфология выделенного штамма железоокисляющих микроорганизмов, который актуально использовать при биовыщелачивании. Изучены биохимические свойства выделенного штамма железобактерий, а именно сахаролитические.

Ключевые слова: железобактерии, биовыщелачивсание, сахаролитические свойства, р. *Leptospirillum*.

A.E. Makovets, S.B. Chachina

STUDY OF BIOCHEMICAL PROPERTIES OF IRON-OXIDIZING MICROORGANISMS USED IN WASTEWATER TREATMENT

This paper describes the morphology of the isolated strain of iron-oxidizing microorganisms, which is important to use in bioleaching. The biochemical properties of the isolated strain of iron bacteria, namely saccharolytic properties, were studied.

Keywords: iron bacteria, bioleaching, saccharolytic properties, *r. Leptospirillum.*

В современной жизни используется все большее количество полезных ископаемых, но ресурсы планеты не безграничны. Из наиболее используемых в металлургической и горно-обогатительной отраслях для переработки железосодержащих природных руд известны кучное, подземное и чановое выщелачивание. В связи с тем, что минеральные ресурсы планеты заканчиваются, уже все меньше встречаются залежи, богатые железной рудой, разрабатывают более технологичные способы добычи металла. При работе на открытых месторождениях, шахтах, рудниках по извлечению металлов из руд остается достаточное количество отходов с ценным не переработанным металлом. Чтобы извлечь эти металлы из шламов используется множество способов, но наиболее безопасным и выгодным в материальном плане считается чановое бактериальное выщелачивание.

Суть метода состоит в том, что шлам после переработки полезных ископаемых с уже присутствующими в нем бактериями измельчают до порошкообразного состояния (при необходимости предварительно обрабатывают с целью удаления лишней, пагубновлияющей на металлокисляющие бактерии микрофлоры) и дополнительно вносят необходимый штамм микроорганизмов, погружают в биореактор с питательными веществами и водой, необходимыми для роста культуры. В нем численность бактерий экспоненциально увеличивается. В итоге получают жидкую смесь с выделенными металлами и бактериями, которую затем можно просто профильтровать для получения «чистого» металла.

Для получения накопительных культур нами была использована среда Калиненко следующего состава, г/дм^3: ($(NH_4)_2SO_4$, K_2HPO_4, $NaNO_3$ и $MgSO_4 \times 7H_2O$ – 0,5; триптон – 1,0; лимонная кислота – 10,0; $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ – 5,9; сахароза – 2,0; вода водопроводная – до 1 л; pH = 6,8.

Сахаролитические свойства микроорганизмов находят способом засева чистой культуры на специально для этого созданные дифференциально-диагностические питательные среды, в состав которых входят различные углеводы (в нашем случае 5 видов) и индикатор (реактив Андреде). Индикатор изменяет окраску среды под действием образующейся при расщеплении углеводов кислоты с желтовато-соломенной на красную.

Готовую пептонную воду фильтруют до прозрачности и примерном значении pH 7,2–7,4. После к пептонной воде добавляют (в каждую из 5 колб) по одному мл индикатора Андреде и по 0,5 г одного из углеводов. После стерилизации готовые пробирки помещают на 24 ч в термостат при температуре 37 °С.

Для определения протеолитических свойств микробов использовались методики роста на мясопептонном желатине и на молочном агаре Эйкмана. В первом случае при положительной реакции обнаруживается разжижение питательной среды, что говорит о действии фермента желатиназы на белки желатина. Во втором – при положительной реакции на протеолитические свойствавокруг колоний образуются прозрачные зоны, хорошо заметные на мутном молочном фоне среды.

В ходе микроскопического анализа установлено, что выделенный нами штамм железобактерий оказался представителем рода *Leptospirillum* (рис. 1).

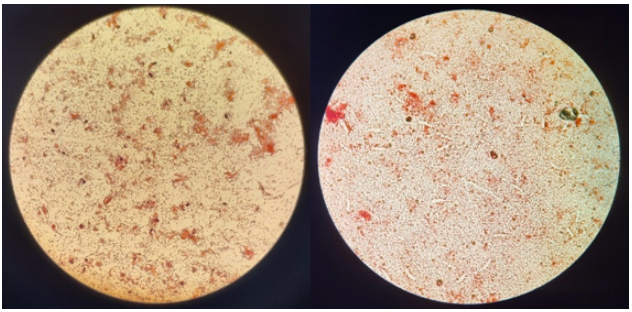


Рис. 1. Бактерии рода *Leptospirillum* под микроскопом

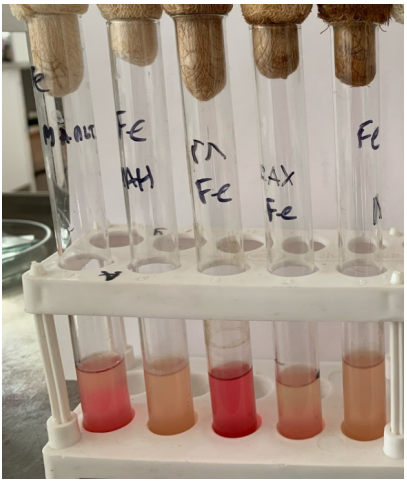


Рис. 2. Результаты тестов железобактерий
на сахаролитические свойства

Род *Leptospirillum* включает железоокисляющие бактерии – *Leptospirillum thermoferrooxidans*, *Leptospirillum ferriphilum* и выделенный нами *Leptospirillum ferrooxidans*. Перечисленные микроорганизмы способны накапливать вокруг своих внеклеточных структур (капсулы, чехлы) нерастворимые формы железа.

Leptospirillum ferrooxidans – это маленькие изогнутые палочки, с примерным размером 0,4×3,3 мкм. Также наблюдается формирование псевдококков, вибрионов и спирилл. Организм грамотрицательный, не образует спор, с хемолитотрофным типом обмена. В строении имеет единственный жгутик. Исходя из данных, полученных качественными реакциями (рис. 2), были получены следующие характеристики исследуемой культуры микроорганизма, представленные в ниже приведенной таблице.

Результаты тестов на сахаролитические и протеолитические свойства исследуемого штамма микроорганизмов

Сахаролитические свойства					Протеолитические свойства	
Сахароза	Лактоза	Мальтоза	Глюкоза	Маннит	Желатин	Молочный агар
+/–	–	+	+	–	+	+

В результате исследований был описан выделенный штамм железобактерий *Leptospirillum ferrooxidans*. Найденный микроорганизм актуально применять при работе с бактериальным выщелачиванием металлов. Выделенная культура бактерий, накапливая окислы на поверхности клеток, переводит металлы в нерастворимую форму, тем самым изымая железо из обедненной руды и шлама. Исследуемый штамм обладает сахаролитическими свойствами и способен расщеплять глюкозу, маннит и, в некоторой степени, сахарозу. Микроорганизм также имеет протеолитические свойства, то есть он способен протеолитическими ферментами расщеплять пептиды, аминокислоты и нативные белки.

Список литературы

1. Богданова О.Ю. Микробиология водных экосистем: учеб. пособие / МГТУ. – Мурманск, 2016. – 150 с.

2. Гаев А.Я., Тихоненко М.А., Килин Ю.А. Фундаментальные и прикладные проблемы гидросферы: учеб. пособие. Ч. 2. Экологические проблемы. – М.: Логос, 2020. – 200 с.

3. Нетрусов А.И., Бонч-Осмоловская Е.А., Горленко В.М. Экология микроорганизмов. – М.: Академия, 2007. – 272 с.

4. Общая и санитарная микробиология с техникой микробиологических исследований: учеб. пособие. – 5-е изд., стер. / под ред. А.С. Лабинской [и др.]. – СПб.: Лань, 2021. – 588 с.

Об авторах

Маковец Алина Евгеньевна – студентка бакалавриата кафедры «Биотехнология, технология общественного питания и товароведение», Омский государственный технический университет, e-mail: uanna330@gmail.com

Чачина Светлана Борисовна – кандидат биологических наук, доцент кафедры «Биотехнология, технология общественного питания и товароведение», Омский государственный технический университет, e-mail: ksb3@yandex.ru

УДК 579.266: 669.1: 606: 622.7

А.Е. Маковец, С.Б. Чачина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ЖЕЛЕЗА, ВЫДЕЛЕННОГО ЖЕЛЕЗООКИСЛЯЮЩИМИ МИКРООРГАНИЗМАМИ

В статье исследуются микроорганизмы, способные выщелачивать железо из обедненных руд и отходов металлургической промышленности, приводится описание их морфологии. Проведена оптическая спектрография полученных образцов и рассчитано общее и суммарное количество выделенного железа в образцах.

Ключевые слова: железобактерии, биовыщелачивание, свойства микроорганизмов, массовая концентрация железа, спектрография.

A.E. Makovets, S.B. Chachina

DETERMINING THE CONCENTRATION OF IRON EXHAUSTED BY IRON-OXIDIZING MICROORGNISM

The article investigates microorganisms capable of leaching iron from depleted ores and wastes of the metallurgical industry, and describes their morphology. Optical spectrography of the obtained samples was carried out and the total and total amount of released iron in the samples was calculated.

Keywords: iron bacteria, bioleaching, properties of microorganisms, mass concentration of iron, spectrography.

Мировые запасы высококачественных, богатых руд уменьшаются с каждым годом, что обусловлено большим ростром спроса на металлы. Имеются огромные запасы руд с невысоким содержанием металла, так называемые шламы и отходы от производства металлических руд. Однако восстановление металлов из руды с применением классических способов представляется невыгодным с точки зрения экономики, и они не рассчитаны на малые содержания металла в руде. Помимо этого, при классических способах извлечения металлов страдает экология, в окружающую нас среду выбрасывается большое количество токсичных отходов, таких как тяжелые металлы, нефтепродукты, радионуклиды.

Биотехнологический метод выщелачивания металлов, то есть биовыщелачивание, по сравнению с химической и пирометаллургией имеет больше достоинств. Метод основывается на том, что к измельченному шламу добавляют железоокисляющие бактерии, погружают в биореактор с водой и питательными веществами, необходимыми для роста культуры, и после выделения металла профильтровывают раствор. Нами предлагается использовать выделенные культуры железоокисляющих микроорганизмов с целью выделения железа из обедненнной руды и из отходов металлургической промышленности.

Для получения накопительных культур нами была использована среда следующего состава. Среда Калиненко, г/дм^3 ($(NH_4)_2SO_4$, $NaNO_3$, K_2HPO_4 и $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ – 0,5; лимонная кислота – 10,0; $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ – 5,9; триптон – 1,0; сахароза – 2,0; вода водопроводная – до 1 л; pH = 6,8) и среда Бромфильда, г/дм^3 ($MgSO_4 \times 7H_2O$ – 0,2; сахароза – 10; K_2HPO_4 – 0,5; $(NH_4)_2SO_4$ – 1,0; $CaCO_3$ – 5; дрожжевой экстракт – 0,3; вода водопроводная – до 1 л; pH = 6,4).

Методика измерений массовой концентрации общего железа фотометрическим методом с сульфосалициловой кислотой основана на взаимодействии сульфосалициловой кислоты с солями железа (Fe (II) и Fe (III)) и, как следствие, образованием комплексных соединений. В слабокислой среде сульфосалициловая кислота реагирует только с солями Fe (III), и раствор приобретает красную окраску, а в слабощелочной среде (с солями Fe (II) и Fe (III)) – желтую.

В ходе проведения анализа использовались 4 пробы, в каждой по 20 г металлического порошка (названия по ГОСТ):

1) Контроль (без бактерий);

2). Железный порошок ПЖВ2.160.28 / Fe-6%Si (содержание железа 89 %);

3) Ферромарганец технический (содержание железа 30 %);

4) Железный порошок ПЖВ4.160.24 (содержание железа 58 %).

Оптическую плотность окрашенного комплекса для железа общего измеряли при длине волны 425 нм, а для измерения оптической плотности Fe (III) – 500 нм. По получившимся значениям построили градуированный график и нашли концентрацию железа в исследуемых пробах.

Для расчета массовой концентрации железа в анализируемой пробе мы использовали следующую формулу:

$$X = \frac{C \cdot 100}{V},$$

где X – массовая концентрация железа в анализируемой пробе, мг/дм^3; C – массовая концентрация железа, найденная по градуированному графику, мг/дм^3; V – объем пробы, взятый для измерений, см^3.

По построенному градуированному графику (рисунок) определено общее количество полученного железа.

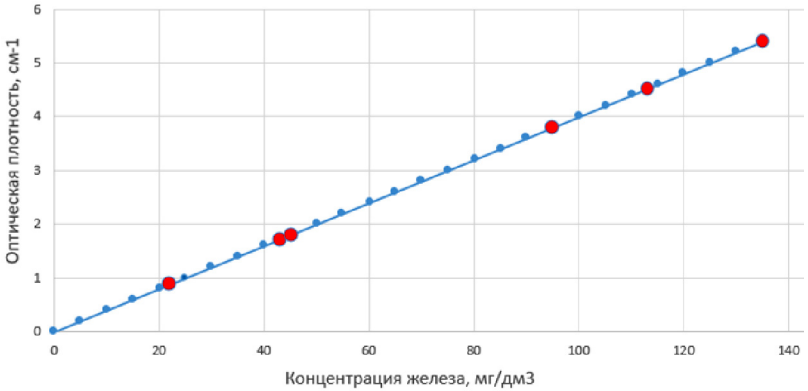


Рис. Градуированный график зависимости массовой концентрации от оптической плотности исследуемой пробы по выделенному железу

Рассчитанные по формуле концентрации выделенного микроорганизмами железа представлены в таблице.

На основе экспериментально полученных величин оптической плотности был построен градуированный график, по которому были найдены массовые концентрации выделившегося железа общего и суммарного в исследуемых пробах, по которым видно, что большую часть выпавшего в осадок металла составляет трехвалентное железо.

Несмотря на большой процент содержания железа в первом образце, используя железобактерии в лабораторных условиях, за

один месяц работы удалось выделить только 0,63 % Fe (III) от общего содержания железа в 89 %. Результат работы бактерий со 2-м образцом железного порошка оказался самым продуктивным. Из 30 % содержащегося железа удалось выделить примерно 4,70 % Fe (III). В случае 3-го образца результат также оказался валидным. Из содержащегося в железном порошке 58 % железа получилось выделить 2,90 % Fe (III).

Экспериментальные данные, полученные при определении концентрации растворов выделенного железа

Раствор Fe	Контроль	ПЖВ4.160.24	Ферромарганец	Fe-6%Si
Концентрация Fe (III), мг/дм^3	0	45	113	135
Концентрация суммарного Fe (II) и Fe (III), мг/дм^3	0	22	43	95
Раствор Fe	Контроль	ПЖВ4.160.24	Ферромарганец	Fe-6%Si
X, концентрация Fe (III), мг/дм^3	–	112,5	282,5	337,5
X, концентрация суммарного Fe (II) и Fe (III) в пробе, мг/дм^3	–	55	107,5	237,5

Можно сказать, что выделенные железобактерии подходят не для каждого сплава и шлама железной руды, и перед использованием бактерий в биовыщелачивании для наибольшей продуктивности необходимо провести предварительные тесты.

Выделенный нами микроорганизм будет актуально использовать в процессе биовыщелачивания, т.к. в лабораторных условиях он хорошо себя показал.

Список литературы

1. Золотова, Е.Ф. Очистка воды от железа, марганца, фтора и сероводорода. – М.: Стройиздат, 1975. – 176 с.

2. Гусев Б.В., Файвусович А.С. Теоретические основы процессов выщелачивания отвержденных радиоактивных отходов. – М.: Научный мир, 2007. – 36 с.

3. Кравченко Р.М. Биовыщелачивание металлов [Электронный ресурс] // ГИАБ. – 2001. – № 9. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/biovyschelachivanie-metallov (дата обращения: 03.10.2022).

4. Булаев А.Г. новые направления в развитии биогидрометаллургии [Электронный ресурс] // ГИАБ. – 2021. – № 3–1. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/novye-napravleniya-v-razvitii-biogidrometallurgii (дата обращения: 20.02.2023).

Об авторах

Маковец Алина Евгеньевна – студентка бакалавриата кафедры «Биотехнология, технология общественного питания и товароведение», Омский государственный технический университет, e-mail: uanna330@gmail.com

Чачина Светлана Борисовна – кандидат биологических наук, доцент кафедры «Биотехнология, технология общественного питания и товароведение», Омский государственный технический университет, e-mail: ksb3@yandex.ru

УДК 54.48 + 577.112.6

Е.А. Морева, Д.И. Зиганшина,
Е.Н. Решетова, Л.Д. Аснин

ХРОМАТОГРАФИЧЕСКОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ СТЕРЕОИЗОМЕРОВ ДИПЕПТИДОВ В КОНТРОЛЕ КАЧЕСТВА ПРОДУКТОВ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Исследованы закономерности энантиоселективного разделения стереоизомеров дипептидов с использованием новых некоммерческих хиральных неподвижных фаз с привитыми аддуктами хинина и хинидина с дипептидом L-Leu-Gly. Изучено влияние соотношения воды и органического растворителя (метанола) в подвижной фазе на удержание аналитов. Рассмотрены зависимости удерживания и разделения стереоизомеров от концентрации метанола в ПФ.

Ключевые слова: хроматография, хиральные неподвижные фазы, дипептиды, хинин, хинидин.

E.A. Moreva, D.I. Ziganshina,
E.N. Reshetova, L.D. Asnin

CHROMATOGRAPHIC SEPARATION OF DIPEPTIDE STEREOISOMERS IN QUALITY CONTROL OF BIOTECHNOLOGICAL PRODUCTS

The regularities of enantioselective separation of dipeptide stereoisomers on new non-commercial chiral stationary phases with grafted adducts of quinine and quinidine with dipeptide L-Leu-Gly have been studied. The effect of the ratio of water to organic solvent (methanol) in the mobile phase on analyte retention was studied. The dependence of retention and separation of stereoisomers on the concentration of methanol in the MP is considered.

Keywords: chromatography, chiral stationary phases, dipeptides, quinine, quinidine.

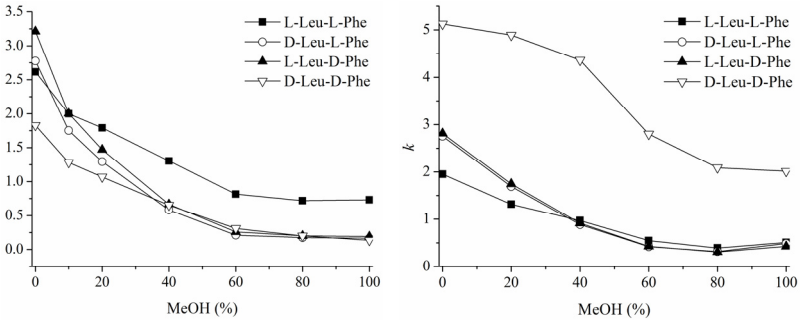
Действующими компонентами некоторых лекарственных препаратов (эналаприл, карнозин, лизиноприл) и пищевых добавок (аспартам) являются дипептиды – вещества, способные существовать в виде четырех стереоизомерных форм (LL, LD, DL, DD). Это объясняется тем, что дипептиды состоят из остатков аминокислот,

обладающих (за исключением глицина) свойством хиральности. Различные стереоизомеры дипепидов могут иметь разную биологическую активность, поэтому появляется необходимость их разделения как с целью очистки целевых стереоизомеров от изомерных примесей, так и для контроля чистоты индивидуальных стереоизомеров. Метод высокоэффективной жидкостной хроматографии с применением хиральных неподвижных фаз (ХНФ) является наиболее популярным методом для решения этой задачи. Данное исследование было проведено с целью оценки способности разделения стереоизомеров дипептидов на хиральных ионообменных колонках ASTRA CHSAK 60B и ASTRA CHSAK 61B.

Экспериментальные данные получены на хроматографах Ultimate 3000 и Agilent 1100. Использовались колонки, заполненные ХНФ, представляющими собой силикагель с привитыми аддуктами хинина (QN) или хинидина (QD) с дипептидом L-Leu-Gly: ASTRA CHSAK 60B (QN-L-Leu-Gly) и ASTRA CHSAK 61B (QD-L-Leu-Gly). Подвижные фазы содержали водный раствор метанола с объемной долей спирта от 0 до 100 % и небольшую добавку ацетата аммония ($2 \cdot 10^{-4}$ М). В качестве анализируемых веществ были выбраны стереоизомеры дипептидов: Leu-Phe, Phe-Leu, Gly-Phe и Phe-Gly.

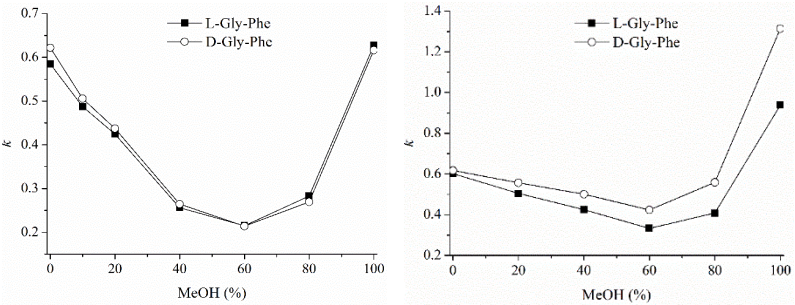
На исследуемых колонках достигнуто разделение энантиомерных пар LL/DD Leu-Phe и Phe-Leu, а также L- и D-Phe-Gly, однако энантиомерные пары LD/DL Leu-Phe и L/D Gly-Phe не удалось разделить. Наилучшее разделение достигнуто для стереоизомеров Leu-Phe. Переход от колонки ASTRA CHSAK 60B к ASTRA CHSAK 61B приводил к изменению порядка элюирования энантиомеров. Причиной может выступать то, что хинин и хинидин, являясь диастереомерами по отношению друг к другу, способны проявлять псевдоэнантиомерные свойства. Из двух исследованных колонок лучшее разделение демонстрировала колонка ASTRA CHSAK 61B, содержащая хинидиновый селектор.

Состав подвижной фазы по-разному влияет на удерживание дипептидов. Наблюдались убывающие (рис. 1, *а*, *б*) и U-образные (рис. 2, *а*, *б*) зависимости фактора удерживания от концентрации метанола в подвижной фазе.



а *б*

Рис. 1. Зависимость фактора удерживания (*k*) стереоизомеров Leu-Phe от содержания метанола в подвижной фазе на колонках ASTRA CHSAK 60B (*а*) и ASTRA CHSAK 61B (*б*)



а *б*

Рис. 2. Зависимость фактора удерживания (*k*) стереоизомеров Gly-Phe от содержания метанола в подвижной фазе на колонках ASTRA CHSAK 60B (*а*) и ASTRA CHSAK 61B (*б*)

Характер данных зависимостей определяется степенью липофильности аналита. Для более липофильных дипептидов наблюдались убывающие зависимости, а для менее липофильных – U-образные.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-53-26007.

Список литературы

1. A global review on short peptides: Frontiers and perspectives / V. Apostolopoulos, J. Bojarska, T.T. Chai [et al.] // Molecules. – 2021. – Vol. 26, № 2. – P. 430.

2. Lämmerhofer M. Liquid chromatographic enantiomer separation with special focus on zwitterionic chiral ion-exchangers // Anal. Bioanal. Chem. – 2014. – Vol. 406. – P. 6095–6103.

3. Yagasaki M., Hashimoto S. Synthesis and application of dipeptides; current status and perspectives // Appl. Microbiol. Biotech. – 2008. – Vol. 81, № 1. – P. 13–22.

Об авторах

Морева Елизавета Александровна – магистрант кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: moreva.lizainbox.ru@gmail.com

Зиганшина Дарья Игоревна – магистрант кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: dahsha2012@ya.ru

Решетова Елена Николаевна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник, Институт технической химии УрО РАН, филиал ПФИЦ УрО РАН, e-mail: lenire@yandex.ru

Аснин Леонид Давыдович – кандидат химических наук, доцент кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: asninld@mail.ru

УДК 602.3

А.А. Новикова, А.П. Чернова

ОЦЕНКА ЧИСТОТЫ СЛАДКИХ БЕЛКОВ

Рассмотрены вопросы очистки и контроля качества коммерческого белка тауматина. Оценено качество белка методами спектрофотометрии и колоночной хроматографии. Приведены основные результаты исследования.

Ключевые слова: колоночная хроматография, метод спектрофотометрии, сладкие белки, тауматин.

A.A. Novikova, A.P. Chernova

SWEET PROTEIN PURITY ASSESSMENT

The issues of purification and quality control of commercial protein thaumatin are considered. Protein quality was evaluated by spectrophotometry and column chromatography. The main results of the investigation are presented.

Keywords: column chromatography, spectrophotometry method, sweet proteins, thaumatin.

Тауматин – сладкий белок, который в 100 000 раз слаще сахарозы в молярном пересчете [1]. Он используется в пищевой и фармацевтической промышленности для производства жевательной резинки, молочных продуктов, безалкогольных напитков, а также как подсластитель для лекарственных сиропов, пастилок для рассасывания, витаминов и др. [2]. В настоящее время получение тауматина ограничивается двумя основными способами: природным и микробиологическим синтезом. Натуральный тауматин коммерчески получают из плодов западноафриканского растения *Thaumatococcus danielli Benth*, урожай которого сильно зависит от климатических условий и времени года, что ограничивает его промышленное использование [3]. Поэтому наибольший интерес представляет метод микробиологического синтеза тауматина с помощью генетически-модифицированных продуцентов: *Escherichia coli, Bacillus subtilis* и *Streptomyces lividans*. Однако вне зависимости от метода получения белка существует проблема качественной

очистки, от которой зависит выход белка и его органолептические свойства [4]. Поэтому исследования в данной области являются актуальными для пищевой и фармацевтической промышленности.

Целью данного исследования является оценка чистоты коммерческого белка спектрофотометрическими и хроматографическими методами. Для исследования был использован коммерческий белок тауматин производства Китай с заявленной чистотой 99,15 %. Очистку белка проводили на сорбентах: азоэпоксиадсорбент Sephadex LH-20-НГ-ЭпКГ, предоставленный кафедрой фармацевтической химии КемГУ, SP Sepharose Fast Flow, а также картридж Bio-Scale Mini UNOsphere S производства компании BioRad. Для количественного определения содержания тауматина применялись методы спектрофотометрии с использованием спектрофотометра Agilent Cary 60 производства компании Agilent.

Контроль качества чистоты белка включал определение количественного содержания коммерческого белка тауматина методами спектрофотометрии с построением градуировочного графика для белка – сывороточный альбумин (чистота 99 % (масс), в качестве стандарта. Значение изоэлектрической точки белка и его температуры плавления с применением учебно-лабораторного комплекса «Физическая и Коллоидная химия» компании «УНИТЕХ и MP50 Melting Point System» производства компании METTLER TOLEDO.

На 1-м этапе определяли содержание кислотной и нейтральной фракции белка с помощью биуретового метода и метода Лоури. Для определения количественного содержания белка по биуретовому методу готовили серию разведений стандартного раствора альбумина, содержащего 10 мг/см^3, который в дальнейшем использовали для построения градуировочного графика с концентрацией белка, мг/см^3: 2, 4, 6, 8 и 10, а также биуретовый реактив. Для анализа готовился раствор коммерческого тауматина с концентрацией 5 мг/см^3. Идентификацию комплекса «белок–биуретовый реактив» проводили при длине волны, равной 540 нм. Для метода Лоури готовили стандартный раствор альбумина концентрацией 100 мкг/см^3, который в дальнейшем использовали для построения градуировочного графика с концентрацией белка, мкг/см^3: 10, 20,

40, 60, 80 и 100, рабочий раствор и реактив Фолина – Чокальтеу. Для анализа готовился раствор коммерческого тауматина с концентрацией 100 мкг/см^3. Идентификацию комплекса «белок–реактив» Фолина – Чокальтеу проводили при длине волны, равной 750 нм.

На 2-м этапе определяли изоэлектрическую точку коммерческого белка в буферных смесях. Для приготовления буферных растворов с pH 10,0; 10,5; 11,0; 11,5; 12,0; 12,5 использовали борную, уксусную, фосфорную кислоты и раствор гидроксида натрия. Для анализа к буферной смеси добавляли 1 % раствора тауматина и этиловый спирт. Оценку кислотности среды и определение оптической плотности проводили через 30 мин с помощью фотоколориметра. По результатам измерений строили график в координатах оптической плотности – pH.

На 3-м этапе исследовали влияние природы сорбента на качество очистки коммерческого белка тауматина. Анализ проводили на сорбентах SP Sepharose Fast Flow и азоэпоксиадсорбенте Sephadex LH-20-НГ-ЭпКГ, а также картридже BioRad Bio-Scale Mini UNOsphere S. Подготовленные колонки забивали сорбентами и промывали водой. Картридж устанавливали на штативе и также промывали водой. В качестве буферных растворов использовали фосфатный буфер с pH 6,8 и ацетатный буфер с pH 4,5–5,0. Перед анализом пробу белка тауматина растворяли в буферных растворах для получения концентрации 1 мг/см^3. Фракции элюата собирали по 1–5 см^3 и анализировали чистоту белка с помощью метода Лоури.

Установлено, что коммерческий белок тауматин не обладает заявленным качеством производителя. В результате спектрофотометрического анализа по методу Лоури выявлено, что фактическая концентрация белка в 4,5 раза меньше приготовленной, что составляет всего 22 %. По биуретовому методу фактическая концентрация белка оказалась в 3,4 раза меньше, что составляет 24 %. Для очистки белка основным фактором являлась его изоэлектрическая точка, равная 11,5, что говорит о щелочной природе белка. Поэтому наилучшие результаты по очистке были установлены на картридже BioRad Bio-Scale Mini UNOsphere S. Очистка на данном картридже увеличила чистоту раствора белка в 1,5 раза.

Список литературы

1. Edens L., Van der Wel H. Microbial synthesis of the sweet tasting plant protein thaumatin // Trends in Biotechnology. – 1985. – Vol. 3. – P. 61–64.

2. Dahal N.R., Xu X. Sweetest Protein Thaumatin // Journal of Food Science and Technology Nepal. – 2014. – Vol. 7. – P. 112–118.

3. Purification and characterization of recombinant supersweet protein thaumatin II from tomato fruit / A. Firsov, L. Shaloiko, O. Kozlov, L. Vinokurov, A. Vainstein, S. Dolgov // Protein Expr Purif. – 2016. – Vol. 123. – P. 1–5.

4. Daniell S., Mellits K.H. Refolding the sweet-tasting protein thaumatin II from insoluble inclusion bodies synthesized in Escherichia coli // Food Chemistry. – 2000. – Vol. 71. – P. 105–110.

Об авторах

Новикова Александра Александровна – студентка бакалавриата отделения «Химическая инженерия инженерной школы природных ресурсов», Национальный исследовательский Томский политехнический университет, e-mail: aan53@tpu.ru

Чернова Анна Павловна – кандидат химических наук, доцент отделения «Химическая инженерия инженерной школы природных ресурсов», Национальный исследовательский Томский политехнический университет, e-mail: apa2004@mail.ru

УДК 579.6

А.М. Обухова

ВЫДЕЛЕНИЕ АКТИВНЫХ КУЛЬТУР АЭРОБНЫХ НЕФТЕОКИСЛЯЮЩИХ БАКТЕРИЙ ИЗ ГРУНТА И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Рассмотрены факторы биоремедиации почвы и их влияние на скорость биоразложения нефтепродуктов, описаны тест-системы, определяющие скорость биодеградации нефти и нефтепродуктов. Приведены результаты получения чистых культур бактерий, активно растущих в парах дизельного топлива.

Ключевые слова: биоремедиация почвы, нефтепродукты, микроорганизмы-деструкторы нефтепродуктов.

A.M. Obukhova

ISOLATION OF ACTIVE CULTURES OF AEROBIC OIL-OXIDIZING BACTERIA FROM SOIL AND BOTTOM SEDIMENTS

The factors of soil bioremediation and their influence on the rate of biodegradation of petroleum products are considered, test systems determining the rate of biodegradation of oil and petroleum products are described. The results of obtaining pure cultures of bacteria actively growing in diesel fuel vapors are presented.

Keywords: bioremediation of soil, petroleum products, microorganisms-destructors of petroleum products.

На сегодняшний день наряду с добычей и транспортировкой нефти отмечаются повышенные загрязнения окружающей среды отходами нефтедобывающей промышленности. На нефтеперерабатывающих предприятиях происходят утечки компонентов нефти, содержащей большое количество органических соединений, включающих *n*-алканы и их производные, циклические соединения, хлорсодержащие соединения и т.п. Одним из наиболее экономически эффективных (высокая степень очистки) и экологически безопасных (деструкция нефти и нефтепродуктов до безвредных соединений) методов очистки почвенного слоя от нефтепродуктов является биоремедиация. Для биоремедиации почв на предприятиях

необходимо знать, какие компоненты нефти находятся в почве, и исходя из этого, подбирать необходимые бактерии для деструкции загрязнений. Также для улучшения биоремедиации необходимо подобрать факторы роста, аэрацию и количество воды, чтобы достичь наивысшей степени биоремедиации. Поэтому тема биоремедиации почвы на нефтеперерабатывающем предприятии актуальна на сегодняшний день [1].

Углеводороды различаются по своей восприимчивости к микробной атаке, и их можно ранжировать в порядке уменьшения восприимчивости: *n*-алканы > разветвленные алканы > низкомолекулярные ароматические соединения > циклические алканы [2]. Также известно, что скорость биодеградации наиболее высока для насыщенных веществ, за которыми следуют легкие ароматические соединения, с высокомолекулярными ароматическими соединениями и полярными соединениями, проявляющими чрезвычайно низкие скорости разложения. Кроме того, биоремедиация зависит от таких факторов, как pH (неподходящее значение pH может привести к негативному влиянию на способность микробных популяций разлагать углеводороды), температура (ее влияние обусловлено тем, что она оказывает влияние на физическую природу и химический состав нефти, скорость метаболизма углеводородов микроорганизмами и состав микробного сообщества), количество азота и фосфора в почве (ускорение биодеградации почвы может быть при добавлении карбамидо-фосфатных, N-P-K удобрений и аммонийных и фосфатных солей) [3].

Для определения скорости биоразложения различных нефтепродуктов в почве применяют специальные тест-системы. В тесте образец масла выдерживают при температуре 77 °F (25 °C) в течение 28 дней. Биодеградация масла вызывается инокулятом смешанной популяции микроорганизмов. Первичное биологическое разложение измеряется с помощью инфракрасного спектрометра [2].

Конечная степень биодеградации определяется в соответствии с выделением диоксида углерода (CO_2) из тестируемого образца по сравнению с тем, который получен в заготовке, содержащей только инокулят. Тесты определяют скорость биодеградации:

1) легко поддается биологическому разложению – разлагается не менее 60–70 % (в зависимости от типа теста) образца масла.

2) по своей природе биоразлагаемый – 20–60 % образца масла разлагается;

3) стойкий – разложилось менее 20 % масла в образце [1].

Объектами настоящего исследования являлись полученные в результате селекции штаммы бактерий, выделенные из нефтезагрязненных образцов грунтовых вод и проточных водоемов Пермского края: в левобережной надпойменной террасе р. Кама (зона усиленного нефтяного загрязнения). Для выделения и выращивания микроорганизмов, утилизирующих компоненты нефти, была использована синтетическая среда N, а источником углерода для селекции выступает в качестве модельного нефтепродукта дизельное топливо, содержащее широкий спектр линейных и ароматических углеводородов C_{10}–C_{40}. Проводили высевы из полученных накопительных культур микробиологической петлей методом истощающего штриха на агаризованную среду N без внесенного источника углерода и культивировали в герметичной камере в парах нефтепродукта (дизельное топливо) в течение 10 сут. Полученные чистые колонии рассевали на ту же среду на отдельные секторы и культивировали аналогичным образом. Очистку полученных культур проводили высевом на полноценную агаризованную среду LB, с которой брали отдельные, хорошо оформленные колоны в качестве чистых изолятов. Чистоту культур, выращиваемых на жидкой и твердой селективной среде, проверяли также рассевом на агаризованную среду LB [4].

В результате проведенной селекционной работы выделены 24 чистых культуры бактерий, активно растущих в атмосфере паров нефтепродукта – дизельного топлива, а также утилизирующих сырую нефть (Ножовского месторождения). Из них для дальнейшей работы отобрано 6 наиболее перспективных изолятов, показавших в предварительных экспериментах наиболее высокую скорость роста на модельном нефтепродукте. Данным изолятам присвоена сплошная нумерация в диапазоне D1–D6.

Определены основные морфологические характеристики отобранных культур. Установлено, что все изоляты – аэробы, при окра-

шивании по Граму и КОН-тесту часть культур отнесена к грамположительным, часть – к грамотрицательным бактериям. С помощью фазово-контрастной микроскопии установлено, что большинство грамположительных бактерий имеют трехстадийный цикл развития (кокки – палочки – кокки). Также культуры имеют общие физиолого-биохимические признаки: каталазо- и оксидазоположительны, разлагают тирозин. По предварительным данным штаммы D1–D3 идентифицированы как представители актинобактерий рода *Rhodococcus*, а D4 – *Pseudomonas sp*.

Список литературы

1. Impact of amino acid on biodegradability of lubricating oil and simulation of biodegradation rate equation / B.-shui Chen, W.-J. Huang, J.-H. Fang, X. Sun, J. Wang, Y. Yu // Ecology and Environmental Sciences. – 2010. – № 15 (6), – P. 46–50.
2. Das, N., Chandran, P. Microbial degradation of petroleum hydrocarbon contaminants: an overview. Biotechnol. Res. Int. – 2011. – P. 1–13.
3. Muratovba A., Turkovskaia O. Degradation of Mineral Oils by a Selected Microbial Association // Prikl Biokhim Mikrobiol. – 2001. – № 37 (2). – P. 175–180.
4. Методы почвенной микробиологии и биохимии: учеб. пособие для почв. и агрохим. спец. ун-тов и с.-х. вузов / Д.Г. Звягинцев, И.В. Асеева, И.П. Бабьева, Т.Г. Мирчинк. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – 224 с.

Об авторе

Обухова Анастасия Михайловна – студентка магистратуры кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: brnastasi.25@mail.ru

УДК 66.094.3.097.8

С.В. Павленко, А.А. Ботева

ИЗУЧЕНИЕ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ 2,3-ДИАЦИЛ-4-ХИНОЛОНОВ И ИХ [b]-АНЕЛИРОВАННЫХ АНАЛОГОВ

Проведены эксперименты по изучению антиоксидантной активности 2,3-диацил-4-хинолонов и их анелированных аналогов. Сравнительный анализ показал, что большинство исследуемых 2,3-диацил-4-хинолонов не обладают антиоксидантной активностью, в то время как их анелированные аналоги проявляют данные свойства

Ключевые слова: 2,3-диацил-4-хинолоны, [b]-анелированные 4-хинолоны, антиоксиданты.

S.V. Pavlenko, A.A. Boteva

STUDY OF THE ANTIOXIDANT ACTIVITY OF 2,3-DIACYL-4-QUINOLONES AND THEIR [b]-ANNELATED AHALOGUES

Experiments to study the antioxidant activity of 2,3-diacyl-4-quinolones and their annelated analogues were carried out. Comparative analysis showed that majority of 2,3-diacyl-4-quinolones show no such properties whereas their annelated analogues show antioxidant activity.

Keywords: 2,3-diacyl-4-quinolones, [b]-annelated 4-quinolones, antioxidant.

Окислительный стресс – это резкое усиление окислительных процессов в организме при недостаточном функционировании антиоксидантной системы, отражающее возникший перекисный гомеостаз. При этом происходит накопление свободных радикалов, которые наносят повреждение различным биологическим молекулам (особенно липидам, белкам и нуклеопротеидам), что, в свою очередь, приводит к нарушениям в работе клеток и тканей организма, запускает патологические процессы [1]. Антиоксиданты являются веществами, способными замедлять или предотвращать окисление других молекул. Экзогенные антиоксиданты помогают собственной антиоксидантной системе организма при возникновении окислительного стресса. Антиоксидантная фармакотерапия позволит обеспечить защиту нейронам (предотвращение патологий

нервной системы) [2], снизить повышенный уровень липопротеидов низкой плотности, изменить их структуру (предотвращение многих заболеваний сердечно-сосудистой системы) [3] и в комплексе с противовоспалительными препаратами бороться с онкологическими заболеваниями. Существует определенное количество антиоксидантов растительного происхождения, а также различные лекарственные препараты с антиоксидантными свойствами, однако многие из них воздействуют только на определенные свободные радикалы или повреждаемые системы. Таким образом, поиск новых антиоксидантов – это актуальная задача для современной науки.

Существует большое разнообразие методов определения антиоксидантной активности, направленных на диагностирование различных механизмов антиоксидантного действия. К таким механизмам относится нейтрализация активных форм кислорода, обрыв цепных свободнорадикальных реакций, нейтрализация свободных радикалов и др. Также методы можно разделить по способу определения – например, спектральные, хроматографические, титриметрические, флуориметрические или биологические методы [4]. В биологических методах практический интерес представляют модельные тест-системы на основе *Paramecium caudatum* или *Escherichia coli*, позволяющие оценить антиоксидантную активность *in vivo*.

Изучение антиоксидантной активности 4-хинолонов и их аналогов в данной работе проводилось по оценке их радикалсвязывающего действия в тесте ORAC (Oxygen radical absorption capacity). Данный метод основан на измерении уровня окислительного разрушения флуоресцентной молекулы под действием генератора свободных радикалов, в качестве которого выступает ААРН (2,2’–азобис (2-метилпропинамидин)дигидрохлорид) [5]. Происходит разрушение молекулы флуоресцеина и, как следствие, уменьшение флуоресценции. Антиоксидант способен конкурентно связывать свободный радикал, защищая молекулу флуоресцеина от разрушения, при этом наблюдается сдвиг по времени снижения флуоресценции. Значения фиксируются с помощью микропланшетного ридера.

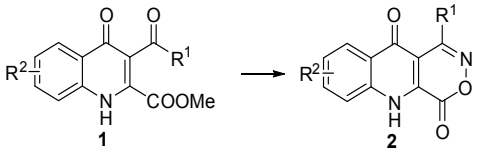
Степень радикалсвязывающей активности (РСА) выражалась по формуле

$$\text{РСА} = \frac{(S_{\text{в-во}} - S_{\text{контроль1}})}{(S_{\text{контроль2}} - S_{\text{контроль1}})} \cdot 100\ \%,$$

где $S_{\text{в-во}}$ – площадь под кривой снижения флуоресценции пробы с исследуемым веществом; $S_{\text{контроль1}}$ – площадь под кривой снижения флуоресценции пробы, содержащей растворитель без исследуемого вещества (в данном случае ДМСО); $S_{\text{контроль2}}$ – площадь под кривой снижения флуоресценции пробы, содержащей растворитель (ДМСО) и не содержащей ААРН.

Результаты по проведению теста ORAC у 15 4-хинолонов и их аналогов (в концентрации 125 мкМ) представлены ниже в таблице и на рисунке.

РСА 4-хинолонов и их аналогов



№ п/п	R^1	R^2	РСА веществ 1, %	№	РСА веществ 2,%
1	Ph	H	Не обладает	9	22,5
2	Ph	6-Me	Не обладает	10	Не обладает
3	Ph	7,9-Me_2	Не обладает	11	Не обладает
4	Ph	6-Br	Не обладает	12	27,2
5	Ph	6-F	Не обладает	13	74,4
6	C_4H_3S	H	Не обладает	14	85,3
7	Ph	8-OMe	Не обладает	15	10,4
8	Ph	6-Cl,8-Me	Не обладает	–	–

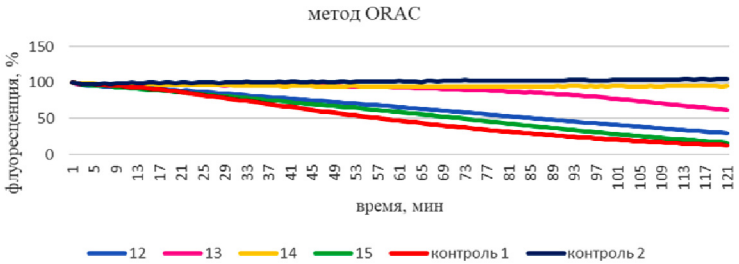


Рис. Снижение флуоресценции анелированных аналогов 4-хинолонов

Таким образом, антиоксидантную активность проявляют анелированные аналоги 4-хинолонов, что позволяет сделать вывод о положительном влиянии данной структуры на наличие антиоксидантных свойств. Наибольшая активность замечена у образцов 13 (74,4 %) и 14 (85,3 %). Для известного сильного антиоксиданта тролокса (3,4-дигидро-6-гидрокси-2,5,7,8-тетраметил-2*H*-1-бензопиран-2-карбоновая кислота), который используется в подобных тестах в качестве эталонного вещества, среднее значение активности в концентрации 125 мкМ составляло 99 %, что позволяет сделать вывод о сопоставимых значениях активности исследуемых анелированных 4-хинолонов и известных антиоксидантов.

Список литературы

1. Карбишев М.С., Абдуллаев Ш.П. Биохимия оксидативного стресса: учебно-методическое пособие // РНИМУ имени Н.И. Пирогова Минздрава России. – М., 2018. – С. 4–23.
2. Васенина Е.Е., Левин О.С. Окислительный стресс в патогенезе нейродегенеративных заболеваний: возможности терапии // Современная терапия в психиатрии и неврологии. – М., 2013. – № 3–4. – С. 39–45.
3. Палаткина Л.О., Корнеева О.Н., Драпкина О.М. Окислительный стресс – роль в патогенезе хронической сердечной недостаточности, возможности коррекции // Кардиоваскулярная терапия и профилактика – 2012. – № 11. – С. 91–94.
4. Тринева О.В. Методы определения антиоксидантной активности объектов растительного и синтетического происхождения в фармации (обзор) // Разработка и регистрация лекарственных средств. – 2017. – С. 180–197.
5. Held P. Performing Oxygen Radical Absorbance Capacity Assays with Synergy™ [Электронный ресурс] // Biotek. – URL: https://www.biotek.com/resources/docs/ORAC_Assay_Application_Note.pdf (дата обращения: 21.10.2022).

Об авторах

Павленко Софья Владимировна – студентка бакалавриата кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: sofya.pavlenko@yandex.ru

Ботева Анастасия Андреевна – кандидат фармацевтических наук, доцент кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: aboteva@pstu.ru

УДК 579.66:579.222

А.В. Перемотина, А.Ю. Максимов

БИОТРАНСФОРМАЦИЯ АКРИЛОНИТРИЛА ИММОБИЛИЗОВАННЫМИ НА ГИДРОКСИАППАТИТЕ БАКТЕРИЯМИ *RHODOCOCCUS RUBER* GT1

Исследованы процессы синтеза гидроксиаппатита, подходящего для получения иммобилизованного биокатализатора на основе клеток родококков – продуцентов ферментов, иммобилизации биомассы *Rhodococcus ruber* – продуцента нитрилгидратазы. Установлено, что высокая активность полученного биокатализатора сохраняется в течение 16-ти каталитических циклов.

Ключевые слова: *Rhodococcus ruber*, иммобилизованные клетки, гидроксиапатит, акрилонитрил, акриламид.

A.V. Peremotina, A.Yu. Maksimov

BIOTRANSFORMATION OF ACRYLONITRILE BY *RHODOCOCCUS RUBER* GT1 BACTERIA IMMOBILIZED ON HYDROXYAPPATITE

The processes of synthesis of hydroxyappatite, suitable for obtaining an immobilized biocatalyst based on cells of rhodococcus – producers of enzymes, immobilization of biomass of *Rhodococcus ruber* – producer of nitrile hydratase, have been studied. It is established that the high activity of the obtained biocatalyst is maintained during 16 catalytic cycles.

Keywords: *Rhodococcus ruber*, immobilized cells, hydroxyapatite, acrylonitrile, acrylamide.

Для интенсификации микробиологических процессов в биотехнологии большие преимущества дает разработка и внедрение гетерогенных процессов. Для создания гетерогенных биокатализаторов необходима иммобилизация клеток на твердом носителе. Иммобилизация по своей сути заключается в фиксировании клеток микроорганизмов на твердой фазе с возможностью последующего межфазного взаимодействия с подвижной фазой. Физико-химические принципы, лежащие в основе, позволяют закрепить структуры таким образом, чтобы сохранялась их активность в течение длительного времени, не подвергаясь существенным структурным из-

менениям. Для биотехнологического применения иммобилизованные клетки имеют ряд преимуществ перед свободными клетками и иммобилизованными ферментами, заключающиеся часто в большей активности и стабильности, а также в меньшей себестоимости. Иммобилизация позволяет создать непрерывные автоматизированные процессы, дает возможность длительно функционировать полиферментным системам, закрытым от экзогенных факторов [1–3].

Наиболее эффективным способом иммобилизации является адгезия живых клеток на поверхности носителя с последующим образованием пленок обрастания (биопленок) [4]. Перспективными носителями являются прочные и износостойкие минеральные и органоминеральные пористые или гранулированные материалы, такие как керамика, а также аппатит и гидрокисиапатит, подобные по структуре и, частично, составу природной костной ткани.

Несмотря на перспективность таких материалов, научные исследования, связанные с иммобилизацией клеток на них, немногочисленны. Кроме того, способность к адгезии различается для разных видов микроорганизмов и для функционально различных культур в пределах одного вида. Поэтому такое исследование необходимо проводить для каждой биотехнологически значимой культуры [1, 3].

Синтез немодифицированного образцов ГА проводили в соответствии со следующими реакциями:

$$10Ca(NO_3)_2 + 6(NH_4)_2HPO_4 + 8NH_4OH \rightarrow Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2 + +20NH_4NO_3 \text{ (ГА № 1)}$$

$$CaCl_2 + Na_2HPO_4 + 2H_2O \rightarrow CaHPO_4 \cdot 2H_2O + +2NaCl \text{ (ГА № 2)}$$

Синтез образцов ГА проводили в следующей последовательности: свежеприготовленный раствор 0,5 М нитрата кальция ($Ca(NO_3)_2$) смешивали с раствором 0,3 М гидрофосфата аммония ($(NH_4)_2HPO_4$) в объемах, необходимых для соблюдения стехиометрического соотношения Ca/P = 1,67. Добавлением водного раствора аммиака NH_4OH pH смеси реагентов доводили до значения ≥ 10. Затем реакционную смесь подвергали СВЧ-обработке (100 Вт, 30 мин) и отстаиванию при комнатной температуре в течение 48 ч. Осадок отфильтровывали,

промывали разбавленным раствором этилового спирта и высушивали до постоянной массы (~ 20 ч) при 90 ºС.

Таким способом получены порошкообразные ГА, которые будут служить носителями для адгезии микроорганизмов.

Иммобилизацию клеток на гидроксиапатите проводили следующим образом:

Культуру клеток бактерий выращивали на синтетической среде N [5] следующего состава: KH_2PO_4 – 0,4 г; $K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$ – 1,5 г; NaCl – 0,2 г на 400 мл дистиллированной воды (д/в). Отдельно готовили раствор микроэлементов: $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ – 20 г; $CaCl_2 \cdot 6H_2O$ – 0,4 г; $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ – 0,2 г на 100 мл д/в. Микроорганизмы инокулировали в среду N, содержащую 1 мл 40 % глюкозы; микроэлементы – 1 мл; ацетонитрил – 500 мкл. Культивирование в присутствии носителей осуществляли в 100 мл среды N в конических колбах Эрленмейера объемом 250 мл, в течение от 3 до 6 сут, культивирование осуществляли на роторной качалке при постоянном перемешивании со скоростью вращения 120 об/мин при 28–30 ºС. После культивирования измеряли оптическую плотность суспензии при 540 и 260 нм.

Бактериальную суспензию помещали в центрифужные пробирки объемом 50 мл, в которые изначально были добавлены по 1 г гидроксиапатита, тщательно перемешивали. Суспензию центрифугировали при 5000 об/мин в течение 10 мин, получали осадок, содержащий клетки, связанные с ГА.

Для реакции сливали надосадочную жидкость, добавляли 100 мкл акрилонитрила в 20 мл фосфатного буфера (pH = 7,2), помещали на качалку на 1 ч. После часа прохождения реакции (цикл реакции) пробирки центрифугировали при 5000 об/мин 10 мин, в надосадочной жидкости измеряли $ОП_{540}$ и $ОП_{260}/ОП_{230}$.

Таким образом, повторяли часовые циклы реакции до 24 раз. Проводили исследование кинетики роста культур *Rhodococcus ruber* gt1 в жидкой среде при отсутствии и в присутствии ГА. Результаты представлены на рисунке.

Как видно из рисунка, в присутствии обоих образцов ГА не наблюдалось существенного роста плотности суспензии. Клетки *R. ruber* gt1 эффективно связывались с гидроксиапатитом, и рост на-

блюдался на поверхности его частиц. Таким образом, гидроксиапатит обладает высокой сорбционной емкостью по отношению к данным бактериальным клеткам.

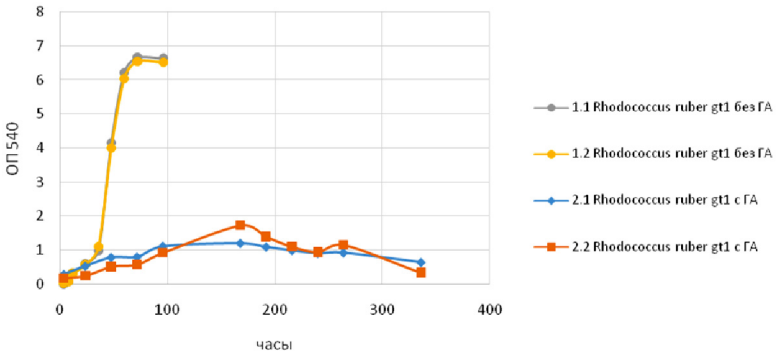


Рис. Рост культуры *R. ruber* gt1 на ГА № 1, ГА № 2 и без ГА

Исследована нитрилгидратазная активность иммобилизованных клеток *Rhodococcus ruber* gt1.

Сохранение нитрилгидратазной активности клеток родококков после включения в структуру гидроксиапатитов оценивали по образованию акриламида из акрилонитрила в реакционной смеси за один час биотрансформации.

Показано, что в течение 21 циклов трансформации нитрилгидратазная активность на обоих образцах ГА сохранялась.

Также установлено, что наибольшая стабильность нитрилгидратазы иммобилизованных клеток *R. ruber* gt1 достигается при использовании более молодых культур.

Также проанализируем, на каком из ГА у нас дольше сохраняется активность иммобилизованных клеток, и на каком из них активность показывает более высокие значения.

Показано, что в большинстве случаев на ГА № 2 $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ иммобилизованные клетки проявляют большую активность. Это может быть связано с тем, что этот ГА является более мелкодисперсным и клетки эффективнее связываются с носителем. При этом на ГА № 1 $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ и ГА № 2 $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ активность одинаково сохранялась в течение 16-ти циклов.

Список литературы

1. Демаков В.А., Максимова Ю.Г., Максимов А.Ю. Иммобилизация клеток микроорганизмов: биотехнологические аспекты // Биотехнология. – 2008. – № 2. – С.30–45.

2. Максимов А.Ю., Максимова Ю.Г., Демаков В.А. Гидролиз акрилонитрила клетками нитрилутилизирующих бактерий *Rhodococcus ruber gt1* и *Pseudomonas fluorescens* C2, иммобилизованными в структуре геля агарозы // Вестник ПГУ. Биология. – 2009. – № 10 (36). – С. 115–118.

3. Гидролиз акрилонитрила клетками нитрилконвертирующих бактерий, иммобилизованными на волокнистых углеродных адсорбентах / Ю.Г. Максимова, А.Ю. Максимов, В.А. Демаков, С.В. Козлов, Г.В. Овечкина, В.Ф. Олонцев // Биотехнология. – 2010. – № 4. – С. 51–58.

4. Максимова Ю.Г. Микробные биопленки в биотехнологических процессах // Биотехнология. – 2013. – Т. 29, № 4. – С. 9–23.

5. Влияние нитрилов и амидов на рос и нитрилгидратазную активность штамма *Rhodococcus* sp. gt1 / А.Ю. Максимов, М.В. Кузнецова, Г.В. Овечкина, С.В. Козлов, Ю.Г. Максимова, В.А. Демаков // Прикл. биохим. микробиол. – 2003. – Т. 39, № 1. – С. 63–68.

Об авторах

Перемотина Анастасия Владимировна – студентка бакалавриата кафедры «Химии и биотехнологии», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: peremotina2016@yandex.ru.

Максимов Александр Юрьевич – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник ИЭГМ УрО РАН – филиала ПФИЦ УрО РАН, e-mail: almaks1@mail.ru.

УДК 579.66:579.222

В.И. Перескокова, А.Ю. Максимов

ТРАНСФОРМАЦИЯ АКРИЛОНИТРИЛА ИММОБИЛИЗОВАННЫМИ КЛЕТКАМИ *RHODOCOCCUS RUBER* GT1 И *PSEUDOMONAS FLUORESCENS* C2

Проведена трансформация акрилонитрила клетками *Rhodococcus ruber* gt1 и *Pseudomonas fluorescens* C2, иммобилизованными на углеродном волокнистом носителе Карбопоне и на базальтовом волокне. Установлено, что иммобилизованные клетки обоих штаммов стабильно трансформируют акрилонитрил в течение 10-ти циклов. Показано, что и базальтовые волокна, и карбопон являются перспективными носителями для иммобилизации и обеспечивают стабильную работу биокатализаторов.

Ключевые слова: акрилонитрил, биотрансформация, иммобилизация, нитрилгидратаза, нитрилаза.

V.I. Pereskokova, A.Y. Maksimov

TRANSFORMATION OF ACRYLONITRILE BY IMMOBILIZED CELLS OF *RHODOCOCCUS RUBER* GT1 AND *PSEUDOMONAS FLUORESCENS* C2

Acrylonitrile was transformed by *Rhodococcus ruber* gt1 and *Pseudomonas fluorescens* C2 cells immobilized on carbon fiber carrier Carbopone and basalt fiber. It was found that the immobilized cells of both strains stably transform acrylonitrile during 10 cycles. It is shown that both basalt fibers and carbopone are promising carriers for immobilization and provide stable operation of biocatalysts.

Keywords: acrylonitrile, biotransformation, immobilization, nitrile hydratase, nitrilase.

Нитрилы являются широко распространенными в промышленности органическими веществами, применяемыми в качестве универсальных органических растворителей в производстве акриловых мономеров и полимеров и других сферах химической промышленности. Большинство нитрилов – летучие соединения, токсичные в высоких концентрациях. В связи с этим актуальной является проблема утилизации нитрилов, очистки от их примесей

сточных вод и газовоздушных выбросов. Это может быть осуществлено путем биологической деструкции в биофильтрах при помощи специально разработанных биокатализаторов. Для более эффективного процесса биокатализа применяется иммобилизация клеток [1, 3]. Использование иммобилизованных микробных клеток имеет множество преимуществ по отношению к иммобилизованным ферментам или свободным клеткам [1]. Для активной биодеструкции растворенных веществ рационально использовать биокатализаторы в виде клеток бактерий-продуцентов ферментов, иммобилизованных на твердом носителе с высокой удельной поверхностью, при этом обладающем относительно низким сопротивлением к потоку жидкости или газа.

Как отмечалось ранее, культуры микроорганизмов *R. ruber* gt1 и *P. fluorescens* C2 обладают нитрилгидратазной и нитрилазной активностями соответственно. Они способны трансформировать акрилонитрил до соответствующих амидов и карбоновых кислот за счет высокой активности нитрилгидратазы и нитрилазы [4].

Одним из наиболее доступных носителей для иммобилизации таких бактерий являются пористые углеродные материалы. Они инертны, имеют высокую механическую прочность, стабильность, пористость и удельную поверхность [2]. Также перспективны носители из базальтового волокна, хорошо адсорбирующие живые клетки микроорганизмов [2].

Цели работы – изучение процесса трансформации акрилонитрила клетками *R. ruber* gt1 и *P. fluorescens* C2 на углеродном носителе – карбопоне и на базальтовом волокне диаметром 0,12 мм, и оценка влияния иммобилизации на нитрилгидратазную и нитрилазную активности клеток.

Исследуемые бактериальные штаммы: *Rhodococcus ruber* gt1 и *Pseudomonas fluorescens* C2, обладающие нитрилконвертирующей способностью, селекционированные ранее в Лаборатории молекулярной биотехнологии Института экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН. Эти штаммы в ходе предварительных экспериментов показали максимальную активность и были определены как наиболее пригодные для эффективной биоочистки.

В качестве носителей для иммобилизации клеток бактерий были выбраны: активированное вискозное углеродное волокно Карбопон и базальтовое волокно.

Культивирование бактерий проводили при 25 °С на шейкере-инкубаторе GFL 3031 при 100 об/мин в колбах Эрленмейера объемом 250 мл в 100 мл синтетической среды N^- с добавлением 40%-ной глюкозы, ацетонитрила и раствора двухвалентных металлов. Источником углерода в данном случае являлась глюкоза, источником азота – ацетонитрил [4]. Рост культуры оценивали по изменению оптической плотности клеточной суспензии при $\lambda = 540$ нм ($ОП_{540}$), которую измеряли на фотоэлектроколориметре КФК-3. На спектрофотометре СФ-56 измеряли $ОП_{230}$ для псевдомонад и $ОП_{260}$ для родококков, для определения нитрилазной и нитрил гидратазной активности, соответственно.

Иммобилизацию клеток проводили в колбах объемом 100 мл, в каждую из которых было внесено по 1 г носителя. В каждую колбу было также внесено по 50 мл жидкой среды N^-, после чего добавляли бактериальную суспензию. Трансформацию акрилонитрила проводили в 20 мл натрий-фосфатного буфера, pH = 7,2, при 25 °С. На 20 мл фосфатного буфера каждый раз вносили 0,5 мл акрилонитрила. Единица ферментативной активности (ЕД) имеет общепринятую размерность: мкмоль/мг/мин. Перед каждым измерением проводили инкубацию в течение 30 мин при 100 об/мин и 25 °С.

Исследовали сохранение ферментативной активности в ходе последовательных циклов трансформации акрилонитрила. Результаты изменения активности клеток нитрилконвертирующих бактерий представлены на рисунке.

Из рис. 1, *а* видно, что нитрилгидратазная активность клеток *R. ruber* gt1 существенно возрастала между 2-м и 5-м циклами. Этот факт свидетельствует в пользу того, что со временем под действием акрилонитрила увеличивается проницаемость оболочки клетки для продукта реакции. В течение последующих циклов трансформации активность сохранялась на уровне около 300 мкмоль/мг/мин. Как видно из рис. 1, *б*, клетки *P. fluorescens* C2, иммобилизованные на обоих ти-

пах волокон, сохраняли высокий уровень нитрилазной активности в течение 10 циклов трансформации.

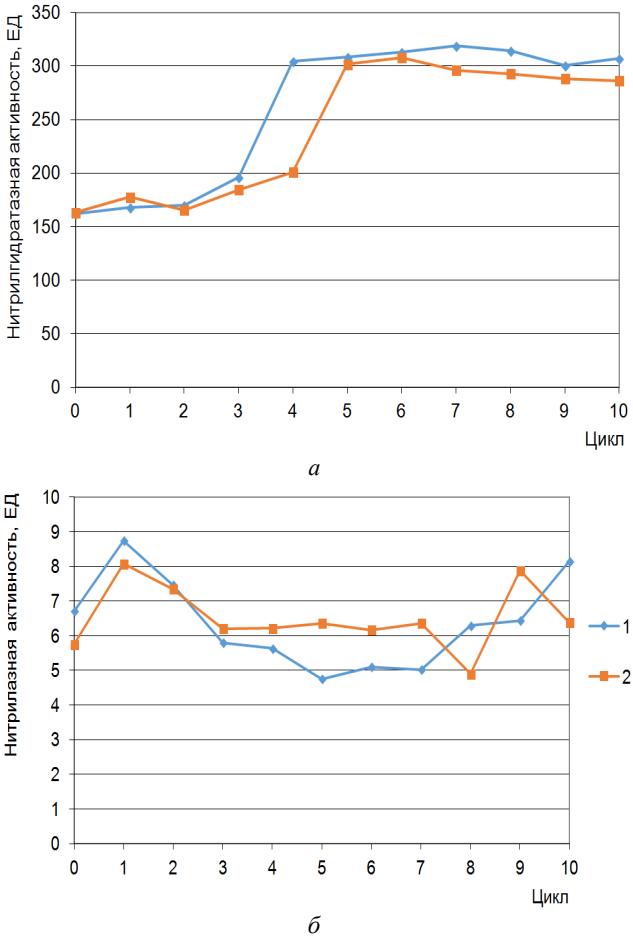


Рис. Трансформация акрилонитрила клетками *R. ruber* gt1 (*а*) и *P. fluorescens* C2 (*б*), иммобилизованными: *1* – на базальтовом волокне, *2* – на карбопоне

Таким образом, установлено, что иммобилизованные на обоих носителях клетки *R. ruber* gt1 стабильно трансформировали акрило-

нитрил в течение 10-ти циклов, притом между 2-м и 5-м циклами наблюдалось повышение измеряемой активности, по-видимому, связанное с повышением проницаемости клеток. В дальнейшем активность сохранялась на высоком уровне (около 300 мкмоль/мг/мин). Полученные кривые трансформации на обоих типах носителей имели схожий профиль. При трансформации акрилонитрила клетками *P. fluorescens* C2 активность также сохранялась на высоком уровне в течение всех 10-ти каталитических циклов. Некоторые колебания активности, по-видимому, связаны с неравномерностью массообмена. Показано, что и базальтовые волокна, и карбопон являются подходящими носителями для иммобилизации и обеспечивают стабильную работу биокатализаторов.

Список литературы

1. Демаков В.А., Максимова Ю.Г., Максимов А.Ю. Иммобилизация клеток микроорганизмов: биотехнологические аспекты // Биотехнология. – 2008. – № 2. – С. 30–45.

2. Зорина, А.С., Максимова Ю.Г. Минеральные и углеродные волокна как носители бактериальных биопленок для биокатализа и биологической очистки // Высокие технологии, определяющие качество жизни: материалы II Междунар. научной конференции, Пермь, 17–19 сентября. – 2018. – С. 64–67.

3. Кощеенко К.А. Живые иммобилизованные клетки как биокатализаторы процессов трансформации и биосинтеза органических соединений // Прикл. биохим. микробиол. – 1981. – Т. 17. – С. 477–485.

4. Максимов А.Ю., Максимова Ю.Г., Демаков В.А. Гидролиз акрилонитрила клетками нитрилутилизирующих бактерий *Rhodococcus ruber* gt1 и *Pseudomonas fluorescens* C2, иммобилизованными в структуре геля агарозы // Вестник ПГУ. Биология. – 2009. – № 10 (36). – С. 115–118.

5. Гидролиз акрилонитрила клетками нитрилконвертирующих бактерий, иммобилизованными на волокнистых углеродных адсорбентах / Ю.Г. Максимова, А.Ю. Максимов, В.А. Демаков,

С.В. Козлов, Г.В. Овечкина, В.Ф. Олонцев // Биотехнология. – 2010. – № 4. – С. 51–58.

Об авторах

Перескокова Виктория Ивановна – студентка бакалавриата кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: vikapereskokova24@mail.ru

Максимов Александр Юрьевич – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник ИЭГМ УрО РАН – филиала ПФИЦ УрО РАН, e-mail: almaks1@mail.ru

УДК 574.635

А.О. Петухова, И.А. Пермякова

ИЗУЧЕНИЕ СКОРОСТИ БИОДЕГРАДАЦИИ ЭФИРОВ ЖИРНЫХ КИСЛОТ

Определена скорость биодеградации этилолеата с помощью сконструированной установки выделенной смешанной культурой природных микроорганизмов, которые являются представителями типичной микробиоты почв и водоемов и способны использовать компоненты эфиров как источник углерода и энергии, с целью изучения биоразлагаемости эфиров жирных кислот как основных компонентов эстеровых моторных масел.

Ключевые слова: биодеградация, эфиры жирных кислот, этилолеат, эстеровые моторные масла.

A.O. Petukhova, I.A. Permyakova

STUDY OF BIODEGRADATION OF FATTY ACID ESTERS

The rate of biodegradation of ethyl oleate was determined using a constructed installation isolated by a mixed culture of natural microorganisms that are representatives of the typical microbiota of soils and reservoirs and are able to use the components of esters as a source of carbon and energy, in order to study the biodegradability of fatty acid esters as the main components of ester motor oils.

Keywords: biodegradation, fatty acid esters, ethyl oleate, ester motor oils.

В настоящее время человек в различных отраслях промышленности широко использует углеводороды для производства топлива, моторного масла, асфальта, парафина, смазочных материалов и других продуктов. Широкое использование нефтепродуктов приводит к быстрому истощению природных запасов нефти. Кроме того, нефтепродукты при попадании в окружающую среду медленно разлагаются с образованием токсичных веществ и негативно воздействуют на нее [1, 2], поэтому перед людьми стоит задача – заменять углеводороды на возобновляемое, экологически чистое сырье.

Один из вариантов перехода от нефтепродуктов на экологичное при производстве и использовании сырье – это замена минеральных моторных масел эстеровыми. Основой эстеровых моторных масел являются эфиры жирных кислот и спиртов с разным количеством углеродных атомов [3].

Эфиры жирных кислот являются перспективным сырьем, биоразлагаемость которых мало изучена, поэтому в ходе работы была поставлена задача определить скорость биодеградации эфира – этилолеата (Ethyl oleate, компания Sigma-Aldrich) с помощью сконструированной установки.

Для проверки биодеградации была выделена накопительная культура микроорганизмов. Микроорганизмы выделенной культуры являются представителями типичной микробиоты почв и водоемов и способны использовать компоненты эфиров как источник углерода и энергии.

Сконструирована установка согласно методике, описанной в ГОСТ 32427-2013 «Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды».

Биодеградация эфира на установке осуществлялась 2,4 сут. Выделенные микроорганизмы были внесены в 500 мл стерильной питательной среды, рецепт которой описан в ГОСТ, с добавлением 5 г этилолеата [4].

В питательную среду с микроорганизмами поступал воздух, который подавался компрессором. Затем выходящий из сосуда с питательной средой воздух поступал в 0,05 М раствор NaOH и отводился из колбы в химический стакан с водой, выполнявший роль гидрозатвора [4]. Периодически проводили отбор и анализ раствора на остаточное содержание NaOH.

На основе данных по остаточному содержанию NaOH рассчитывали количество выделившегося углекислого газа в ходе деградации. В таблице представлены результаты биодеградации эфира – этилолеата.

Результаты биодеградации эфира – этилолеата

Время барботажа, ч	Выделение CO_2, ммоль	Скорость деградации, ммоль CO_2/сут
0	0	7,3
3,5	0,85	
4,5	1,35	
7	2,5	
8,5	3,1	
10,5	4	
12,5	4,4	
12,5	4,5	
17,5	5,1	
19,5	5,5	
22,5	6,8	
25	8,45	
27,5	9,25	
29,5	10	
31,5	10,4	
33,5	10,85	
37,5	11,35	
44	13,85	
45	13,95	
48,5	15,4	
52	16,25	
53,5	16,75	
55,5	16,85	
57,5	17,05	

На рисунке отражена зависимость, которая описывает количество выделенного микроорганизмами CO_2 (ммоль) как функцию от времени барботажа (ч). На графике видно, что скорость выделения углекислого газа увеличивается с течением времени барботажа, но биодеградация эфира не завершилась, т.к. график не вышел на плато.

Если учитывать ту часть эфиров, которая минерализовалась до углекислого газа, то уравнение биодеградации будет иметь вид ($C_{20}H_{38}O_2$ – этилолеат):

$$2C_{20}H_{38}O_2 + 57O_2 = 40CO_2 + 38H_2O.$$

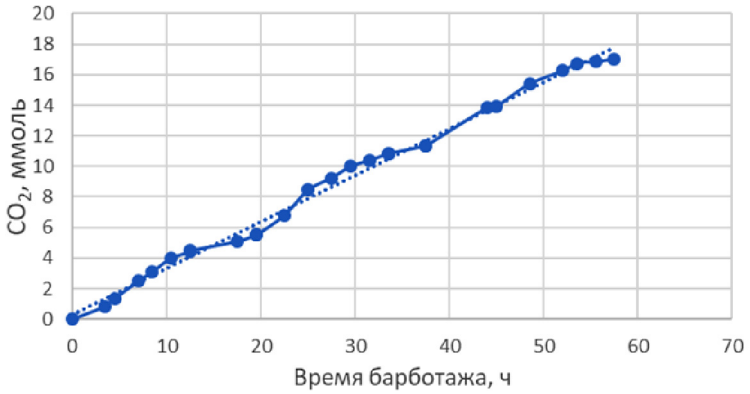


Рис. Количество выделенного микроорганизмами CO_2 (ммоль) от времени барботажа (ч)

По уравнению реакции из 2 моль эфира этилолеата должно образоваться 40 моль CO_2. В эксперименте суммарно за период 17 сут. реакции выделилось 0,01705 моль CO_2. Следовательно, можно рассчитать количество биодеградировавшего эфира, которое ушло на выделение CO_2, это составило $8{,}525 \cdot 10^{-4}$ моль этилолеата. Это составляет 5,28 % от добавленного в среду этилолеата, что говорит о том, что биодеградация эфира не завершилась за 2,4 сут. барботажа.

Если предположить, что весь эфир будет минерализован с аналогичной скоростью, то его время полураспада составит 23 сут. Следовательно, этилолеат относят к умеренно биодоступным субстратам, характеризующимся относительно быстрой интенсивностью биодеградации. В дальнейшем планируется исследовать основные продукты биодеградации образцов эфиров жирных кислот.

Список литературы

1. Ho C.K., McAuley K.B., Peppley B.A. Biolubricants through renewable hydrocarbons: A perspective for new opportunities. – Kingston, Canada, 2019. – 17 p.

2. Chemical modification of vegetable oils for the production of biolubricants using trimethylolpropane: a review / F.J. Owuna, M.U. Dabai,

M.A. Sokoto, S.M. Dangoggo, B.U. Bagudo, U.A. Birnin-Yauri, L.G. Hassan, I. Sada, A.L. Abubakar, M.S. Jibrin. – Sokoto, Nigeria, 2019. – 8 p.

3. Кулиев А.М. Химия и технология присадок к маслам и топливам. – 2-е изд., перераб. – Л.: Химия, 1985 – 312 с.

4. ГОСТ 32427-2013. Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение биоразлагаемости: 28-дневный тест. – 2014. – 43 с.

Об авторах

Петухова Анастасия Олеговна – студентка бакалавриата кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: 89655500939@mail.ru

Пермякова Ирина Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: permyakova-i88@yandex.ru

УДК 579.23

С.К. Плетнева, З.Ю. Самойлова

ОЦЕНКА АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ ОТХОДОВ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В статье приводятся результаты определения общего содержания полифенолов в экстрактах кородревесных отходов. Показано, что испытуемые экстракты обладают высокой радикалсвязывающей и железо-хелатирующей активностями.

Ключевые слова: коро-древесные отходы, антиоксиданты, растительные фенольные соединения.

S.K. Pletneva, Z.Yu. Samoilova

ASSESSMENT OF ANTIOXIDANT ACTION OF INDUSTRIAL CORK BY-PRODUCTS

In this work measurement of antioxidant activity of industrial cork by-products by modern physico-chemical methods and total content of low-molecular phenolic compounds are discussed.

Keywords: antioxidants, plant phenolics, cork by-products.

Актуальность переработки лесопромышленных отходов заключается не только в потребности снизить токсические выбросы в атмосферу при их сжигании, но и в связи с перспективой экстракции ценных продуктов с высокой добавленной стоимостью [1]. Наряду с лигнином, гемицеллюлозой и целлюлозой отходы целлюлозно-бумажной промышленности содержат низкомолекулярные фенольные соединения кверцетин, танины, галловую кислоту и др., представляющие собой перспективное сырье для пищевой и фармацевтической промышленности благодаря антиоксидантным, антимикробным, противовоспалительным и противоопухолевым эффектам, которые они проявляют [2].

Целью данной работы явилось измерение общего содержания полифенолов в экстрактах отходов целлюлозно-бумажной промышленности, а также измерение антиоксидантных свойств с

помощью современных физико-химических методов. Экстракты из отвалов кородревесных остатков были предоставлены сотрудниками Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

Общее содержание полифенолов проводили согласно спектрофотометрическому методу [3]. Прямое антиоксидантное действие оценивали в системе с 2,2–дифенил-1-пикрилгидразилом (DPPH), а радикал-связывающую способность оценивали по величине IC_{50}, обозначающей концентрацию экстракта, при которой происходит связывание 50 % радикалов в тест-системе (чем ниже показатель, тем выше антиоксидантная активность invitro) [4]. Антиоксидантное действие может быть и опосредованным за счет снижения образования свободных радикалов в системе. Такую способность можно оценить, измерив способность экстрактов хелатировать ионы Fe^{2+}. В этом случае из-за связывания свободных ионов двухвалентного железа происходит подавление образования высокотоксичных гидроксильных радикалов в реакциях типа Фентона. Железо-хелатирующую способность оценивали по показателю EC_{50}, обозначающем дозу экстракта, при которой происходит связывание 50 % ионов Fe^{2+} в тест-системе (чем ниже показатель, тем выше железо-хелатирующая активность *in vitro*) [5]. Полученные значения сравнивали с таковыми для кверцетина, стандартных антиоксиданта Trolox и хелатора железа (II) дипиридила. Полученные результаты приведены в таблице.

Результаты физико-химического анализа
испытуемых экстрактов

Экстракт № / вещество	Общее содержание полифенолов, мг-экв галловой кислоты	Радикал-связывающая активность с DPPH, IC_{50}, мг/мл	Железо-хелатирующая активность, EC_{50}, мг/мл
1	74,0 ± 2,6	18,8 ± 1,0	4,8 ± 0,2
2	46,0 ± 1,6	22,0 ± 2,0	5,0 ± 0,4
3	56,0 ± 2,0	11,0 ± 1,0	3,5 ± 0,4
Trolox	–	0,6 ± 0,04	0 ± 0
Кверцетин	–	0,6 ± 0,06	0,83 ± 0,06
Дипиридил	0	0 ± 0	0,53 ± 0,05

Таким образом, в наших условиях экстракт № 3 демонстрировал наибольшие уровни радикалсвязывающей и железо-хелатирующей активности среди испытуемых экстрактов, однако он оказался слабее кверцетина и Trolox в 18 раз по способности связывать радикалы и почти в 7 раз слабее хелатора дипиридила по способности связывать ионы Fe^{2+}.

В совокупности полученные данные указывают на относительно высокое содержание фенольных соединений в экстрактах коро-древесных отвалов, а также на наличие антиоксидантного действия у испытуемых экстрактов. Это представляет практический интерес, и в настоящее время проводится оценка биологической активности экстрактов с помощью микробных тест-систем.

Работа выполнена в соответствии с госзаданием АААА-А19-119112290009-1.

Список литературы

1. Phenolic composition and antioxidant activity of industrial cork by-products / S.A.O. Santos, J.J. Villaverde, A.F. Sousa, J.F.J. Coelho, C.P. Neto, A.J.D. Silvestre // Industrial Crops and Products. – 2013. – Vol. 47. – P. 262–269.

2. Heim K.E., Tagliaferro A.R., Bobilya D.J. Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships // J Nutr Biochem. – 2002. – V. 13. – P. 572–584.

3. Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya / L.-C. Wu, H.-W. Hsu, Y.-C. Chen, C.-C. Chin, Y.-I. Lin, J.A. Ho // Food Chem – 2006. – Vol. 95. – P. 319–327.

4. Kim H.-J., Chen F., Wang X., Chung H.Y., Jin Z. Evaluation of antioxidant activity of vetiver (*Vetiveria zizanioides* L.) oil and identification of its antioxidant constituents // J Agric Food Chem. – 2005. – Vol. 53. – P. 7691–7695.

5. Antioxidant properties of extracts from medicinal plants popularly used in Taiwan / L.-F. Shyur, J.-H. Tsung, J.-H. Chen, C.-Y. Chiu, C.-P. Lo // Int. J Appl Sci. Eng. – 2005. – Vol. 3. – P. 195–202.

Об авторах

Плетнева София Константиновна – студентка кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: pletneva.sofia@mail.ru

Самойлова Зоя Юрьевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии и генетики микроорганизмов, Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиал ПФИЦ, e-mail: samzu@mail.ru

УДК 602.3

Д.С. Пухнярская, А.П. Чернова

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОЛЕЙ ЛИТИЯ НА МИКРООРГАНИЗМЫ

Рассмотрена актуальность применения соединений лития в области биотехнологии. Представлено краткое описание методов изучения влияния органических солей лития на микроорганизмы. Рассмотрено влияние солей лития на бактерии *Escherichia coli*, *Xanthomonas campestris*, *Lactobacillus fermentum* и хлебопекарные дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*. Приведены основные результаты исследования.

Ключевые слова: соли лития, *Escherichia coli*, *Xanthomonas campestris*, *Lactobacillus fermentum*, *Saccharomyces cerevisiae.*

D.S. Pukhniarskaia, A.P. Chernova

INVESTIGATION OF LITHIUM SALTS EFFECT ON MICROORGANISMS

The relevance using of lithium compounds in the field of biotechnology is considered. The brief description of methods for studying the effect of organic lithium salts on microorganisms is presented. The effect of lithium salts on *Escherichia coli*, *Xanthomonas campestris*, *Lactobacillus fermentum* and baker's yeast *Saccharomyces cerevisiae* is considered. The main results of the investigation are presented.

Keywords: lithium salts, *Escherichia coli*, *Xanthomonas campestris*, *Lactobacillus fermentum*, *Saccharomyces cerevisiae.*

Литий и его соединения широко используются в различных областях науки и техники, от производства источников тока до лекарственных средств. В медицине соли лития нашли применение [1]: при лечении депрессии, заболеваний сердечно-сосудистой системы и регуляции иммунных реакций. Исследований по применению соединений лития в области биотехнологии представлено в ограниченном количестве, в частности разработка дезинфицирующих средств [2]. В настоящий момент известно, что соли лития способны проявлять стимулирующее и ингибирующее действия на

микроорганизмы в зависимости от концентрации и питательной среды [3, 4]. Поэтому исследования в данной области являются актуальными и необходимыми для внедрения солей лития в практику биотехнологии.

Целью данного исследования является изучение влияния органических солей лития на микроорганизмы.

Для исследования были использованы штамм ATCC25922 бактерий *Escherichia coli*, штамм ИБФМ В-124 бактерий *Xanthomonas campestris*, штамм 90Т-С4 бактерий *Lactobacillus fermentum* и хлебопекарные дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*. В качестве соединений лития были выбраны соли янтарной, пировиноградной и аскорбиновой кислот в концентрациях, ммоль/л: 1,28; 12,77; 21,28.

Исследование влияния солей лития включало изучение токсичности выбранных соединений, а также жизнеспособности, биохимических показателей микроорганизмов и выхода целевых продуктов.

На 1-м этапе исследовали токсичность выбранных органических солей лития. Для этого предварительно подготавливали суспензии микроорганизмов и плотные питательные среды: для бактерий *Escherichia coli* – мясопептонный агар (МПА); *Xanthomonas campestris* и *Lactobacillus fermentum* – среда Мозера-Рогоза (МРС) с агаром; *Saccharomyces cerevisiae* – мясопептонный агар с сахарозой. Культивирование проводили в термостате WiseCube в течение 24 ч при 37 °С для бактерий *Escherichia coli* и хлебопекарных дрожжей, в течении 72 ч при температуре 37 °С для лактобактерий и 28 °С для *Xanthomonas campestris*. Определение токсичности осуществляли в зависимости от вида микроорганизма: методом диффузных дисков или методом глубинного культивирования.

На 2-м этапе изучали влияние солей лития на жизнеспособность микроорганизмов на жидких питательных средах: мясопептонный бульон (МПБ), МРС, углеводный и физиологический растворы. Жизнеспособность бактерий *Escherichia coli* и *Lactobacillus fermentum* определяли методом спектрофотометрии (УФ-вид спектрофотометр Carry 600) по изменению мутности суспензии в процессе культивиро-

вания через каждые 2 ч. Также подсчитывали количество колониеобразующих единиц методом серийных разведений на МПА для *Escherichia coli* и МРС-агаре для *Lactobacillus fermentum* и *Xanthomonas campestris*. Жизнеспособность хлебопекарных дрожжей определяли по окрашиванию метиленовым синим с помощью камеры Горяева на микроскопе Carl Zeiss Primo Star. Контролем для оценки влияния выбранных соединений служила проба без добавления солей лития.

На 3-м этапе исследовали влияние органических солей лития на биохимические процессы микроорганизмов. Для этого проводили биохимические тесты на определение интенсивности ферментации глюкозы, лактозы, сахарозы, мальтозы и сорбита. Контроль ферментации углеводов осуществляли визуально по изменению окраски культуральной жидкости и значению водородного показателя. Дополнительно изучали влияние солей лития на ферментативную активность хлебопекарных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* с помощью анализатора суммарной ферментативной активности.

На 4-м этапе изучали влияние солей лития на выход целевых продуктов. Для получения ксантана предварительно готовили суспензию культуры *Xanthomonas campestris* и питательную среду МРС. Культивирование проводили в термостате WiseCube в течение 72 ч при 28 °С. Полученную культуральную жидкость отделяли от биомассы, центрифугировали, осаждали 96 % этиловым спиртом и сушили в сухожаровом шкафу Binder FD 53. Количество ксантана определяли методом гравиметрии.

Установлено, что пируват и сукцинат лития не обладают токсичностью в концентрациях от 1,28 до 21,28 ммоль/л на бактерии *Escherichia coli*, при этом аскорбат лития подавляет рост кишечной палочки в представленных концентрациях. Выявлено, что пируват, сукцинат и аскорбат лития не являются токсичными на бактерии *Xanthomonas campestris* и хлебопекарные дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*. Установлено, что пируват лития в концентрации 1,28 ммоль/л не обладает токсичностью на бактерии *Lactobacillus fermentum.* Выявлено, что с увеличением концентрации сукцината и пирувата лития от 1,28 до 21,28 ммоль/л возрастает жизнеспособ-

ность культуры *Escherichia coli* при культивировании на мясопептонном бульоне и физиологическом растворе, при этом аскорбат лития вызывает угнетение роста кишечной палочки. Установлено, что в водной среде с сахарозой и физиологическим раствором возрастает жизнеспособность хлебопекарных дрожжей с увеличением концентрации пирувата и сукцината лития. Обнаружено, что в водной среде с глюкозой и мальтозой в концентрации 1,28 ммоль/л выбранных органических солей наблюдается увеличение жизнеспособности *Saccharomyces cerevisiae*. Установлено, что добавление сукцината и пирувата лития приводит к ускорению сбраживания глюкозы, лактозы и сорбита бактериями *Escherichia coli* от 1,5 до 2,5 раза в зависимости от субстрата и питательной среды. Выявлено, что добавление пирувата, сукцината и аскорбата приводит к ускорению процессов сбраживания сахарозы, глюкозы и мальтозы дрожжами *Saccharomyces cerevisiae*. Обнаружено, что суммарная ферментативная активность *Saccharomyces cerevisiae* увеличивается с повышением концентрации выбранных органических солей лития в диапазоне от 1,28 до 21,28 ммоль/л в водной среде с сахарозой.

Список литературы

1. Lithium response in bipolar disorders and core clock genes expression / P.A. Geoffroy, E. Curis, C. Courtin [et al.] // World J. Biol. Psychiatry. – 2017. – Vol. 16. – P. 1–34.
2. Aqueous lithium chloride solution as a non-toxic bactericidal and fungicidal disinfectant for air-conditioning systems: Efficacy and mechanism / Y. Gu, K. Zhong, R. Cao, Z. Yang // Environ Res. – 2022. – Vol. 212, № 1. – P. 113112.
3. Lithium Toxicity and $Na^+(Li^+)/H^+$ Antiporter in *Escherichia coli* / K. Inaba, T. Kuroda, T. Shimamoto, T. Kayahara, M. Tsuda, T. Tsuchiya // Biol Pharm Bull. – 1994. – Vol. 17, № 3. – P. 395–398.
4. Influence of lithium salt on *Escherichia coli* growth and viability / A. Chernova, D. Pukhniarskaia, M. Biryukov, E. Plotnikov // Industrial Biotechnology. – 2022. – Vol. 18, № 1. – P. 32–37.

Об авторах

Пухнярская Дарья Сергеевна – студентка магистратуры отделения химической инженерии Инженерной школы природных ресурсов, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, e-mail: dariapuh_99@mail.ru

Чернова Анна Павловна – кандидат химических наук, доцент отделения химической инженерии Инженерной школы природных ресурсов, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, e-mail: apa2004@mail.ru

УДК 631.879.2

Е.В. Рассохина, А.А. Векшин, М.Ю. Дягелев

ПОЧВЕННАЯ УТИЛИЗАЦИЯ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД

В работе представлен небольшой обзор проблемы обращения с осадком сточных вод. Из-за растущего количества осадка – порядка 170 кг в сутки на 1000 жителей, его складирование становится с каждым днем определенной проблемой как для очистных сооружений, так и для муниципалитета. В качестве метода утилизации авторами рассматривается компостирование осадков сточных вод с последующим получением почвогрунтов.

Ключевые слова: осадок сточных вод, обезвоживание, почвогрунт, гумус, стабилизация осадка, компостирование.

E.V. Rassokhina, A.A. Vekshin, M.Yu. Dyagelev

SOIL DISPOSAL OF SEWAGE SLUDGE

This paper presents a small overview of the problem of sewage sludge handling. Because of the increasing amount of sludge – about 170 kilograms per day per 1000 inhabitants – its storage is becoming a certain problem for both the sewage treatment plants and the municipality every day. The authors consider the composting of sewage sludge and the subsequent production of soils as a disposal method.

Keywords: sewage sludge, dewatering, soil, humus, sludge stabilization, composting.

Население мира быстро растет, так, с 1992 по 2018 г. количество жителей увеличилось с 5,3 млрд до 7,6 млрд, и, по прогнозам, к 2050 г. увеличится до 9,9 млрд. Этот демографический рост приведет к увеличению потребления воды во всем мире и, соответственно, к увеличению объема сточных вод, а также к увеличению объема осадков сточных вод, которые составляют около 0,3–0,5 % от количества сточных вод [1, 2]. Осадки сточных вод (ОСВ) являются побочным продуктом процессов очистки сточных вод после разделения твердых и жидких веществ на очистных сооружениях сточных вод (ОССВ). Количество образующегося ила и его состав зависят от характеристик используемого процесса очистки поступающих и сточных вод.

Безопасная утилизация осадка сточных вод является серьезной экологической проблемой во всем мире. Нанесение ила на землю после надлежащей обработки поможет повысить устойчивость сельскохозяйственного производства за счет рециркуляции питательных веществ обратно в почву и подготовки их к растениям. Внесение переработанного ОСВ в виде удобрений в почву представляет собой стратегию управления, которая компенсирует дефицит питательных веществ и улучшает свойства почвы, поскольку переработанный ОСВ имеет множество преимуществ при использовании его в сельскохозяйственных целях. ОСВ в этом случае используется как источник азота, фосфора и органических веществ [3, 4]. Кроме того, содержание органического углерода в почве с ОСВ может быть в три раза выше, чем в почве с неорганическими удобрениями, что делает ее хорошим материалом для кондиционирования почвы.

С другой стороны, на сегодняшний день ОСВ в большинстве ОССВ России хранится на свалках и очистных сооружениях, потому что до недавнего времени метод хранения был наиболее часто используемым способом его утилизации. Это связано с тем, что для повторного использования осадок сточных вод должен соответствовать всем законодательным требованиям для обеспечения экологической безопасности. Его использование не должно представлять опасности для воды, почвы, воздуха, растений, животных и не создавать запахов или других загрязняющих веществ окружающей среды.

Для выбора подходящего метода и производства новых альтернативных продуктов рекомендуется использовать наилучшие доступные технологии. Одним из способов утилизации ОСВ является его использование в почвенной утилизации.

На рисунке представлена классификация методов почвенной утилизации осадка сточных вод. ОСВ может использоваться в качестве удобрения для выращивания сельскохозяйственных культур как для потребления человеком, так и для производства кормов. Также отходы используются для рекультивации, мелиорации почв и озеленения [5].

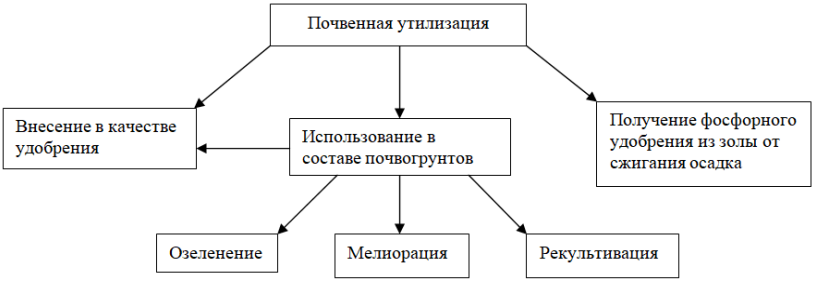


Рис. Классификация методов почвенной утилизации

Использование ОСВ в качестве почвенной утилизации регулируется следующими федеральными законодательными актами:

– ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 «Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений» (переиздан в 08.2008);

– СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий».

Основной упор в российском законодательстве делается на содержание в ОСВ тяжелых металлов и патогенов, т.к. в большинстве сильно урбанизированных и промышленных районов ОСВ может содержать высокие концентрации Ni, Pb, Zn, Cd и Cr, Cu, Hg [1]. При постоянном применении ОСВ в качестве удобрения тяжелые металлы могут накапливаться как в почве, так и в пищевой цепи, вызывая фитотоксические воздействия и угрожая здоровью человека и окружающей среде. Металлы в основном присутствуют в форме карбонатов или сульфидов, причем значительное количество металлов связано с органическими соединениями. Их поведение и биодоступность в модифицированных почвах сильно зависят от их состава, физико-химических свойств ОСВ и почвы. Обработка ОСВ может привести к увеличению биодоступности металлов

или изменению фракций металлов в почве с течением времени из-за разложения менее растворимых видов тяжелых металлов, таких как сульфиды или органические комплексы. Для нормирования и оценки пригодности ОСВ для использования в качестве удобрения необходимо определить концентрацию тяжелых металлов в ОСВ.

Для применения ОСВ в качестве удобрений необходимо стабилизировать ОСВ, т.е. окислить нестабильные органические вещества. Существует несколько подвидов стабилизации, одним из них является компостирование [5]. Процесс компостирования представляет собой контролируемое аэробное разложение органических отходов с помощью ферментативной активности микроорганизмов. Процесс компостирования обеспечивает различные экономические и экологические выгоды при оценке с точки зрения процесса и продукта. Хотя все органические отходы можно компостировать, некоторые органические отходы могут превращаться в качественные продукты только путем совместного компостирования из-за их физико-химических свойств. Добавление поправочных материалов во время компостирования может создать синергетический эффект при стабилизации отходов.

Компостирование является оптимальной технологией подготовки осадка к приготовлению почвогрунта. Результатом данного метода является получение стабилизированного осадка, не содержащего крупных включений.

Осадок используется как компонента почвогрунтов, обеспечивающая, прежде всего, органическое вещество и питательные свойства. Почвогрунты используются при озеленении и рекультивации. Учитывая, что в почве содержание органического вещества, как правило, не превышает 10 %, доля осадка в почвогрунте не должна быть выше 20 %. В качестве остальных компонентов используются песок, глина, щепа и другие добавки.

Список литературы

1. Мерзлая Г.Е. Проблемы использования органических отходов в агрикультуре // Экологический вестник Северного Кавказа. – 2015. – Т. 11, № 1. – С. 40–50.

2. Технологии очистки сточных вод малых населенных пунктов: модели и методики расчета / А.М. Непогодин, М.Ю. Дягелев, А.А. Абрамова, А.М. Пантюхина; Ижев. гос. техн. ун-т им. М.Т. Калашникова. – Ижевск, 2021. – 75 с.

3. Кириллов Н.А., Фадеева Н.А. Перспективы использования осадков сточных вод для повышения продуктивности малогумусных почв // Экологический вестник Северного Кавказа. – 2015. – Т. 11, № 1. – С. 79–83.

4. Белоногова П.И., Дягелев М.Ю. Малоотходные технологии биологической очистки сточных вод // Экология и безопасность техносфере: современные проблемы и пути решения: сборник трудов Всеросс. науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов, Томск, 23–25 ноября 2017 года / Юргинский технологический институт. – Томск, 2017. – С. 143–145.

5. Анализ и обоснование методов обезвреживания и утилизации осадков сточных вод биологических очистных сооружений / И.С. Гуляева, М.С. Дьяков, Я.Н. Савинова, В.А. Русакова, И.С. Глушанкова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. – 2012. – № 2. – С. 18–32.

Об авторах

Рассохина Евгения Вадимовна – магистрант кафедры «Водоснабжение и водоподготовка», Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, e-mail: zhenyaras1204@mail.ru

Векшин Антон Андреевич – магистрант кафедры «Водоснабжение и водоподготовка», Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, e-mail: tony.vekshin@mail.ru

Дягелев Михаил Юрьевич – доцент кафедры «Водоснабжение и водоподготовка», Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, e-mail: m.yu.dyagelev@istu.ru

УДК 579.22

В.И. Сагидуллина, А.В. Ахова, А.Г. Ткаченко

ПОДБОР ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ РЕАКЦИИ БИОКОНВЕРСИИ ЛИЗИНА В КАДАВЕРИН С ПРИМЕНЕНИЕМ ФЕРМЕНТНЫХ БИОКАТАЛИЗАТОРОВ

Исследовано влияние условий проведения ферментативной реакции на лизиндекарбоксилазную активность бесклеточных экстрактов природного изолята *Escherichia coli* N48. Подобраны оптимальные условия, обеспечивающие наиболее быструю и полную конверсию лизина в кадаверин с применением ферментных биокатализаторов.

Ключевые слова: кадаверин, лизин, лизиндекарбоксилаза, биокатализатор.

V.I. Sagidullina, A.V. Akhova, A.G. Tkachenko

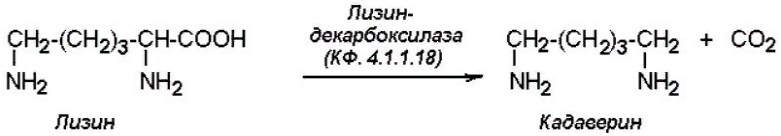
OPTIMIZATION OF REACTION CONDITIONS FOR BIOCONVERSION OF LYSINE TO CADAVERINE USING ENZYMATIC BIOCATALYSTS

The influence of the conditions of the enzymatic reaction on the lysine decarboxylase activity of cell extracts of the natural *Escherichia coli* isolate N48 was studied. The optimal conditions to provide the fastest and the most complete conversion of lysine to cadaverine using enzyme biocatalysts have been selected.

Keywords: cadaverine, lysine, lysine decarboxylase, biocatalyst.

Биокатализаторы – это биологически активные вещества, ускоряющие биохимические реакции. В промышленности в качестве биокатализаторов применяются цельные клетки или выделенные ферменты. Ферментные биокатализаторы могут быть получены из клеток животных и растений, однако их основным источником являются клетки микроорганизмов [1]. Сферы применения ферментных биокатализаторов разнообразны. В частности, может быть разработан биотехнологический способ получения сырья для производства полиамидов марки PA 5X с использованием ферментных биокатализаторов на основе лизиндекарбоксилазы. Такие полиамиды благодаря своей прочности и легкости могут служить основой для конструкционных материалов в машиностроении и авиастроении [2].

Биокатализаторы на основе лизиндекарбоксилазы могут быть использованы для получения кадаверина посредством реакции декарбоксилирования лизина [2].



Известно, что способность декарбоксилировать лизин широко распространена среди представителей семейства *Enterobacteriaceae*, в частности, в клетках *Escherichia coli* лизиндекарбоксилаза представлена двумя формами – конститутивной и индуцибельной, проявляющими максимальную активность при определенных значениях pH, равных 7,5 и 5,5 соответственно [2].

Целью данного исследования является подбор оптимальных условий реакции биотрансформации лизина в кадаверин с применением лизиндекарбоксилаз, выделенных из клеток *E. coli*.

В качестве источника высокоактивных лизиндекарбоксилаз использован природный изолят *E. coli* N48, выделенный от животных фермерских хозяйств Пермского края.

Бактериальные клетки культивировали в ранее подобранных оптимальных условиях, способствующих активации лизиндекарбоксилаз. Культивирование осуществляли в колбах Эрленмейера, содержащих 40 мл LB бульона. Для активации конститутивной лизиндекарбоксилазы культивирование проводили в среде с pH 7,4 при температуре 37 ºС без перемешивания до поздней стационарной фазы роста. Культивирование в среде с pH 5,0 при температуре 37 ºС без перемешивания до экспоненциальной фазы роста способствовало активации индуцибельной лизиндекарбоксилазы.

Дезинтеграцию клеток для получения бесклеточных экстрактов осуществляли с помощью ультразвуковой обработки [3].

Концентрацию белка в бесклеточных экстрактах определяли по методу Лоури [4].

Ферментативную реакцию проводили в микропробирках объемом 2 мл, содержащих экстракт с концентрацией белка 200 мг/л, пиридоксальфосфат, дитиотрейтол и лизин. Смесь инкубировали в

цитратно-фосфатном буфере в течение 30 мин и останавливали реакцию путем добавления хлорной кислоты. Для определения оптимальных условий биоконверсии аминокислоты варьировали такие параметры, как температура (25, 37 и 50 ºС), pH среды (3, 4, 5, 6, 7 и 8), интенсивность перемешивания (0 и 400 об/мин) и концентрация субстрата (1, 10, 100 и 300 мМ).

Удельную активность лизиндекарбоксилазы определяли по количеству нмоль кадаверина, образуемого 1 мг белка в мин.

Для определения концентрации образующегося в реакционной смеси кадаверина проводили его дериватизацию дансилхлоридом [5]. В микропробирках объемом 2 мл смешивали раствор пробы, дансил хлорида и карбоната натрия в соотношении 1 : 2 : 1. Инкубировали реакционную смесь в течение 2 ч в термостате при T = 37 ºС. По окончании реакции смесь выпаривали и экстрагировали бензолом. Далее проводили тонкослойную хроматографию дансил-кадаверина. Количественный анализ кадаверина проводили методом внешнего стандарта.

Задачей исследования явился подбор оптимальных условий проведения ферментативной реакции, обеспечивающих наиболее быструю и полную трансформацию лизина в кадаверин с применением ферментных биокатализаторов на основе лизиндекарбоксилаз.

При оценке влияния pH среды ферментативной реакции на лизиндекарбоксилазную активность использовали экстракты клеток, выращенных при двух режимах культивирования. Диапазон значений pH среды ферментативной реакции варьировали от 3,0 до 8,0. Ферментативная активность в обоих типах экстрактов отсутствовала в кислой среде с pH равным 3,0. Для бесклеточных экстрактов, полученных при культивировании клеток с pH питательной среды равным 7,4, максимальная лизиндекарбоксилазная активность достигалась при pH среды ферментативной реакции равным 7,0. При использовании экстрактов клеток, выращенных при pH 5,0, ферментативная активность достигала своего наибольшего значения при pH реакции 5,0, после чего снижалась по мере смещения pH в щелочную сторону.

При оценке влияния температуры ферментативной реакции на лизиндекарбоксилазную активность постановку реакции осуще-

ствляли в цитратно-фосфатном буфере с оптимальным значением pH для данного типа экстракта (pH 7,5 или 5,5). В ходе исследования было выявлено незначительное повышение активности в системе с pH 7,5 по мере увеличения температуры от 25 до 50 ºС. Для ферментативной реакции с pH 5,5 активность возрастала в два раза с увеличением температуры от 25 до 37 ºС, но снижалась при повышении температуры до 50 ºС.

Для оценки влияния перемешивания на ферментативную активность постановку реакции также проводили при pH цитратно-фосфатного буфера 7,5 или 5,5 и двух режимах перемешивания: 0 и 400 об/мин с использованием орбитального шейкера для микропробирок TTS2 (IKA, США). В данном случае лизиндекарбоксилазную активность измеряли по истечении 0,5, 1, 2, 4 и 24 ч ферментативной реакции. Максимальная ферментативная активность достигалась на первоначальных этапах конверсии аминокислоты, после чего снижалась с течением времени вне зависимости от режима перемешивания.

Для оптимизации полноты конверсии лизина в кадаверин варьировали концентрацию субстрата в реакционной смеси с pH 7,5 или 5,5. Лизиндекарбоксилазная активность при pH 7,5 увеличивалась при возрастании концентрации субстрата от 1 мМ до 300 мМ. При pH реакции равном 5,5 ферментативная активность также возрастала по мере увеличения концентрации субстрата в среде, но достигала своего максимума при 100 мМ лизина.

В результате исследования подобраны оптимальные условия проведения ферментативной реакции для 2 видов бесклеточных экстрактов. Для экстракта, полученного из клеток, выращенных при pH 7,4, максимальная эффективность биоконверсии лизина в кадаверин может быть достигнута при проведении ферментативной реакции в среде с нейтральным pH без перемешивания при 37 ºС и концентрации субстрата 300 мМ. Экстракты клеток, выращенных при pH 5,0, проявляли максимальную лизиндекарбоксилазную активность при pH ферментативной реакции 5,0, концентрации субстрата 100 мМ, температуре 37 ºС в отсутствие перемешивания.

Работа выполнена в рамках государственного задания, номер госрегистрации темы АААА-А19-119112290009-1.

Список литературы

1. Biocatalysts: application and engineering for industrial purposes / S. Jemli [et al.] // Critical reviews in biotechnology. – 2016. – Vol. 36, № 2. – С. 246–258.

2. Advances in cadaverine bacterial production and its applications / Ma W. [et al.] // Engineering. – 2017. – Vol. 3, № 3. – С. 308–317.

3. Применение ультразвуковой дезинтеграции для выделения лизиндекарбоксилаз из клеток *Escherichia coli* / А.В. Ахова, В.И. Сагидуллина, Р.А. Хасанова, А.Г. Ткаченко // Вестник ПНИПУ. – 2021. – № 2. – С. 7–16.

4. Protein measurement with Folin phenol reagent / O.H. Lowry, N.J. Rosebrough, A.L. Farr, R.J. Randall // J. Biol. Chem. – 1951. – Vol. 193, № 1. – С. 265–275.

5. Чудинов А.А., Чудинова Л.А., Коробов В.П. Метод определения низкомолекулярных олигоаминов в различном биологическом материале // Вопросы медицинской химии. – 1984. – № 4. – С. 127–132.

Об авторах

Сагидуллина Вероника Илнуровна – студентка магистратуры кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: veronikabarda@mail.ru.

Ахова Анна Викторовна – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории адаптации микроорганизмов, Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН; доцент кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: akhovan@mail.ru

Ткаченко Александр Георгиевич – доктор медицинских наук, заведующий лабораторией адаптации микроорганизмов, Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН, e-mail: agtkachenko@iegm.ru

УДК 579.23

З.Ю. Самойлова, Л.В. Сутормина,
Г.В. Смирнова, О.Н. Октябрьский

ПРОТИВОМИКРОБНЫЕ ЭФФЕКТЫ ЭКСТРАКТОВ КОРМОВЫХ ТРАВ В ОТНОШЕНИИ ШТАММОВ *ESCHERICHIA COLI* – ВОЗБУДИТЕЛЕЙ ПТИЧЬЕГО КОЛИБАЦИЛЛЕЗА

В работе приводятся результаты оценки противомикробной активности экстрактов кормовых трав *Galega orientalis* и *Rhaponticum carthamoides* в отношении лабораторного безопасного штамма *Escherichia coli* BW25113 и штаммов *E.coli* – возбудителей птичьего колибациллеза.

Ключевые слова: патогенные штаммы *Escherichia coli*, кормовые травы, биопленки.

Z.Yu. Samoilova, L.V. Sutormina,
G.V. Smirnova, O.N. Oktyabrsky

ANTIMICROBIAL EFFECTS OF FODDER GRASSES EXTRACTS AGAINST AVIAN PATHOGENIC *ESCHERICHIA COLI* STRAINS

The aim of this work was to evaluate antibacterial potential of extracts from fodder grasses *Galegaorientalis* and *Rhaponticum carthamoides* and commercial preparation Tentorium® against avian pathogenic *Escherichia coli* (APEC) strains comparing effects of these plant substances against non-pathogenic laboratory *E. coli* BW25113.

Keywords: plant extracts, APEC strains, biofilms.

Значительные финансовые потери в птицеводстве связаны с гибелью птицы в результате инфекций, возбудителями которых являются патогенные штаммы *Escherichia coli* [1, 2]. В связи с этим высокую актуальность имеют разработки препаратов, препятствующих распространению таких инфекций и подавляющих их развитие. Известно, что разработка и испытание новых антибиотиков представляет собой длительный дорогостоящий процесс, в ходе которого в окружающей среде уже формируются резистентные сообщества микроорганизмов. Кроме того, нежелательным следствием кормления птицы антибиотиками является попадание моле-

кул антибиотика в пищу человека. Поэтому перспективным подходом может быть скрининг веществ растительного происхождения, обладающих противомикробным действием и не представляющих опасности для человеческого организма. Кормовые травы *G. Orientalis* (козлятник восточный) и *R. Carthamoides* (левзея сафлоровидная) активно выращиваются на территории Азии, Европы и Западной Африки и уже зарекомендовали себя в качестве высокоурожайных, питательных культур с высокими антиоксидантными и иммуномодулирующими показателями [3, 4].

Целью данной работы явилась оценка противомикробного действия полифенол-содержащих экстрактов указанных трав по отношению к патогенным и лабораторным штаммам *Escherichia coli*.

В качестве лабораторного штамма использовали безопасный непатогенный штамм *E. coli* BW25113 из коллекции Keio [5]. Штаммы-возбудители птичьего колибациллеза *E. coli* № 29, № 43 и № 45 были предоставлены д.б.н. М.В. Кузнецовой [6]. Получение экстрактов из сырья *R. carthamoides* и *G. orientalis* детально изложены в источнике [7]. Экстракт травы *R. Carthamoides* сухой водорастворимый (далее обозначаемый Tentorium®) был предоставлен Пермским НИИСХ – ООО «Тенториум». Культивирование бактериальных штаммов проводили в 96-луночных полистироловых планшетах со средой M9 с добавлением 4 г/л глюкозы при температуре 37 ^{o}C. Действующие дозы составили 100 мкг/мл для *R. carthamoides* и *G. Orientalis* (контролем служил растворитель диметилсульфоксид, ДМСО) и 300 мкг/мл для Tentorium® (в качестве контроля использовали стерильную воду). Изменения оптической плотности оценивали с помощью планшетного спектрофотометра xMark™ (Bio-Rad, США) через 22 ч инкубации.

Интенсивность биопленкообразования оценивали с помощью окрашивания генцианвиолетом. Выживаемость оценивали методом высева аликвот десятикратных разведений на чашки Петри со стерильной агаризованной средой LB.

Как видно на рисунке, *а*, испытуемые экстракты не оказывали существенного влияния на показатель оптической плотности бактериальных культур через 22 ч инкубации в полистироловых планшетах. При этом они значительно снижали способность штам-

мов к образованию биопленок в 2–4 раза (рисунок, *б*). Кроме того, в присутствии испытуемых экстрактов наблюдалось снижение выживаемости как в планктонных культурах (рисунок, *в*), так и в биопленках (рисунок, *г*).

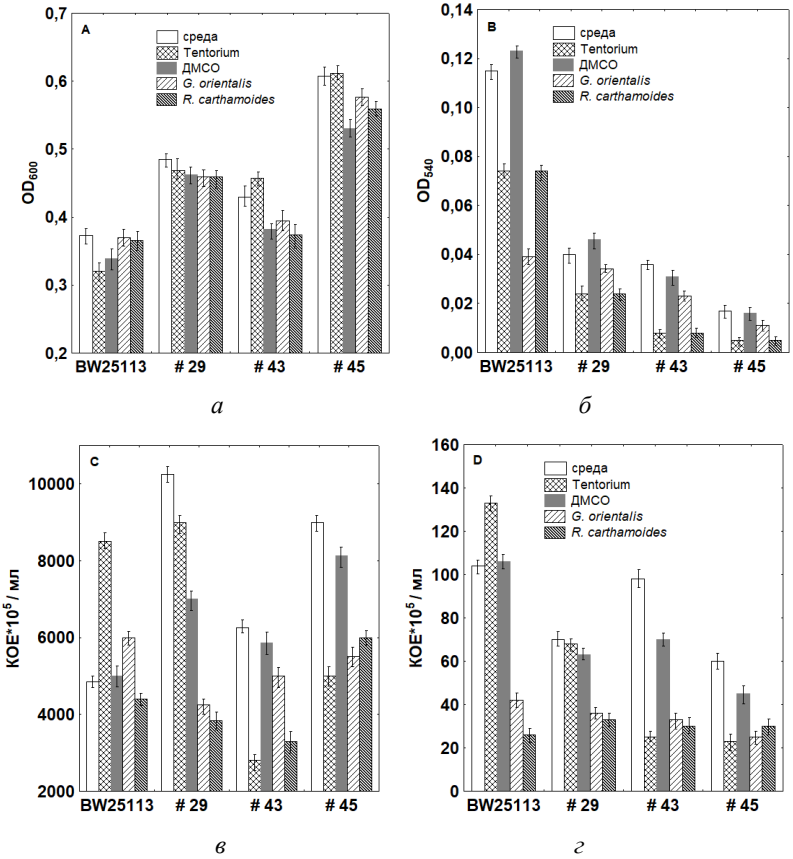


Рис. Эффекты экстрактов на бактериальные штаммы через 22 ч инкубации: *а* – на оптическую плотность (OD_{600}); *б* – валовое биопленкообразование (OD_{540}); *в* – выживаемость планктонных культур; *г* – выживаемость культур в составе биопленок

Примечательно, что обнаруженные противомикробные свойства испытуемых экстрактов были более выражены по отношению к

патогенным изолятам. В целом, полученные результаты указывают на перспективность использования кормовых трав *R. carthamoides* и *G. orientalis* в качестве источников противомикробных препаратов, препятствующих распространению штаммов *E. coli* – возбудителей птичьего колибациллеза.

В настоящее время проводится изучение механизмов наблюдаемых эффектов.

Работа выполнена в соответствии с госзаданием АААА-А19-119112290009-1.

Список литературы

1. Isolation, molecular characterization, and antibiotic resistance of avian pathogenic *Escherichia coli* in Eastern China / D.J.A. Afayibo, H. Zhu, B. Zhang, L., Yao H.A. Abdelgawad, M. Tian, J. Qi, Y. Liu, S. Wang // Vet Sci. – 2022. – Vol. 7. – P. 319.

2. Polyphenolic phytochemicals as natural feed additives to control bacterial pathogens in the chicken gut / A. Al-Mnaser, M. Dakheel, F. Alkandari, M. Woodward // Arch Microbiol. – 2022. – Vol. 204. – P. 253.

3. A total content of phenolic compounds in the ethanol extracts of *Galega officinalis L.* and *G. orientalis Lam.* / O. Shymanska, O. Vergun, D. Rakhmetov, J. Brindza, E. Ivanišová // Abstract in Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health and Life Quality. – 2018. – № 2.

4. Kokoska L., Janovska D. Chemistry and pharmacology of *Rhaponticum carthamoides*: a review // Phytochem – 2009. – Vol. 70. – P. 842–855.

5. Construction of *Escherichia coli* K-12 in-frame, single gene knockout mutants: the Keio Collection / T. Baba, T. Ara, M. Hasegawa, Y. Takai, Y. Okumura, M. Baba, K.A. Datsenko, M. Tomita, B.L. Wanner, H. Mori // Mol Syst Biol. – 2006. – Vol. 2. – P. 2006.0008.

6. *Escherichia coli* isolated from cases of colibacillosis in Russian poultry farms (Perm krai): sensitivity to antibiotics and bacteriocins / M.V. Kuznetsova, J.S. Gizatullina, L.Y. Nesterova, M. Starčič Erjavec // Microorganisms. – 2020. – Vol. 8. – P. 741.

7. Study of antioxidant activity of fodder grasses using microbial test systems / Z. Samoilova, G. Smirnova, K. Bezmaternykh, A. Tyulenev, N. Muzyka, V. Voloshin, G. Maysak, O. Oktyabrsky // J. Appl. Microbiol. – 2022. – Vol. 132. – P. 3017–3027.

Об авторах

Самойлова Зоя Юрьевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии и генетики микроорганизмов, Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиал ПФИЦ, e-mail: samzu@mail.ru

Сутормина Любовь Валерьевна – аспирант, младший научный сотрудник лаборатории молекулярной иммунологии, Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиал ПФИЦ, e-mail: lyubov-sutormina@mail.ru

Смирнова Галина Васильевна – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физиологии и генетики микроорганизмов, Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиал ПФИЦ, e-mail: smirnova@iegm.ru

Октябрьский Олег Николаевич – доктор биологических наук, заведующий лабораторией физиологии и генетики микроорганизмов, Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиал ПФИЦ, e-mail: oktyabr@iegm.ru

УДК 628.38 + 628.336.7

Л.А. Саникович, Н.Б. Ходяшев

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ СКЛАДИРОВАНИЯ ОТРАБОТАННОГО АКТИВНОГО ИЛА И ОТДЕЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЕГО УТИЛИЗАЦИИ

Рассмотрены ключевые последствия складирования осадков сточных вод на иловых площадках, их воздействие на окружающую среду и здоровье человека. Даны основные характеристики некоторых способов утилизации избыточного активного ила, их особенности, преимущества и недостатки. Выделены приоритетные методы утилизации в зависимости от состава отработанного активного ила.

Ключевые слова: осадки сточных вод, отработанный активный ил, методы утилизации, загрязняющие вещества.

L.A. Sanikovich, N.B. Khodyashev

ECOLOGICAL DANGER OF STORAGE OF SPENT ACTIVATED SLUDGE AND SEPARATE DIRECTIONS OF ITS DISPOSAL

The article discusses the key consequences of storing sewage sludge on silt sites, their impact on the environment and human health. The main characteristics of some methods of disposal of excess activated sludge, their features, advantages and disadvantages are given. Priority disposal methods are identified depending on the composition of the spent activated sludge.

Keywords: sewage sludge, spent activated sludge, disposal methods, pollutants.

Биологическая система очистки промышленных сточных вод подразумевает использование активного ила – смеси микроорганизмов, с адсорбированными и частично окисленными взвешенными, коллоидными и растворимыми органическими веществами. Отработанный ил является высоковлажной суспензией коллоидного типа органического происхождения, обладающей плохой водоотдачей. Данный отход биологической очистки стоков выводится из установки очистки в виде избыточного активного ила (ИАИ) и в

настоящее время практически не утилизируется. Чаще всего такой отход подвергается стабилизации, уплотнению и сушке с последующим депонированием (захоронением на полигонах) [1].

Однако данный метод не соответствует современным экологическим требованиям. Так, по данным ООО «Новогор-Прикамье», основными загрязняющими веществами от илонакопителя № 10 г. Перми, где складируются осадки городских и промышленных сточных вод, являются: предельные углеводороды (C_{12}–C_{19}), аммиак, фенол, диоксид азота, формальдегид, сероводород, оксид азота (II), метантиол и этантиол (таблица).

Ранжирование загрязняющих веществ по валовому выбросу

Код	Вещество	Фактический выброс, г/с	ПДВ, г/с	Класс опасности	Вклад, %	Ранг
0301	Азота диоксид	0,000582	0,000781	3	1,57	4
0303	Аммиак	0,010596	0,012543	4	31,72	2
0304	Азота (II) оксид	0,000410	0,000625	3	0,25	7
1715	Метантиол (Метилмеркаптан)	0,000017	0,000020	4	0,03	8
0333	Сероводород	0,000115	0,000120	2	0,35	6
2754	Углеводороды предельные C_{12}–C_{19}	0,021138	0,026543	4	60,24	1
1071	Фенол	0,003838	0,011710	2	5,07	3
1325	Формальдегид	0,000281	0,000390	2	0,76	5
1728	Этантиол (Этилмеркаптан)	0,0000018	0,000002	3	0,01	9

По усредненным данным, за последние 5 лет фактический выброс указанных веществ не превышает ПДВ (предельно допустимый выброс), однако значения практически по всем загрязнителям близки к границе нормы. Кроме того, в состав загрязняющих веществ входят 3 соединения 2-го класса опасности, среди которых имеются канцерогенные вещества – фенол и формальдегид.

Ключевые загрязнители вызывают общетоксический эффект и оказывают наибольшее влияние на органы дыхания, почки и печень человека [2]. Кроме того, запахи в атмосферном воздухе связаны с тем, что для некоторых веществ (например, метилмеркаптан и этимеркаптан) пороги запаха ниже ПДК.

Таким образом, крупнотоннажность образующегося отхода и его негативное воздействие на окружающую среду обосновывают актуальность утилизации отходов систем биологической очистки городских и промышленных сточных вод. Необходимым условием является получение востребованного продукта, который позволит решить экологические задачи систем очистки городских сточных вод и предприятий.

При выборе того или иного метода для утилизации специфического отхода важную роль играют следующие факторы: состав сточных вод и образующегося осадка; объем отходов; возможность вторичного использования продуктов утилизации, рентабельность метода [1]. Кратко рассмотрим основные методы, при использовании которых могут быть получены продукты вторичного использования.

Во-первых, из отработанного активного ила могут быть получены органо-минеральные удобрения. Метод заключается в реагентной обработке осадков сточных вод с последующим компостированием смеси. Например, в качестве реагентов используется комплекс, содержащий оксид кальция, низинный торф и др. Однако многие осадки предприятий содержат значительное количество тяжелых металлов и нефтепродуктов, способных оказывать негативное влияние на естественные процессы почвообразования. Требования к полученным удобрениям устанавливаются техническими условиями ГОСТ Р 54651-2011. В связи с этим для получения удобрений необходимо внедрение различных физических, химических, термических и биотермических методов обеззараживания активного ила. Однако чаще всего указанные способы оказываются либо неэффективными, либо экономически необоснованными [1].

Во-вторых, отработанный активный ил может стать сырьем для изготовления адсорбционных материалов, обладающих способностью к селективному извлечению ионов тяжелых металлов из стоков и взвешенных веществ [3]. Преимуществами такой технологии являются низкая стоимость производства, минимальные транспортные расходы, что существенно уменьшает себестоимость очистки воды. Однако, учитывая крупнотоннажность ИАИ, данный метод полностью не решит проблемы утилизации осадка.

В-третьих, использование избыточного активного ила в строительстве позволяет утилизировать компоненты, загрязненные тяжелыми металлами. Отход применяют при приготовлении бетонной смеси, т.к. ил обеспечивает подвижность бетона и способствует его стабилизации. Данный способ позволяет экономично реализовывать утилизацию активного ила без использования дорогостоящего оборудования. Однако его применение на практике не является до конца обоснованным, поскольку миграция токсичных компонентов смеси с течением времени полностью не изучена [1].

В-четвертых, реализуется технология получения биофлокулянта на основе внеклеточных полимерных веществ, продуцируемых клетками избыточного активного ила [4]. Полученный порошок обеспечивает эффективную очистку сточных вод от минеральных и органических веществ. Однако указанный способ включает в себя множество технически трудоемких стадий, поэтому применять его не всегда целесообразно.

Наконец, перспективно использование ИАИ в качестве препарата для очистки почв и грунтов от нефтезагрязнений [5]. Активный ил, адаптированный к окислению углеводородов нефти, может быть эффективным биопрепаратом деструктором углеводородов нефти. Такая технология позволит в определенных рамках снизить цену на биопрепараты для ремедиации почв, а также будет способствовать утилизации многотоннажного отхода.

Таким образом, в зависимости от состава отработанного активного ила целесообразно применять различные методы его утилизации. Отходы хозяйственно-бытовых сточных вод, пищевых производств и различных сельскохозяйственных предприятий могут использоваться в производстве органо-минеральных удобрений, поскольку они практически не содержат примесей соединений тяжелых металлов. Для нефтеперерабатывающих и ряда предприятий органического синтеза целесообразно применять технологии в совокупности. Например, часть отходов использовать в качестве биопрепаратов для ремедиации почв, другую часть – для получения биофлокулянтов. Выбор конкретного соотношения методов обусловлен рентабельностью, экологической безопасностью и востребованностью получаемых продуктов.

Список литературы

1. Туровский И.С. Осадки сточных вод. Обезвоживание и обеззараживание. – М.: ДеЛи Принт, 2008. – 375 с.

2. Р 2.1.10.1920-04. 2.1.9. Состояние здоровья населения в связи с состоянием окружающей природной среды и условиями проживания населения. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Федер. центр госсанэпиднадзора Минздрава России. – М., 2004. – 143 с.

3. Патент № 2542259C1 Российская федерация, B01J 20/10. Способ получения сорбента / А.А. Войтюк, Е.В. Москвичева, А.А. Сахарова, А.А. Войтюк. – № 2013146300/05; заявл. 16.10.13, опубл. 20.02.15 [Электронный ресурс]. – URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2542259C1_20150220 (дата обращения: 09.01.2023).

4. Патент № 2757010C1 Российская федерация, МПК CO2F 1/36. Способ получения биофлокулянта из избыточного активного ила / Ж.В. Васильева, А.С. Тришина, патентообладатель ФРАОУ ВО «МГТУ». – № 2021101700; заявл. 26.01.21, опубл. 08.10.21 [Электронный ресурс]. – URL: https://patenton.ru/patent/RU2757010C1 (дата обращения: 03.01.2023).

5. Очистка почвы с использованием активного ила / Б.С. Ксенофонтов, А.С. Козодаев, Р.А. Таранов, М.С. Виноградов // Экология и промышленность России. – 2021. – Т. 25, № 10. – С. 10–14.

Об авторах

Саникович Любовь Андреевна – студентка кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский, политехнический университет, e-mail: lyuba.sanikovich@yandex.ru

Ходяшев Николай Борисович – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский, политехнический университет, e-mail: nhodyashev@yandex.ru

УДК 579.64

К.Г. Семенова, Ю.Г. Максимова

ФОСФАТМОБИЛИЗУЮЩИЕ И ФИТАЗОПРОДУЦИРУЮЩИЕ БАКТЕРИИ СОДОВОГО ШЛАМОХРАНИЛИЩА

Выделены культуры микроорганизмов, мобилизующих фосфор из нерастворимых органических и неорганических его соединений. Отобраны наиболее активные изоляты в качестве перспективы для создания биопрепаратов. Сравнение культур бактерий проводили на основе результатов определения показателей: динамика высвобождения неорганического фосфора; активность ферментов щелочной фосфатазы и фитазы для фосфатмобилизующих и фитатгидролизующих микроорганизмов соответственно.

Ключевые слова: питание растений, нерастворимые соединения фосфора, фосфатмобилизующие и фитатгидролизующие бактерии, щелочная фосфатаза, фитаза, высаливание белка, иммобилизация фермента.

K.G. Semenova, Yu.G. Maksimova

PHOSPHATE-MOBILIZING AND PHYTASE-PRODUCING BACTERIA OF SODA SLUDGE STORAGE

Cultures of microorganisms that mobilize phosphorus from insoluble organic and inorganic compounds have been isolated. The most active isolates were selected as promising for the creation of biological products. Comparison of bacterial cultures was carried out based on the results of determining the indicators: the dynamics of the release of inorganic phosphorus, the activity of alkaline phosphatase and phytase enzymes for phosphate-mobilizing and phytate-hydrolyzing microorganisms, respectively.

Keywords: plant nutrition, insoluble phosphorus compounds, phosphate-mobilizing and phytate-hydrolyzing bacteria, alkaline phosphatase, phytase, salting out the protein, immobilization of enzyme.

Дефицит в фосфорном питании растений в первую очередь, вызван тем, что данный элемент по большей части находится в почвах в связанном виде. Фосфор фитатов (нерастворимых солей фитиновой кислоты) высвобождается в реакции гидролиза фитазами (КФ 3.1.3.). Растворение неорганических соединений фосфора, представленных фосфатами кальция, железа, алюминия, происхо-

дит с помощью разнородной группы микроорганизмов, которые в ходе своей жизнедеятельности выделяют фермент щелочную фосфатазу, а также органические кислоты, понижающие pH почв.

Повышение доступности труднорастворимых фосфатов почвы для растений может обеспечить биологическая фосфатмобилизация за счет почвенной микробиоты, а также при использовании бактериальных удобрений на основе фосфатмобилизующих бактерий. Данные разработки являются наиболее выгодными и экологически безопасными [1].

Фосфатмобилизующие и фитатгидролизующие бактерии выделяли из ризосферы растений, произрастающих в грунте содового шламохранилища АО «Березниковский содовый завод», г. Березники, Пермский край (координаты отбора проб 59º25'40,8" с. ш., 56º43'24,6" в. д.). Отобраны три образца: 3.2 – грунт с ризосферой одуванчика *Taraxacum officinale* F.H.Wigg.; 3.4 – грунт с ризосферой черемухи *Prunus padus* L.; 3.9 – поверхность грунта не глубже 1 см.

Для получения накопительной культуры фосфатмобилизующих бактерий 1 г грунта вносили в 20 мл жидкой среды Герретсена в модификации Муромцева, содержащей в качестве единственного источника фосфора нерастворимый трикальцийфосфат. Для выделения отдельных колоний бактерий проводили высев десятикратных разведений накопительной культуры на плотную питательную среду NBRIP. Для количественного подсчета микроорганизмов использовали метод десятичных разведений. Накопительную культуру бактерий – продуцентов фитаз, получали на питательной среде Phytase Screening Medium (PSM). Выделение колоний, способных гидролизовать фитат натрия, проводили с помощью высева десятикратных разведений накопительной культуры на агаризованную среду PSM [2].

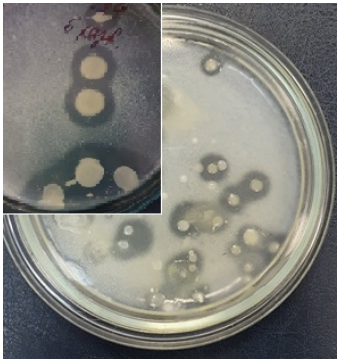
Фосфатазная активность изолятов, выращенных на жидкой питательной среде NBRIP, была определена с помощью биохимической реакции с n-нитрофенилфосфатом, который под действием щелочной фосфатазы гидролизуется с образованием окрашенного продукта n-нитрофенола. Активность фосфатазы определяли по приросту оптической плотности среды при $\lambda = 420$ нм, измеренной на спектрофотометре Ultraspec 3000 («GE Healthcare», США). Единицу (Ед) активно-

сти фосфатазы определяли как количество фермента, необходимое для высвобождения 1 мкмоль n-нитрофенола/мин.

Определение количества свободного фосфора в культуральной жидкости основано на реакции неорганического фосфата с молибдатом аммония в присутствии восстановителей с образованием окрашенного комплексного соединения (молибденовой сини). Интенсивность окраски раствора пропорциональна концентрации неорганического фосфата. Экстинкцию калибровочных, а также опытных проб измеряли на ФЭК (КФК-3, Россия) при $\lambda = 670$ нм [3].

Количественную оценку активности фермента фитазы определяли с помощью метода Грайнера по количеству фосфора, высвободившегося при гидролизе фитата натрия. Оптическую плотность контрольной и реакционной смесей измеряли на спектрофотометре Ultraspec 3000 («GE Healthcare», США), длина волны излучения $\lambda = 355$ нм. За единицу активности принимали количество фермента, расщепляющего фитат натрия с образованием 1 мкмоль фосфата за одну мин [4].

Для выделения фитазы проводили озвучивание клеток на ультразвуковом дезинтеграторе 7 раз по 20 секунд с охлаждением осадка. С целью осаждения белка использовали метод высаливания сульфатом аммония. Количество белка для каждой фракции определяли согласно методу Брэдфорда.



а

б

Рис. Фосфатмобилизующие (*а*) и фитазопродуцирующие (*б*) бактериальные изоляты

Из ризосферы растений, произрастающих в грунте старой карты содового шламохранилища, на среде с нерастворимым неорганическим фосфатом было выделено 5 изолятов фосфатмобилизующих бактерий. Все изоляты формируют зону просветления агаризованной среды с нерастворимым фосфатом (рис. 1, *а*), снижают pH жидкой среды культивирования до значений pH 3–4. На среде с нерастворимым органическим фосфатом выделено 7 изолятов фитатгидролизующих бактерий. Выделенные изоляты также формируют зону просветления агаризованной среды с нерастворимым фитатом натрия (рис. 1, *б*).

Изучена динамика высвобождения фосфора из трикальцийфосфата в процессе роста изолятов фосфатмобилизующих бактерий. К концу культивирования (231 ч) изолятов 3.2.1 и 3.4.2 на среде с нерастворимым неорганическим фосфатом концентрация свободного фосфора в среде составляла 410,69 ± 17,50 и 348,79 ± 17,99 мкг/мл соответственно, содержание КОЕ/мл – $(4{,}67 \pm 0{,}82) \cdot 10^8$ и $(1{,}80 \pm \pm 0{,}24) \cdot 10^9$ соответственно, pH среды снижалась с 7,0 до 4,5 и 4,0 соответственно. Свободный фосфор не возвращается в нерастворимое состояние, что в дальнейшем обеспечивает его поглощение растениями. Такой тип бактериальных культур является перспективным для создания биологических удобрений.

Определена фосфатазная активность изолятов. Она составила от 0,033 до 0,062 ед/мл. Для изолятов, выделенных на среде PSM, определена активность фитазы. Активность этого фермента варьировала в пределах от 0,041 до 0,067 ед/мл. Данные изоляты при дальнейшей селекции могут быть использованы для повышения питательности кормов для сельскохозяйственных животных или как компонент биологического удобрения.

Фитаза, выделенная из изолята 3.9.1, была иммобилизована методом адсорбции на углеродных адсорбентах: активном угле, карбактине и углеродном наноматериале – многостенных углеродных нанотрубках, функционализированных группами COOH (МУНТ-COOH). Активность неиммобилизованной фитазы 71 Ед/л, концентрация белка в препарате до адсорбции 5,05 мг/мл. Определено, что наилучшим носителем, на котором адсорбированный фермент сохранял свою активность, был МУНТ-COOH. Величина адсорбции фитазы на МУНТ-

COOH составляла 34,2 мг/г, что в 3 раза больше, чем на других изучаемых углеродных носителях. На этом адсорбенте сохранялось 76 % первоначальной активности, тогда как на активном угле 11 %, а на карбактине – всего 4 % фитазной активности.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Правительства Пермского края в рамках научного проекта № С-26/507.

Список литературы

1. Белясова Н.А., Игнатовец О.С., Сергиевич Д.С. Выделение и характеристика почвенных фосфатмобилизующих микроорганизмов // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 2. – С. 93–97.

2. Пуронен С.В., Жусупова А.М., Тен О.А. Выделение активных культур фосфатмобилизующих микроорганизмов из ризосферы // Биотехнология. Теория и практика. – 2012. – № 3. – С. 77–82.

3. Патент № 2654595 C1 Российская Федерация, МПК A01N 63/02, C12N 1/20. Штамм бактерий *Pantoea brenneri*, обладающий фосфатмобилизующей и фунгицидной активностью: № 2017130448: заявл. 28.08.2017: опубл. 21.05.2018 / А.Д. Сулейманова, Д.Л. Иткина, М.Р. Шарипова; заявитель Казанский (Приволжский) федеральный университет (ФГАОУ ВО КФУ).

4. Yasmin H., Bano A. Isolation and characterization of phosphate solubilizing bacteria from rhizosphere soil of weeds of khewra salt range and attock // Pakistan Journal of Botany. – 2011. – № 3. – P. 1663–1668.

Об авторах

Семенова Ксения Геннадьевна – студентка бакалавриата кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: semenovakseniya2014@yandex.ru

Максимова Юлия Геннадьевна – доктор биологических наук, заведущая лабораторией молекулярной биотехнологии, Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН, e-mail: yul_max@mail.ru

УДК 579.258

Л.В. Сутормина, К.В. Безматерных,
Г.В. Смирнова, О.Н. Октябрьский

ИЗМЕНЕНИЕ УРОВНЯ ЦИСТЕИНА У *ESCHERICHIA COLI* ПРИ ДЕЙСТВИИ ЦИПРОФЛОКСАЦИНА

Изучалось влияние бактерицидного антибиотика ципрофлоксацина на изменение содержания внутриклеточного и внеклеточного цистеина в клетках *Escherichia coli.* Показано, что добавление 3 мкг/мл ципрофлоксацина повышало уровень внутри- и внеклеточного цистеина у дикого типа и штамма, дефицитного по синтезу глутатиона.

Ключевые слова: внутриклеточный и внеклеточный цистеин, окислительный стресс, антибиотик ципрофлоксацин.

L.V. Sutormina, K.V. Bezmaternykh,
G.V. Smirnova, O.N. Oktyabrsky

CHANGES IN THE LEVEL OF INTRACELLULAR CYSTEINE IN *ESCHERICHIA COLI* UNDER THE ACTION OF CIPROFLOXACIN

The effect of the bactericidal antibiotic ciprofloxacin on changes in the content of intracellular cysteine in *Escherichia coli* cells was studied. It was shown that the addition of 3 mcg/ml of ciprofloxacin increased the level of intracellular cysteine in the parent and mutant strains.

Keywords: intracellular and extracellular cysteine, oxidative stress, the antibiotic ciprofloxacin.

Массовое использование антибиотиков вызвало возникновение и распространение антибиотикорезистентных форм микроорганизмов, что, в свою очередь, привело к снижению лекарственного эффекта противомикробных препаратов [1]. Одним из следствий этого является значительное снижение разработки и выпуска новых антибиотиков.

Современные антимикробные препараты делятся на две основные категории: бактериостатические, которые ингибируют рост бактериальных клеток и их способность к размножению, и бактерицидные, которые убивают бактерии. Поэтому детальное изучение меха-

низмов действия бактерицидных препаратов актуально для разработки и дальнейшего применения антимикробных лекарственных средств.

Известно, что механизм действия бактерицидных антибиотиков основан на взаимодействии препарата со специфической мишенью в клетке. Ранее была выдвинута гипотеза о едином механизме летальности бактерицидных антибиотиков, связанном с индукцией окислительного стресса, возникающем за счет усиления образования свободных радикалов в ходе реакции Фентона [2]. Предполагается, что, оказывая воздействие на возможные пути образования радикалов и на активность антиоксидантных систем, можно усиливать эффективность существующих антибиотиков и разрабатывать новые препараты.

В живых клетках *L*-цистеин является компонентом природного антиоксиданта глутатиона и других белков, а также служит источником восстановленной серы для многих органических молекул. За счет редокс-активной *SH*-группы цистеин способен восстанавливать внутриклеточные ионы Fe^{3+} до Fe^{2+}, тем самым ускоряя реакцию Фентона с образованием токсичных OH^{-} радикалов. В нормальных условиях концентрация свободного внутриклеточного цистеина в клетках поддерживается на низком уровне, поэтому изучение влияния бактерицидных антибиотиков на гомеостаз цистеина как возможного источника свободных радикалов может дать более глубокое понимание механизмов летальности бактериальных клеток. Целью данного исследования было изучение изменения уровня внутриклеточного (Cys_{in}) и внеклеточного (Cys_{out}) цистеина при действии антибиотика ципрофлоксацина (ЦФ).

Культуру *Escherichia coli* BW25113 (дикий тип) и мутанта JW2663 (Δ*gshA*), лишенного глутатиона, выращивали на минимальной среде M9 с 0,2 % глюкозой в колбах на 250 мл в термостатируемом орбитальном шейкере при 37 ^{o}C до OD_{600} 0,4. При достижении требуемой плотности в культуру вносили ЦФ (3 мкг/мл) и инкубировали в течение 2 ч. Уровень цистеина определяли по методу Gaitonde [3].

Базовый уровень внутриклеточного цистеина у дикого типа составлял $0{,}057 \pm 0{,}003$ $\mu M / OD_{600}$, у *gshA* мутанта – $0{,}025 \pm 0{,}002$

μM / OD_{600}. Исходные значения Cys_{out} в родительском штамме были 0,13 ± 0,02, у мутанта *gshA* – 0,17 ± 0,02 μ*M* / OD_{600}. В контроле после 2 ч культивирования концентрация экстраклеточного цистеина повышалась в 1,8 и 2,1 раза у дикого типа и мутанта, соответственно. Добавление ЦФ вызывало увеличение уровня внутриклеточного цистеина в два раза у *gshA* мутанта и не влияло на содержание Cys_{in} у родителя в сравнении с контрольными условиями. Через 2 ч после добавления ЦФ значения Cys_{out} достигали 0,74 ± 0,07 у родителя и 1,56 ± 0,08 μ*M* / OD_{600} у *gshA* мутанта. Таким образом, обработка *E. coli* ЦФ стимулирует интенсивный выход цистеина из клеток, что может рассматриваться как один из механизмов его гомеостаза. Наличие глутатиона значительно влияет на уровни внутри- и внеклеточного цистеина, особенно после обработки антибиотиком.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 22-14-00093.

Список литературы

1. Габидова А.Э., Галынкин В.А. Основные начала возникновения резистентности в биосфере // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 3. – С. 92–102.

2. A common mechanism of cellular death induced by bactericidal antibiotics / M.A. Kohanski [et al.] // Cell. – 2007. – Vol. 130 (5). – P. 797–810.

3. Gaitonde M.K. A spectrophotometric method for the direct determination of cysteine in the presence of other naturally occurring amino acids // Biochem. – 1967. – Vol. 104. – P. 627–633.

Об авторах

Сутормина Любовь Валерьевна – аспирант, младший научный сотрудник Института экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиала ПФИЦ УрО РАН, e-mail: lyubov-sutormina@mail.ru

Безматерных Ксения Викторовна – кандидат биологических наук, младший научный сотрудник Института экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиала ПФИЦ УрО РАН, e-mail: hydrargyrum@iegm.ru

Смирнова Галина Васильевна – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Института экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиала ПФИЦ УрО РАН, e-mail: smirnova@iegm.ru

Октябрьский Олег Николаевич – доктор биологических наук, заведующий лабораторией «Физиология и генетика микроорганизмов» Института экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиала ПФИЦ УрО РАН, e-mail: oktyabr@iegm.ru

УДК 579.26

Н.А. Сыпачева, Г.А. Козлова

БИОДЕГРАДАЦИЯ ГЕРБИЦИДА СМЕШАННЫМИ КУЛЬТУРАМИ МИКРООРГАНИЗМОВ

Рассмотрены проблема загрязнения почвы гербицидами и способы ее очистки с помощью культур микроорганизмов. Выделены и омоложены штаммы-деструкторы гербицидов, изучена динамика роста как отдельных штаммов, так и смешанных культур этих микроорганизмов на среде с гербицидом «Граунд, ВР» в качестве единственного источника углерода.

Ключевые слова: биоремедиация, гербициды, деструкторы гербицидов, смешанные культуры микроорганизмов.

N.A. Sypacheva, G.A. Kozlova

HERBICIDE BIODEGRADATION BY MIXED CULTURES OF MICROORGANISMS

The article considered the problem of soil contamination with herbicides and methods of its purification with the help of cultures of microorganisms. Herbicide degrading strains were isolated and restored, the growth of individual strains and mixed cultures of these bacteria on the nutrient substrate «Graund, VR» was studied.

Keywords: bioremediation, herbicides, herbicide decomposers, mixed cultures.

Для повышения продуктивности сельского хозяйства в настоящее время принято использовать такие вещества, как гербициды. Однако постоянное использование гербицидов приводит к появлению устойчивых к ним сорных растений, в результате чего постоянно увеличивается доза вносимых в почву ксенобиотиков. Остаточные количества гербицидов способны накапливаться в почве, мигрировать по трофическим цепям, попадая с продуктами питания в организм человека, тем самым вызывая опасные заболевания [1].

Вместе с тем было обнаружено, что многочисленные формы микроорганизмов обладают способностью включать в свой обмен веществ ксенобиотики, т.е. использовать их в конструктивном и энергетическом метаболизме клетки.

На данную тему проведена масса исследований, в ходе которых были выделены микроорганизмы различных таксономических групп, способные разлагать гербициды при культивировании их на искусственных питательных средах [2]. В последнее время в литературе появляются сведения о более эффективной деградации органических веществ смешанными культурами бактерий, поскольку имеет место комбинация катаболических возможностей отдельных представителей сообществ микроорганизмов. В результате чего достигается минерализация, недоступная чистым культурам микроорганизмов [3, 4].

Цель работы – изучение закономерностей роста микроорганизмов, использующих гербициды в качестве единственного источника углерода.

Объектом исследования были выбраны 4 штамма неидентифицированных бактерий, которые длительное время хранились в пробирках на МПА под вазелиновым маслом при температуре 4–5 °С. Данные штаммы были ранее выделены из почв опытного поля Пермского ГАТУ, подвергавшихся воздействию пестицидов.

Было проведено омолаживание этих культур на протяжении трех пассажей на простой ацетатно-минеральной среде. Все исследуемые культуры сохранили жизнеспособность и были пересеяны на плотную питательную среду МПА. По методу Дригальского были получены чистые культуры микроорганизмов.

Для оценки способности исследуемых штаммов осуществлять рост на среде с гербицидом было проведено культивирование всех четырех культур на той же питательной среде, в качестве источника углерода, в которой вместо ацетата использовался гербицид «Граунд, ВР» (действующее вещество дикамба диметилламинная соль – 480 г/дм^3) в концентрации 50 мг/дм^3.

О скорости роста судили по изменению величины оптической плотности культуральной жидкости, которую измеряли на фотоэлектроколориметре АР-101 при длине волны λ = 670 нм. Далее по графикам кривых роста (рис. 1) находили удельную скорость роста (табл. 1) и определяли, какие культуры микроорганизмов обладают наибольшей скоростью роста.

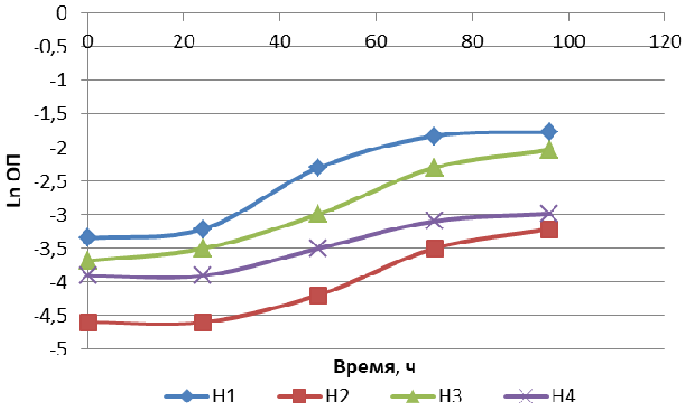


Рис. 1. Графическая зависимость логарифма оптической плотности от времени при росте штаммов H1–H4 на среде с гербицидом «Граунд, ВР»

Таблица 1

Удельные скорости роста для штаммов H1–H4 на среде с гербицидом «Граунд, ВР»

№ п/п	Культуры микроорганизмов	Удельная скорость роста μ, $ч^{-1}$
1	H1	0,055
2	H2	0,022
3	H3	0,027
4	H4	0,020

В результате проведенных исследований были выявлены наиболее активные штаммы-деструкторы гербицида «Граунд, ВР». Выбор двух активных штаммов определен исходя из сравнения удельных скоростей роста. Наиболее активными деструкторами гербицида «Прополол» являются штаммы H1 и H3 со значениями μ, равными 0,055 и 0,027 $ч^{-1}$, соответственно.

Далее была исследована динамика роста данных штаммов в смешанной культуре. Для этого были приготовлены суспензии штаммов H1 и H3 в 0,9 % растворе NaCl. Затем материал пипеткой вводили в среды с гербицидом «Граунд, ВР» (50 мг/$дм^3$) в разном

соотношении штаммов Н1:Н3 (1:1, 1:2, 2:1). Культивирование проводилось при 30 °С на качалке при 140 об/мин. Оптическую плотность измеряли на фотоэлектроколориметре АР-101 при длине волны $\lambda = 670$ нм. С целью нахождения удельных скоростей роста смешанных культур были построены кривые роста (рис. 2). Удельные скорости роста смешанных культур представлены в табл. 2.

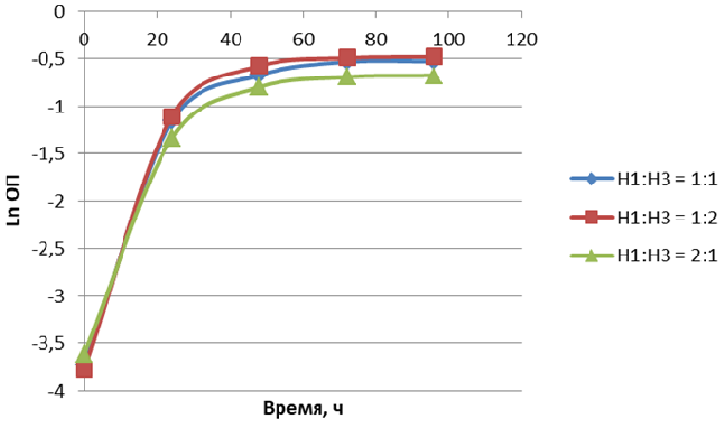


Рис. 2. Графическая зависимость логарифма оптической плотности от времени при росте смешанной культуры на среде с добавлением гербицида «Граунд, ВР»

Таблица 2

Удельные скорости роста смешанной культуры микроорганизмов, состоящей из штаммов Н1 и Н3, на среде с гербицидом «Граунд, ВР»

№ п/п	Н1:Н3	Удельная скорость роста μ, $ч^{-1}$
1	1:1	0,107
2	1:2	0,111
3	2:1	0,095

В результате данного исследования смешанная культура микроорганизмов, состоящая из штаммов Н1 и Н3, показала более высокие удельные скорости роста на среде с гербицидом «Граунд, ВР».

Наилучшим соотношением культур, при котором удельная скорость роста была наибольшей $\mu = 0{,}111$ $ч^{-1}$, оказалось соотношение Н1 и Н3 как 1:2.

Список литературы

1. Zhang J. Assessing crop damage from dicamba on non-dicamba tolerant soybean by hyperspectral imaging through machine learning // Pest Manag Sci. – 2019. – № 75. – P. 60–72.

2. Шарипов Д.А. Микробная деструкция некоторых галогенсодержащих ПАВ и гербицидов // ЭкоБиоТех: материалы VII Всеросс. конф. с междунар. участием. – 2021. – С. 46–49.

3. Vlaiculescu A. Bioremediation of the herbicide Dicamba utilizing pure cultures and microbial consortia associated with biological control against the fungal pathogen Fusarium culmorum // Conference: REMTECH EXPO 2020. – 2020. – P. 180–181.

4. Jiangwei Z. Characteristics of two terbutylazinedegrading bacteria and the construction of a live bacterial agent for effective degradation of terbutylazine in soil // Microbiology. – 2022. – № 94.

Об авторах

Сыпачева Наталья Александровна – студентка кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: natalya.sypachewa@gmail.com

Козлова Галина Аркадьевна – кандидат химических наук, доцент кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: galina.arkadevna.kozlova@yandex.ru

УДК 579.22

П.А. Ташкинова, А.В. Ахова, А.Г. Ткаченко

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОНВЕРСИИ ЛИЗИНА В 1,5-ДИАМИНОПЕНТАН БАКТЕРИЯМИ *ESCHERICHIA COLI*

В статье приведены данные по влиянию условий культивирования на эффективность конверсии лизина в 1,5-диаминопентан природными изолятами *E. coli* и лабораторным штаммом *E. coli* K12. В работе исследованы минимальная среда M9, бульон LB, 0,9 % раствор NaCl, а также влияние pH среды и добавки глюкозы.

Ключевые слова: кадаверин, декарбоксилаза, лизин, 1,5-диаминопентан.

P.A. Tashkinova, A.V. Akhova, A.G. Tkachenko

THE EFFECT OF CULTIVATION CONDITIONS ON THE EFFICIENCY OF CONVERSION OF LYSINE TO 1,5-DIAMINOPENTANE BY *ESCHERICHIA COLI*

The article provides data on the effect of cultivation conditions on the efficiency of conversion of lysine to 1,5-diaminopentane by *E. coli* natural isolates and the laboratory strain *E. coli* K12. The medium M9, LB, 0,9 % NaCl solution, as well as the effect of the pH of the medium and glucose supplementation were studied.

Keywords: cadaverine, decarboxylase, lysine, 1,5-diaminopentane.

Полиамиды из-за их высокой износостойкости и прочности широко используются во многих отраслях промышленности [1]. В настоящее время ведутся работы по получению биополиамидов. Биополиамиды – это полимеры, полученные на основе сырья биологического происхождения. Производство биополиамидов имеет ряд преимуществ перед традиционным методом химического синтеза: использование возобновляемых ресурсов; малый расход энергии и ресурсов за счет применения средних температур синтеза и отсутствия необходимости использования редкоземельных метал-

лов в качестве катализаторов, а также в процессе биосинтеза не образуются токсичные отходы [2].

Биополимеры с уникальными свойствами получают на основе 1,5-диаминпентана. 1,5-диаминпентан – это органическое вещество, имеющее формулу $NH_2(CH_2)_5NH_2$. 1,5-диаминпентан, синтезируется в клетках бактерий в результате реакции декарбоксилирования лизина, которая осуществляется ферментом лизиндекарбоксилазой.

У кишечной палочки известны два типа лизиндекарбоксилаз, которые принципиально отличаются друг от друга оптимумами pH. CadA – индуцибельная форма фермента, наиболее активна при низких значениях pH, оптимум равен 5,5. Индуцировать данную форму можно при культивировании на кислых средах с высоким содержанием лизина в условиях микроаэрации. LdcC – конститутивная форма, которая активна в широком интервале значений pH, оптимум равен 7,6 [3, 4].

Цель данного исследования – изучение влияния условий культивирования, таких как состав среды культивирования, кислотность среды и добавление глюкозы на эффективность конверсии лизина в 1,5-диаминпентан бактериями *Escherichia coli.*

В качестве объектов исследования использованы штамм *Escherichia coli* K12 и 8 природных изолятов *E. coli*, выделенных от животных фермерских хозяйств Пермского края.

Бактериальные клетки, сохраняемые на скошенном агаре LB, вносили в 20 мл бульона LB и культивировали в течение 18–20 ч без перемешивания при 37 °C. Полученный инокулят добавляли в среды различного состава, содержащие один г/л лизина. Культивировали в термостате без перемешивания при 37 °C. Отбор проб для определения концентрации 1,5-диаминпентана в среде культивирования проводили в начальный момент времени, а также через 2, 6 и 24 ч.

Определение концентрации 1,5-диаминпентана в среде проводили в несколько стадий. Сначала полученную культуру клеток центрифугировали (16000g, 2 мин), надосадок помещали в микропробирку с 10 мкл 4N $HClO_4$. Далее проводили дансилирование

проб, для этого реакционную смесь, включающую карбонат натрия, пробу и дансилхлорид в соотношении 1:1:2, инкубировали в темноте 2–3 ч при 37 °С. Следующий этап – тонкослойная хроматография дансил-производных, полученные высушенные хроматограммы фотографировали при разных выдержках в ультрафиолетовом свете, который возбуждал сине-зеленое свечение пятен дансил-производных. Величина и яркость пятен дансил-производных пропорциональны их концентрации. Расчет концентрации 1,5-диаминпентана осуществляли методом внешнего стандарта [5].

Реакцию биоконверсии лизина в 1,5-диаминпентан осуществляли на различных средах: синтетическая минимальная среда М9, бульон LB и 0,9 % водный раствор хлорида натрия (физраствор). С целью обеспечения разнообразия были добавлены варианты сред с добавлением глюкозы (0,4 %) в качестве источника углерода и энергии и с различными значениями pH для изучения влияния кислотности среды.

Лабораторный штамм *E. coli* K12 наибольшее количество 1,5-диаминпентана на 24 ч культивирования синтезировал при культивировании на минимальной среде М9 с pH = 4,0 (2,4 мМ). Стоит отметить, что высокая концентрация 1,5-диаминопентана наблюдалась уже на 6 ч культивирования на средах М9 с pH = 4,0 (2,2 мМ) и М9 с pH = 4,0 и добавлением глюкозы (1,9 мМ). Конверсия субстрата на данных средах достигала 35–40 %. Также большое количество 1,5-диаминопентана накапливалось в средах с физраствором в качестве основы: физраствор с добавлением глюкозы (1,8 мМ) и физраствор с добавлением глюкозы и pH = 4,0 (1,7 мМ). Конверсия субстрата составляла 30–32 %. Наибольшая скорость биотрансформации лизина в 1,5-диаминопентан наблюдалась на 2 ч культивирования при использовании среды М9 с pH = 4,0 и добавлением глюкозы и физраствора с pH = 7,4 и добавкой глюкозы (0,5–0,6 мМ/ч), далее скорость снижалась.

Из 8 природных изолятов можно выделить изоляты № 16, 18, 24, которые осуществляли наиболее эффективную биоконверсию субстрата. Самая высокая концентрация 1,5-диаминопентана обна-

ружена при культивировании изолята № 16 на среде М9 с pH = 4,0, она составила 5,1 мМ, а конверсия субстрата в данном случае равнялась 93 %. Изолят № 18 проявлял наибольшую активность при использовании среды М9 с pH = 4,0 и с добавкой глюкозы, количество накопленного 1,5-диаминопентана достигло 2,9 мМ, а полнота конверсии составила 53 %. Изолят № 24 продуцировал около 2,3 мМ 1,5-диаминопентана на 6 ч культивирования на среде М9 с pH = 4,0. Конверсия субстрата равнялась 43 %. Скорость биоконверсии лизина для данных изолятов составила 0,5–0,8 мМ/ч на 2 ч культивирования.

Можно сделать вывод, что кислотный pH среды и добавка глюкозы к минимальной среде М9 и физраствору способствует повышению продукции 1,5-диаминопентана как клетками лабораторного штамма *E. coli* K12, так и природными изолятами *E. coli.* Наиболее пригодной средой для осуществления биоконверсии лизина в 1,5-диаминопентан оказалась минимальная среда М9.

Исследовано влияние таких условий культивирования, как состав среды, кислотность среды и добавление глюкозы на эффективность конверсии лизина с образованием 1,5-диаминопентана природными изолятами *E. coli* и лабораторным штаммом *E. coli* K12.

Удалось выделить микроорганизмы, которые способны совершать эффективную конверсию лизина в 1,5-диаминопентан при культивировании на минимальных средах, в том числе, без добавки источника углерода и энергии, в широком диапазоне pH.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (АААА-А19-119112290009-1).

Список литературы

1. Improving the secretion of cadaverine in *Corynebacterium-glutamicum* by cadaverine–lysine antiporter / M. Li, D. Li, Y. Huang, M. Liu, H. Wang, Q. Tang, F. Lu // J. Ind. Microbiol. Biotechnol. – 2014. – Vol. 41. – P. 701–709.

2. Bio-based production of monomers and polymers by metabolically engineered microorganism / H. Chung, J.E. Yang, J.Y. Ha, T.U. Chae, J.H. Shin, M. Gustavsson, S.Y. Lee // Current Opinion in Biotechnology. – 2015. – Vol. 36. – P. 73–84.

3. Auger E., Bennett G. Regulation of lysine decarboxy-lase activity in *Escherichia coli* K-12 // Archives of Microbiology. – 1989. – Vol. 151, № 5. – P. 466–468.

4. Pomposiello P., Bennik M., Demple B. Genome-wide transcriptional profiling of the Escherichia coli responses to superoxide stress and sodium salicy-late // Journal of Bacteriology. – 2001. – Vol. 183, № 13. – P. 3890–3902.

5. Ахова А.В., Ткаченко А.Г. Роль биосинтеза кадаверина в адаптации *Escherichia coli* к действию пероксида водорода // Прикладная биохимия и микробиология. – 2022. – Т. 58, № 5. – С. 467–475.

Об авторах

Ташкинова Полина Андреевна – студентка бакалавриата кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: poli.tash5901@mail.ru

Ахова Анна Викторовна – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории адаптации микроорганизмов, Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН; доцент кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: akhovaan@mail.ru

Ткаченко Александр Георгиевич – доктор медицинских наук, заведующий лабораторией адаптации микроорганизмов, Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН, e-mail: agtkachenko@iegm.ru

УДК 633.853.52

Е.А. Фесенко, С.Б. Чачина

ИЗУЧЕНИЕ СНИЖЕНИЯ АНТИПИТАТЕЛЬНЫХ ФАКТОРОВ У СОЕВОЙ МУКИ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ, УЛЬТРАЗВУКОВОЙ, СВЧ И ТЕРМООБРАБОТКИ

Изучено снижение антипитательных факторов измельченных соевых бобов до порошкообразной массы следующими методами: ультрафиолетовой, тепловой и СВЧ-обработками. Проведен анализ результатов на активность трипсина и химотрипсина, выявлены наиболее эффективные методы.

Ключевые слова: соя, соевая мука, антипитательные факторы, обработка ультрафиолетом, обработка ультразвуком, СВЧ-обработка, температурная обработка, бобовые культуры, белки, питание, трипсин, химотрипсин.

E.A. Fesenko, S.B. Chachina

STUDY OF REDUCTION OF ANTI-NUTRITIONAL FACTORS IN SOY FLOUR USING METHODS OF ULTRAVIOLET, ULTRASONIC, MICROWAVE AND HEAT TREATMENT

The reduction of the antinutritional factors of crushed soybeans to a powder mass was studied by the following methods: ultraviolet, thermal and microwave treatments. The analysis of the results on the activity of trypsin and chymotrypsin was carried out, the most effective methods were identified.

Keywords: soy, soy flour, anti-nutritional factors, ultraviolet treatment, ultrasound treatment, microwave treatment, temperature treatment, legumes, proteins, nutrition, trypsin, chymotrypsin.

В Российской Федерации на сегодняшний день имеется потребность в наращивании производства соевого зерна и получении продуктов из него, в частности соевой муки. Ключевыми причинами данной тенденции является растущий спрос на альтернативное молоко, а также низкая себестоимость продукта при достаточно высоких качественных характеристиках. Соевая мука богата белком (45–55 %), который сбалансирован по составу аминокислот, при этом является легкоусвояемым в организме животных и чело-

века. Основной целью при развитии в данном направлении является создание конкурентно-способных отечественных предприятий, занимающихся переработкой сои и соевой муки.

Однако, несмотря на все преимущества и дешевизну производства, комплексный состав продукта, существует ряд проблем, связанных с присутствием антипитательных факторов в сое. К ним прежде всего относятся: амилаза, уреаза, трипсин и хемотрипсин и многие другие [2].

Все эти составляющие создают потребность в комплексе мероприятий, которые бы минимизировали или полностью устранили влияние антипитательных факторов. Чтобы успешно разрешить данную проблему, необходима разработка эффективных методов, которые бы позволяли в промышленных масштабах получать белки с заданными свойствами [1].

Методы обработки соевой муки. Для снижения антипитательных факторов, а именно их инактивации, можно использовать множество методов. В данной работе использовались следующие:

1. Обработка ультрафиолетом осуществлялась на расстоянии 17 см между лампой и сырьем (слой 1–2 см), поскольку данное расстояние было выявлено как оптимальное [3]. Время воздействия 2 ч.

2. Проводили обработку той же соевой муки в СВЧ-поле бытовой СВЧ-печи Mystery MMW-2012 в течение 12 мин. При увеличении времени сырье обугливалось, что уменьшало органолептические свойства, следовательно, не представляло практического интереса на данном этапе.

3. Аналогичную соевую муку помещали в термостат при выставленной температуре 232 ° С в течении 10 мин.

4. Соевую муку смешивали с водой в соотношении 1:5 и подвергали обработке ультразвуком 20000 Гц в течение 50 мин.

Определение активности трипсина. Для определения используется готовый ферментативный препарат трипсина. Проводится разведение в физрастворе, доведенного до pH 11 (20 мг на 100 мл). Нагревают данный раствор до 30 °С 30 мин.

Отбирают пипеткой 1 мл полученного образца для инкубации, после добавляют 1 мл 1%-ного раствора казеина в буфере. Получен-

ную смесь отправляют на 20 мин инкубироваться при 30 °С, после чего добавляют 5%-ный раствор ТХУ в количестве 3 мл для остановки реакции и осаждения нерасщепленного субстрата и фермента.

На спектрофотометре при 280 нм проводят определение оптической плотности, после по калибровочному графику проводят расчет активности фермента в каждой пробе по данным активности кристаллического трипсина (табл. 1).

Таблица 1

Результаты определения активности трипсина

Название пробы	Оптическая плотность	Активность трипсина
Контроль трипсин	2,784	10,02
Соевая мука (контроль)	3,770	2,10
Соевая мука, обработанная СВЧ-лучами	3,470	4,80
Соевая мука, обработанная температурой 232 ^{o}С	3,613	3,59
Соевая мука, обработанная ультрафиолетом	3,720	3,30
Соевая мука, обработанная ультразвуком	3,510	4,82

Определение активности химотрипсина. Для определения используется готовый ферментативный препарат химотрипсина. Проводится разведение в физрастворе, доведенном до pH 9 (20 мг на 100 мл). Нагревают до 30 °С 30 мин. К 1 мл раствора химотрипсина добавляют по 0,1 мл 0,1%-ного раствора соевого ингибитора трипсина и 0,1 М раствора ЭДТА.

Осторожно перемешивают содержимое, избегая вспенивания, 2–3 мин. Приливают 1 мл 1%-ного раствора казеина в 0,2 М фосфатном буфере. Пробирки погружают в водяной термостат и инкубируют при 30 °С. Через 20 мин реакцию останавливают, прибавляя 3 мл 5%-ной ТХУ. Остаточный субстрат и фермент отделяют фильтрованием.

После чего при длине волны 280 нм определяют оптическую плотность растворенных в ТХУ продуктов гидролиза в односантиметровой кварцевой кювете. И по градировочному графику определяют активность химотрипсина (табл. 2).

Таблица 2

Результаты определения активности химотрипсина

Название пробы	Оптическая плотность	Активность химотрипсина
Контроль химотрипсин	2,152	7,9
Соевая мука (контроль)	3,670	2,8
Соевая мука, обработанная СВЧ-лучами	3,290	4,0
Соевая мука, обработанная температурой 232 ^{o}C	3,272	4,0
Соевая мука, обработанная ультрафиолетом	3,309	4,1
Соевая мука, обработанная ультразвуком	3,140	4,7

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что применение данных методов действительно способствует снижению антипитательных факторов. Приведенные способы позволяют получить соевую муку, обладающую в достаточной степени сниженными антипитательными факторами. Явным преимуществом по совокупности показателей активности трипсина и химотрипсина обладает обработка ультразвуком.

Список литературы

1. Результаты исследований по инактивации антипитательных веществ в сое / Н.В. Цугленок, В.В. Матюшев, Г.И. Цугленок, А.И. Хохлова // Вестник КрасГАУ. – 2012. – № 5 (68). – С. 394–397. – EDN OYCIHT.

2. Искакова Е.Л., Танькова Н.Л., Асафов В.А. Способы снижения содержания веществ антипитательной направленности в се-

менах сои // Актуальные вопросы молочной промышленности, межотраслевые технологии и системы управления качеством. – 2020. – Т. 1, № 1 (1). – С. 231–235. DOI 10.37442/978-5-6043854-1-8-2020-1-231-235

3. Chen F., Zhang, M. Yang C.-H. Application of ultrasound technology in processing of ready-to-eat fresh food: A review // Ultrasonicssonochemistry. – 2020. – Vol. 63. – P. 104953.

Об авторах

Фесенко Елизавета Алексеевна – студентка кафедры «Биотехнология, технология общественного питания и товароведение», Омский государственный технический университет, e-mail: fesenko.elisa@yandex.ru

Чачина Светлана Борисовна – кандидат биологических наук, доцент кафедры «Биотехнология, технология общественного питания и товароведение», Омский государственный технический университет, e-mail:ksb3@yandex.ru

УДК 633.853.52

Е.А. Фесенко, С.Б. Чачина

ИЗУЧЕНИЕ АКТИВНОСТИ УРЕАЗЫ И АМИЛАЗЫ У СОЕВОЙ МУКИ, ОБРАБОТАННОЙ УЛЬТРАФИОЛЕТОМ, УЛЬТРАЗВУКОВОМ, СВЧ И ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ

Соя – зерновая культура, являющаяся ключевой в решении вопроса о создании полноценной замены животного белка. Продукты из сои, в частности соевая мука, обладают антипитатльными факторами, которые необходимо инактивировать для того, чтобы было возможно расширить сферу их применения. В данной работе изучена степень активности уреазы и амилазы у измельченных соевых бобов до порошкообразной массы следующими методами: ультрафиолетовой, тепловой и СВЧ-обработками. Проведен анализ результатов, выявлены наиболее эффективные методы.

Ключевые слова: соя, соевая мука, антипитательные факторы, обработка ультрафиолетом, обработка ультразвуком, СВЧ-обработка, температурная обработка, бобовые культуры, белки, питание, уреаза, амилаза.

E.A. Fesenko, S.B. Chachina

STUDY OF UREASE AND AMYLASE ACTIVITY IN SOY FLOUR TREATED WITH ULTRAVIOLET, ULTRASOUND, MICROWAVE AND ELEVATED TEMPERATURE

Soy is a grain crop that is key in solving the issue of creating a full–fledged replacement for animal protein. Soy products, in particular soy flour, have anti-nutritional factors that need to be inactivated in order to be able to expand their scope of application. In this work, the degree of urease and amylase activity in ground soybeans to a powdery mass was studied by the following methods: ultraviolet, thermal and microwave treatments. The analysis of the results was carried out, the most effective methods were identified.

Keywords: soy, soy flour, anti-nutritional factors, UV treatment, ultrasound treatment, microwave treatment, temperature treatment, legumes, proteins, nutrition, urease, amylase.

Актуальность темы обусловлена потребностью Российской Федерации в доступном, дешевом, экологичном и безопасном аналоге животного белка из-за растущего населения, а также огромной нагруз-

ки на животноводство. Соя становится ключевым продуктом в решении данного вопроса за счет того, что она содержит в себе полноценный растительный белок аминокислотного состава близкого к животному белку. Однако существует проблема, связанная с развитием соевого рынка в России.

К сожалению, помимо всех полезных свойств, соя содержит в себе множество антипитательных факторов, которые при употреблении данного продукта в пищу вызывают различные заболевания, мешают усваиваться белковой части. Это обусловлено защитными механизмами растения, именно поэтому в сырой форме соя является максимально не подходящей для употребления в пищу. К антипитательным факторам прежде всего относятся: амилаза, уреаза, трипсин и химотрипсин и многие другие [1].

Определение уровней активности уреазы и амилазы является одной из ключевых методик при работе в данном направлении, поскольку именно по данному анализу определяют предварительное снижение антипитательных фактров. В частности, можно понять, достаточно ли высокой была температура нагревания соевой муки для инактивации [2].

Методы обработки соевой муки. Для снижения антипитательных факторов, а именно их инактивации, можно использовать множество методов. В данной работе использовались следующие:

1. Обработка ультрафиолетом осуществлялась на расстоянии 17 см между лампой и сырьем (слой 1–2 см), поскольку данное расстояние было выявлено как оптимальное [3]. Время воздействия 2 ч.

2. Проводили обработку той же соевой муки в СВЧ-поле бытовой СВЧ-печи Mystery MMW-2012 в течение 12 мин. При увеличении времени сырье обугливалось, что уменьшало органолептические свойства, следовательно, не представляло практического интереса на данном этапе.

3. Аналогичную соевую муку помещали в термостат при выставленной температуре 232 °С в течении 10 мин.

4. Соевую муку смешивали с водой в соотношении 1:5 и подвергали обработке ультразвуком 20000 Гц в течение 50 мин.

Определение активности уреазы. К совевой муке массой 0,1 г пипеткой добавляют 10 см^3 буферного раствора мочевины,

после чего закрывают плотной пробкой и энергично встряхивают. Пробирку отправляют в водяную баню при температуре (30 ± 0,5) °С на 30 мин. Температура внутри бани должна быть постоянной все это время (табл. 1).

Таблица 1

Результаты определения активности уреазы

Название пробы	Объем NaOH на титрование (мл)	Активность уреазы (ммоль/мл)
Контроль уреаза	5	0
Соевая мука (контроль)	2,5	0,583
Соевая мука, обработанная ультрафиолетом	4,6	0,093
Соевая мука, обработанная СВЧ	4	0,233
Соевая мука, обработанная температурой 232 °С	3,5	0,350
Соевая мука, обработанная ультразвуком	4,5	0,117

Сразу добавляют 10 см раствора соляной кислоты, быстро понижают температуру до 20 °С и переносят содержимое в мерную колбу для титрования. Предварительно два раза промыв пробирку водой объемом 5 см^3. Титруют сразу раствором NaOH до pH 4,70 ед.

Необходимо выполнить два испытания рабочих проб из одной лабораторной пробы.

Определение активности амилазы. В две пробирки размером 200 мм вносят субстрат 1%-ного раствора крахмала (10 см^3). Прогревают 5 мин в ультратермостате при температуре (30,0 ± 1,0) °С.

Анализируемую пробу ферментного препарата прогревают до 30 °С. В каждую из двух пробирок приливают по 5,0 см^3 рабочего раствора. Все тщательно перемешивают, избегая пенообразования, и включают секундомер. Необходимо успеть зафиксировать начало реакции с ферментом. После чего реакционную смесь инкубируют при температуре (30,0 ± 1,0) °С в течение 10 мин. По окончании реакции отбирают 0,5 см^3 инкубационной смеси и вносят в колбу с 50 см^3 рабочего раствора йода.

Содержимое колбы перемешивают. После чего измерение оптической плотности проводят на спектрофотометре при λ = 670 нм в кюветах при толщине поглощающего свет слоя 10 мм в сравнении с дистиллированной водой.

Расчеты проводят согласно ГОСТ Р 54330-2011, фиксируют в табл. 2 и анализируют.

Таблица 2

Результаты определения активности амилазы

Название пробы	Оптическая плотность	Степень гидролиза крахмала	Активность амилазы (Ммоль/мл)
Контроль амилаза	0,002	0,090	0,214
Соевая мука контроль	0,013	0,023	0,057
Соевая мука, обработанная ультрафиолетом	0,003	0,064	0,156
Соевая мука, обработанная СВЧ	0,007	0,066	0,159
Соевая мука, обработанная температурой 232 °С	0,004	0,069	0,196
Соевая мука, обработанная ультразвуком	0,005	0,081	0,178

Результаты исследований показали, что при обработке сои приведенными выше методами наименьшая активность уреазы наблюдается при взаимодействии с ультрафиолетом и ультразвуком. Высокая степень очистки от ингибиторов амилазы была зафиксирована при обработке температурой 232 °С, близкое значение можно наблюдать при обработке ультразвуком. По совокупности показателей наиболее эффективен ультразвуковой метод.

Список литературы

1. Технология и технические средства для переработки сои / Ф.Я. Рудик, Н.Л. Моргунова, Н.А. Семилет [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2020. – № 3. – С. 91–95. DOI 10.28983/asj.y2020i3pp91-95

2. Искакова Е.Л., Танькова Н.Л., Асафов В.А. Способы снижения содержания веществ антипитательной направленности в семенах сои // Актуальные вопросы молочной промышленности, межотраслевые технологии и системы управления качеством. – 2020. – Т. 1, № 1 (1). – С. 231–235. DOI 10.37442/978-5-6043854-1-8-2020-1-231-235

3. Chen F., Zhang, M. Yang C.-H. Application of ultrasound technology in processing of ready-to-eat fresh food: A review // Ultrasonicssonochemistry. – 2020. – Vol. 63. – P. 104953.

Об авторах

Фесенко Елизавета Алексеевна – студентка кафедры «Биотехнология, технология общественного питания и товароведение», Омский государственный технический университет, e-mail: fesenko.elisa@yandex.ru

Чачина Светлана Борисовна – кандидат биологических наук, доцент кафедры «Биотехнология, технология общественного питания и товароведение», Омский государственный технический университет, e-mail:ksb3@yandex.ru

УДК 663.11

Э.Ф. Хаирова, С.И. Ибрагимова, О.М. Судакова

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОТЕХНОЛОГИИ В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Представлены проблемы биотехнологии в химической промышленности и пути их решения.

Ключевые слова: биотехнология, проблемы, химическая промышленность, применение, пути решения.

E.F. Khairova, S.I. Ibragimova, O.M. Sudakova

MODERN PROBLEMS OF BIOTECHNOLOGY IN THE CHEMICAL INDUSTRY

The problems of biotechnology in the chemical industry and ways to solve them are presented.

Keywords: biotechnology, problems, chemical industry, application, solutions.

Биотехнология – наука о методах, которые применяются в генной и клеточной инженерии и включают в себя использование части организма или биологической системы для производства продуктов с новыми свойствами.

Биотехнология применяется во многих отраслях, таких как сельское хозяйство (генно-инженерные растения / животные, биопестициды, кормовые антибиотики), нанобиотехнологии (биокомпьютеры, биосенсоры), охрана окружающей среды, в пищевой, фармацевтической, химической промышленностях и т.д.

В данной работе рассмотрим биотехнологические проблемы и их пути решения в области разработки химических веществ.

Биотехнология для химической промышленности важна для осуществления процессов получения новых продуктов. К ним относятся органические вещества, такие как спирты, алкены, алкины, биокатализаторы, ферменты, органические кислоты, растворители и т.д. Растворители же, которые применяются в органической химии, были получены путем брожения – это осуществля-

лось благодаря биохимическому процессу, протекающему в анаэробных условиях.

Сама же химическая промышленность реализуется в основном на нефти, путем окисления сырья. Но также эффективным процессом является ферментация микроорганизмов. Этот процесс помогает получить любые вещества: белки, аминокислоты, витамины, антибиотики, удобрения и т.д.

Биотехнологические проблемы в области химической промышленности: загрязнение окружающей среды химическими выбросами, оказывающими токсическое влияние на организмы и на окружающую среду; недостаточное количество энергоресурсов; нерациональное использование сырья, то есть потери в ходе его получения; трудоемкость разработки продуктов; высокий процент поломки оборудования, а также вероятность того, что полученное вещество не даст нужного эффекта.

Для решения данного рода проблем осуществляются следующие методы:

1) изменение характера производственной деятельности (использование экологически чистых источников, менее токсичных, создание безотходного производства);

2) разумное ограничение в расходовании природного сырья и химических веществ (реагентов);

3) создание охраняемых территорий для сохранения редких видов растений и животных, необходимых для получения химических веществ;

4) строительство очистных сооружений на производстве;

5) экономия природных ресурсов;

6) качественная очистка с применением современных технологий;

7) разработка пестицидов, наносящих минимальный вред для обработки продукции растительного происхождения;

8) озеленение планеты (растение как источник переработки углекислого газа в кислород, предотвращение угроз лесных пожаров, землетрясений).

Список литературы

1. Биотехнология: учеб. и практикум для вузов. – 3-е изд., испр. и доп. / под ред. Н.В. Загоскиной, Л.В. Назаренко. – М: Юрайт, 2020. – 381 с.

2. Бекер М.Е. Введение в биотехнологию. – М: Пищ. пром-сть, 1978. – 232 с.

3. Бендер М., Бергерон Р., Комияма М. Биоорганическая химия ферментативного катализа / Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 352 с.

4. Березов Т.Т., Коровкин Б.Ф. Биологическая химия**:** учеб. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Медицина, 1998. – 704 с.

5. Биотехнология принципы и применение / Пер. с англ. / Бич Г., Бест Д. [и др.] // под. ред. И. Хиггинса, Д. Беста и Дж. Джонса. – М.: Мир, 1988. – 480 с.

Об авторах

Хаирова Эльвира Фаритовна – студентка кафедры «Техническая химия и материаловедение», Уфимский университет науки и технологий, e-mail: elvirakhairova59@gmail.com

Ибрагимова Светлана Ильгизовна – студентка кафедры «Техническая химия и материаловедение», Уфимский университет науки и технологий, e-mail: lana.ibragimova.ibragimova@mail.ru

Судакова Оксана Минигуловна – старший преподаватель кафедры «Управление качеством», Уфимский университет науки и технологий, e-mail:gold-dragon@inbox.ru

УДК 579.22:579.25

Е.А. Хаова, А.Г. Ткаченко

СОЗДАНИЕ ШТАММА *ESCHERICHIA COLI* С ДЕЛЕЦИЕЙ ГЕНА *SRA*, КОДИРУЮЩЕГО ФАКТОР ГИБЕРНАЦИИ РИБОСОМ

В данной работе сконструирован генно-инженерный штамм *Escherichia coli* BW25141Δ*sra* с использованием λ Red системы. Ген *sra* кодирует фактор гибернации рибосом, ответственный за обратимое ингибирование рибосом в условиях стресса. В последнее время данные факторы исследуются с точки зрения их участия в бактериальной персистенции, одной из форм множественной антибиотикоустойчивости. Кроме того, персистенция является одной из причин рецидивов инфекционных заболеваний.

Ключевые слова: генный нокаут, факторы гибернации рибосом, антибиотикоустойчивость, бактериальная персистенция.

E.A. Khaova, A.G. Tkachenko

THE CONSTRUCTION OF *ESCHERICHIA COLI* STRAIN WITH DELETION OF *SRA* GENE ENCODING SRA RIBOSOME HIBERNATION FACTOR

In this work, the *Escherichia coli* strain BW25141*Δsra* was constructed using the λ Red system. *sra* gene encodes the ribosome hibernation factor responsible for the reversible inhibition of ribosomes under stress conditions. Recently, these factors have been studied in terms of their involvement in bacterial persistence, one of the forms of multiple antibiotic tolerance. In addition, persistence is one of the causes of recurrence of infectious diseases.

Keywords: gene knockout, ribosome hibernation factors, bacterial persistence.

Ограничение распространения антибиотикоустойчивости микроорганизмов, в том числе обусловленной бактериальной персистенцией, является одной из актуальных проблем современной биотехнологии. Персистеры – это малочисленная субпопуляция клеток, которые находятся в дормантном состоянии и обладают множественной фенотипической устойчивостью к антибиотикам в результате отсутствия мишеней для их воздействия. После снятия

действия антибиотика персистеры способны возобновлять рост, благодаря чему являются одной из причин рецидивов инфекционных заболеваний [1]. Молекулярно-генетические механизмы формирования персистенции до сих пор мало изучены. Согласно последним исследованиям, ключевую роль в этом процессе могут играть факторы гибернации рибосом [2]. Эти белки обратимо ингибируют рибосомы в условиях стресса, способствуя экономии клеточных ресурсов и развитию дормантного состояния [3]. В данной работе нами сконструирован генно-инженерный штамм *Escherichia coli* BW25141Δ*sra* с целью дальнейшего изучения роли в персистенции SRA белка, одного из факторов гибернации рибосом.

Генный нокаут получен с использованием λ Red системы в штамме *E. coli* BW25141 [4]. Праймеры, использованные в работе, представлены в таблице. Поиск заданной последовательности ДНК для подбора праймеров осуществляли с помощью базы данных GenBank. Для проверки адекватности полученных генетических конструкций секвенирование проводили, пользуясь услугами компании «Евроген». Для анализа результатов секвенирования и выравнивания последовательностей использовали ресурс Blastn. Электрофорез ДНК проводили в 1%-ном агарозном геле с использованием маркера длин ДНК «GeneRuler 1 kb Plus DNA Ladder» (Thermo Fisher Scientific).

Праймеры, использованные в работе

Название	Последовательность
k2	5’–CGGTGCCCTGAATGAACTGC-3’
kt	5’–CGGCCACAGTCGATGAATCC-3’
sra L	5’–TACGGCGATGTTGTCCTTAAAACTAGCTACAGGATTGAGGAGTTA AAATG ATTCCGGGGATCCGTCGACC-3’
sra R	5’–AATCGTCATTGAGGACTGATGGTTATGAATTACTTTTCAGCGGGG CGTTT TGTAGGCTGGAGCTGCTTCG-3’
sra out *F*	5’–GTTTGATATCGCCTTCCCAGTGT-3’
sra out *R*	5’–GTCGGCCTCAAGTATAAAGCAGAT-3’

Для получения генного нокаута синтезировали канамициновую кассету методом полимеразной цепной реакции (ПЦР) на мат-

рице плазмиды pKD13 [4]. Праймеры *sra L*/*R* подобраны таким образом, чтобы ген устойчивости к канамицину, фланкированный FRT-сайтами, был также окружен участками, гомологичными фрагментам ДНК, фланкирующим нокаутируемый ген. Методом электропорации трансформировали канамициновую кассету в клетки штамма BW25141, содержащие плазмиду pKD46, в которой закодирована λ Red система [4]. Посредством гомологической рекомбинации происходит замена нокаутируемого гена на канамициновую кассету. В результате получены 12 клонов, которые проверены на наличие нокаута с использованием двух пар праймеров: *k*2/*kt* [4] (рис. 1), отжигающихся на канамициновой кассете, а также подобранных нами праймеров *sra* out *F*/*R* (рис. 2), фланкирующих делетируемый участок ДНК. В первом случае при успешном нокауте гена размер ПЦР-продукта равен 471 паре нуклеотидов (п.н.), при отрицательном результате праймеры не отжигаются. Согласно полученной электрофореграмме, все 12 клонов демонстрировали ПЦР-продукт размером около 500 п.н. (см. рис. 1). Во втором случае на успешное делетирование гена указывает наличие ПЦР-продукта размером 2066 п.н., а на дикий тип – 937 п.н. Согласно полученным результатам, клон 11 демонстрировал ПЦР-продукт размером около 2000 п.н., а остальные клоны, как и родительский штамм, – около 1000 п.н. (см. рис. 2). Таким образом, единственым клоном из сконструированных нами в процессе данной работы, в котором ген *sra* был нокаутирован, является клон 11.

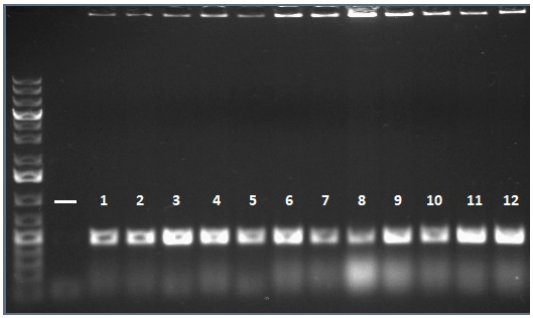


Рис. 1. Электрофореграмма, где «–» –отрицательный контроль (без матрицы), 1–12 – клоны

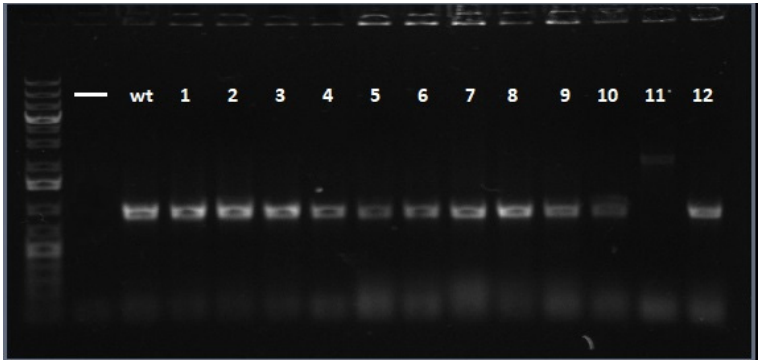


Рис. 2. Электрофореграмма, где «–» – отрицательный контроль (без матрицы), wt – BW25141, 1–12 – клоны

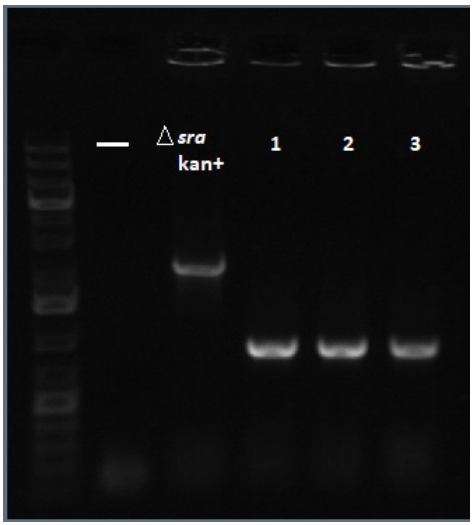


Рис. 3. Электрофореграмма, где «–» – отрицательный контроль (без матрицы), Δ*sra* kan+ – BW25141Δ*sra* клон 11 (с геном устойчивости к канамицину), 1–3 – клоны

Для элиминирования гена устойчивости к канамицину в клетки клона 11 методом электропорации трансформировали плазмиду pCP20, в которой закодирована FLP-рекомбиназа, распознающая FRT-сайты [4]. В результате получено 16 клонов, которые

проверены на присутствие плазмиды pCP20 после излечивания (по способности расти на ампициллине (25 мкг/мл) и на наличие канамициновой кассеты (по способности расти на канамицине (25 мкг/мл). В результате отобрано 3 клона, которые показали отсутствие роста на обоих антибиотиках. С данными клонами проведена ПЦР-проверка с использованием праймеров *sra* out *F*/*R* (рис. 3). При наличии гена устойчивости к канамицину размер ПЦР-продукта равен 2066 п.н., а в случае элиминирования – 860 п.н. Полученные результаты демонстрируют, что во всех 3 клонах ПЦР-продукт равен около 900 п.н., т.е. ген устойчивости к канамицину успешно элиминирован, а ген *sra* нокаутирован. Данные секвенирования подтвердили полученные результаты.

Таким образом, нами получен делеционный генно-инженерный штамм BW25141Δ*sra.*

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (АААА-А19-119112290009-1).

Список литературы

1. Lewis K. Persister cells // Annu Rev Microbiol. – 2010. – Vol. 64. – P. 357–72.

2. Song S. Wood T.K. ppGpp ribosome dimerization model for bacterial persister formation and resuscitation // S. Biochem Biophys Res Commun. – 2020. – Vol. 523, № 2. – P. 281–286.

3. Ribosome Hibernation / T. Prossliner, K. Skovbo Winther, M.A. Sørensen, K. Gerdes // Annu Rev Genet. – 2018. – Vol. 52. – P. 321–348.

4. Datsenko K.A., Wanner B.L. One-step inactivation of chromosomal genes in *Escherichia coli* K-12 using PCR products // Proc Natl Acad Sci U S A. – 2000. – Vol. 97, № 12. – P. 6640–5.

Об авторах

Хаова Елена Александровна – аспирант лаборатории адаптации микроорганизмов, Институт экологии и генетики микроорга-

низмов УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН, e-mail: akkuzina-elena510@mail.ru

Ткаченко Александр Георгиевич – доктор медицинских наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заведующий лабораторией адаптации микроорганизмов, Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН; профессор кафедры «Микробиология и иммунология», Пермский государственный национальный исследовательский университет, e-mail: agtkachenko@iegm.ru

УДК 544.273.3

Е.А. Цыпкина, Л.С. Пан

БИОРАЗЛАГАЕМЫЕ СОРБЕНТЫ НА ОСНОВЕ МОРСКИХ ВОДОРОСЛЕЙ И ЙОДА ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ

В настоящее время набирает популярность концепция экономики замкнутого цикла, основными подходами которой являются минимизация отходов производства и потребления, а также максимальная конверсия сырья в полезные продукты. Морские водоросли, в отличие от других природных материалов, не требуют сложной обработки для синтеза сорбента, а после использования их можно не только утилизировать методом компостирования, но и регенерировать для повторного использования, т.к. водоросли являются биоразлагаемым материалом. Получены биосорбенты на основе морских водорослей видов *Cystoseira barbata, Zostera marina, Phyllophora nervosa* и дезинфицирующих агентов: йода и йодинола. Определена их эффективность при обеззараживании талой и речной вод. Показана возможность регенерации сорбентов и их повторного использования.

Ключевые слова: биоразлагаемые сорбенты, морские водоросли, обеззараживание воды, йод, йодинол, безотходная технология.

E.A. Tsypkina, L.S. Pan

BIODEGRADABLE SORBENTS BASED ON SEA ALGAE AND IODINE FOR WATER DISINFECTING

Currently, the concept of the circular economy is gaining popularity, the main approaches of which are the minimization of production and consumption waste, as well as the maximum conversion of raw materials into useful products. Seaweed, unlike other natural materials, does not require complex processing for the synthesis of a sorbent, and after use, they can not only be disposed of by composting, but also regenerated for reuse, since algae are a biodegradable material. Biosorbents based on seaweed species *Cystoseira barbata, Zostera marina, Phyllophora nervosa* and disinfecting agents: iodine and iodinol have been obtained. Their effectiveness in the disinfection of melted and river waters has been determined. The possibility of regeneration of sorbents and their reuse is shown.

Keywords: biodegradable sorbents, seaweed, water disinfection, iodine, iodinol, waste-free technology.

Биосорбенты на основе морских водорослей видов *Cystoseira barbata, Zostera marina*, *Phyllophora nervosa* и йода являются эффективными сорбентами для обеззараживания воды [1]. Высокая обеззараживающая способность достигается за счет образования клатратных соединений между функциональными группами, находящимися на поверхности водорослей и йода, благодаря чему обеспечивается высокая сорбционная емкость по дезинфицирующему агенту и устойчивость полученных соединений. Пористая поверхность способствует более легкому проникновению дезинфицирующего агента в структуру водорослей, а сорбционная способность – его достаточному поглощению [2]. В процессе обеззараживания не образуется канцерогенных веществ ввиду отсутствия токсичных веществ в составе водорослей. Биоразлагаемые сорбенты подходят для многократного использования. Регенерация таких сорбентов не требует определенной техники, а после отработки водоросли можно компостировать, что обеспечивает безотходность технологии [3].

В данной работе были синтезированы биосорбенты на основе морских водорослей вида *Cystoseira barbata* (Cb)*, Zostera marina* (Zm), *Phyllophora nervosa* (Pn) и дезинфицирующих агентов: йода или йодинола (Cb + I_2; Cb + йодинол; Zm + I_2; Zm + йодинол; Pn + I_2; Pn + йодинол). Эти сорбенты были испытаны на сточной воде на обеззараживающую способность (0,1 г на 100 мл воды). Эффективность обеззараживания воды (в %) определяли по разнице КОЕ/мл до и после очистки воды методом десятичных разведений и последующим высевом на чашки Петри для определения обсемененности. Результаты представлены на рисунке.

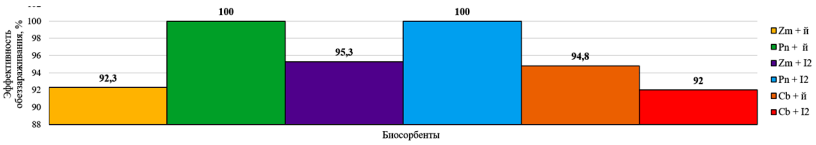


Рис. Эффективность обеззараживания сточной воды биоразлагаемыми сорбентами

Из полученных результатов видно, что все виды биосорбентом обеззараживают воду более чем на 90 %. Сорбенты на основе водорослей вида *Phyllophora nervoza* обладают наибольшей эффективностью обеззараживания ввиду широкой внутренней полости, которая подходит для включения крупных молекул клатратных соединений. Другие виды сорбентов имеют меньшую эффективность обеззараживания из-за внутренней жесткой стенки водорослей.

В связи с этим биосорбенты Pn + I_2 и Pn + йодинол были выбраны для обеззараживания талой и речной воды (снег был взят с территории учебно-лабораторного комплекса ПНИПУ, 26.04.2022; речная вода была взята из р. Кама на территории Кировского района города Перми, 10.05.2022). Определение эффективности обеззараживания проводилось по вышеописанной методике. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Эффективность обеззараживания талой и речной воды разными массами сорбентов

Описание сорбентов	Доза сорбента, г/л					
	0,01	0,02	0,06	0,1	0,2	1,0
	Эффективность обеззараживания, %					
Pn + I_2 (талая вода)	44,19	45,28	92,75	99,71	99,70	100
Pn + йодинол (талая вода)	16,67	26,0	92,75	99,71	99,70	100
Pn + I_2 (речная вода)	41,59	47,40	88,84	90,65	92,47	100
Pn + йодинол (речная вода)	23,42	42,00	92,50	92,67	92,87	100

Исходя из полученных результатов видно, что биосорбенты Pn + I_2 и Pn + йодинол способны обеззараживать речную и талую воду: высокая эффективность обеззараживания достигается при дозе сорбента 0,06 г/л, а полное обеззараживание – при 1,0 г/л.

Далее был проведен эксперимент по регенерации всех видов биосорбентов. Регенерация сорбентов включает предварительную очистку водорослей от загрязнений и повторное насыщение дезинфицирующим агентом. В качестве анализируемой воды была вы-

брана речная вода (вода была взята из р. Кама на территории Кировского района города Перми: для регенерации 1 – 31.10.2022; для регенерации 2 – 14.11.2022; для регенерации 3 – 28.11.2022). Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Эффективность обеззараживания речной воды регенерированными сорбентами

Номер регенерации	Биосорбенты					
	Cb + I_2	Cb + йодинол	Zm + I_2	Zm + йодинол	Pn + I_2	Pn + йодинол
	Эффективность обеззараживания, %					
Синтез сорбента	92,0	94,8	95,3	92,3	100	100
Регенерация № 1	90,1	89,1	91,3	92,1	95,8	92,5
Регенерация № 2	89,4	78,1	90,0	89,7	93,8	87,5
Регенерация № 3	80,2	76,4	83,8	81,0	86,0	83,6

Показано, что полученные сорбенты можно регенерировать и использовать повторно, но уже на стадии доочистки воды, т.к. структура водорослей нарушается, из-за чего насыщение их йодом уменьшается. Это связано с полисахаридным строением водорослей: во время насыщения водорослей йодом полисахариды, входящие в состав водорослей, связываются с йодом с образованием клатратных соединений. После использования сорбентов йод вымывается с поверхности водорослей, клатраты расщепляются, некоторые полисахариды распадаются в воде, поэтому их структура нарушена.

Таким образом, показана возможность создания недорогого биоразлагаемого сорбента на основе морских водорослей и йода для обеззараживания питьевой воды.

Список литературы

1. Цыпкина Е.А., Пан Л.С. Получение биосорбентов для обеззараживания воды на основе морских водорослей и йода // Химия. Экология. Урбанистика. – 2021. – № 2021–2. – С. 197–200.

2. Politaeva N., Mukhametova L. Physico-chemical studies of sorption materials based on biomass waste // 2020 International conference on efficient production and processing, ICEPP 2020 Prague. – 2020. – P. 02003.

3. Пат. 2272799 Российская Федерация, МПК C 05 F 11/00. Способ производства удобрения из морских водорослей / Шевченко В.Н.; патентообладатели ФГУП АЗНИИРХ. – № 2004123679/12; заявл. 02.08.2004; опубл. 27.03.2006.

Об авторах

Цыпкина Екатерина Алексеевна – магистрант кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: Cypkinakatya@mail.ru

Пан Лариса Сергеевна – кандидат химических наук, доцент кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: vvv@pstu.ru

УДК 663.18

**М.А. Чаленко, Ю.М. Епишкина, Н.Ю. Хромова,
Ю.М. Аверина, Б.А. Кареткин, И.В. Шакир, В.И. Панфилов**

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФИЛЬТРАЦИИ КАК СТАДИИ ПОЛУЧЕНИЯ БАКТЕРИОЦИНОВ НА РАСТИТЕЛЬНОМ СЫРЬЕ

В работе оценена возможность применения керамических мембран с нанесенным слоем оксида алюминия для разделения бактериоцинсодержащих клеточных суспензий лактобактерий, полученных путем ферментации гидролизатов ржаных отрубей, с целью выделения бактериоцинов. Установлено, что из-за наличия твердого остатка растительного сырья для повышения производительности ультрафильтрации целесообразно предварительно осуществлять вакуум-фильтрацию через бельтинг.

Ключевые слова: лактобактерии, бактериоцины, растительное сырье, ржаные отруби, фильтрация.

**M.A. Chalenko, Yu.M. Epishkina, N.Yu. Khromova,
Yu.M. Averina, B.A. Karetkin, I.V. Shakir, V.I. Panfilov**

INVESTIGATION OF FILTRATION PROCESSES AS A STAGE OF OBTAINING BACTERIOCINS ON PLANT RAW MATERIALS

The paper evaluates the possibility of using ceramic membranes with a layer of aluminum oxide applied to separate bacteriocin-containing cell suspensions of lactobacilli obtained by fermentation of rye bran hydrolysates in order to isolate bacteriocins. It was found that due to the presence of a solid phase, ultrafiltration is advisable to combine with the preliminary separation of the non-hydrolyzed residue of vegetable raw materials by vacuum filtration through belting.

Keywords: lactic acid bacteria, bacteriocins, green raw materials, rye bran, filtration.

В настоящее время доказано, что некоторые микроорганизмы характеризуются способностью синтезировать на рибосомах биологически активные вещества белковой природы, обладающие антибактериальной активностью – бактериоцины [1–3]. Бактериоцины

молочнокислых бактерий активно исследуют, поскольку они считаются многообещающим продуктом со множеством вариантов применения. В хозяйственной деятельности человека они имеют значительный потенциал для использования в качестве биоконсервантов, альтернативы антибиотикам, стимуляторов роста и модуляторов микрофлоры кишечника, однако высокая себестоимость производства пока ограничивает их использование в крупных масштабах. Для устранения этого сдерживающего фактора активно ведется поиск инновационных технологических подходов, среди которых рассматривают модернизацию различных этапов получения бактериоцинов, в том числе оптимизацию состава питательных сред для культивирования бактериоциногенных бактерий, замену дорогостоящих сорбционных и седиментационнных методов при их выделении и очистке.

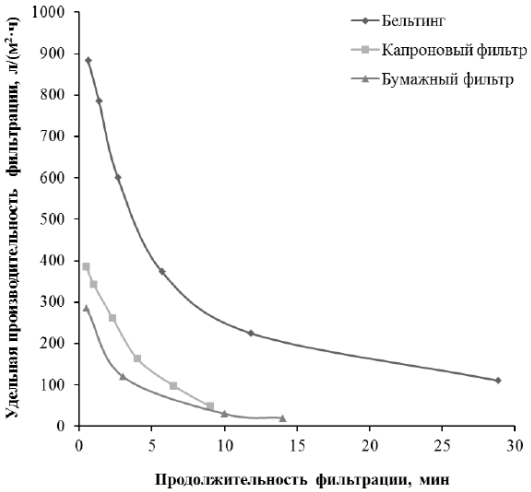
Многообещающим подходом для реализации промышленного производства бактериоцинов, на наш взгляд, является объединение технологий биоконверсии растительного сырья с мембранными процессами разделения клеточных суспензий, в особенности с применением керамических мембран. Ранее была показана возможность использования гидролизатов ржаных отрубей для культивирования лактобактерий и получения бактериоцинсодержащих клеточных суспензий, а также отмечено стимулирование процесса биосинтеза твердой фазы в среде [4]. Целью настоящей работы была оценка возможности применения ультрафильтрационных методов на основе керамических мембран для разделения бактериоцинсодержащих клеточных суспензий, полученных при глубинном гетерофазном культивировании лактобактерий в гидролизатах ржаных отрубей.

В качестве объектов исследований использовали штамм *Lactobacillus acidophilus* B-2105 и тест-штаммы *Bacillus megaterium* B-3750, *B. coagulans* B-4521, *B. coagulans* B-9868, *B. coagulans* B-10468, *B. cereus* B-8076 и *Salmonella enterica* B-5300, полученные из Национального биоресурсного центра Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов НИЦ «Курчатовский институт» (ВКПМ, Москва, Россия). Для получения инокулята лактобактерии культивировали в стандартной среде MRS в течение 24 ч при температуре 37 °C.

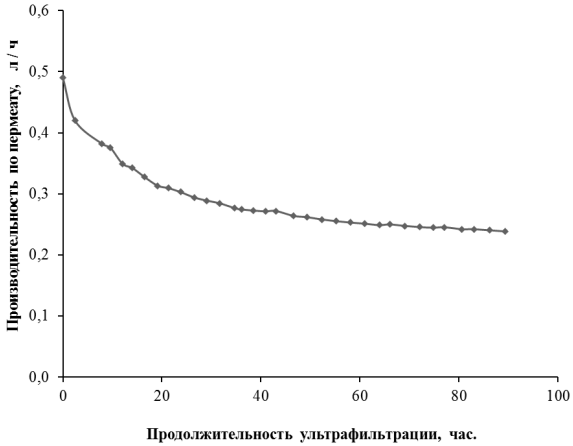
Для получения гидролизата ржаные отруби ООО «Продуктовая Аптека» (Саратов, Россия) ресуспендировали в дистиллированной воде в соотношении 1:20 и последовательно обрабатывали ферментными препаратами: протеолитическим препаратом Protex 40E («Дженекор Даниско», Бельгия) в дозировке 2 % от содержания белка в субстрате, при pH 8,6 и температуре 60 °С в течение 90 мин и целлюлолитическим препаратом Cellic CTec 2 (АО «Novozymes A/S», Дания) в дозировке 12,5 % от содержания сухого вещества в субстрате, при pH 5,0 и температуре 50 °С в течение 90 мин. По окончании гидролиза в энзиматических гидролизатах устанавливали pH 6,6–6,8 и стерилизовали в автоклаве при 121 °С в течение 30 мин.

Бактериоцинсодержащую клеточную суспензию получали путем гетерофазного культивирования лактобактерий в гидролизате ржаных отрубей. Посевная доза составляла 5 % об., продолжительность ферментации 18 ч при температуре 37 °С. Оценку активности бактериоцинов против тестовых штаммов различных групп микроорганизмов осуществляли методом диффузии в агар [5]. В качестве модуля для ультрафильтрации использовали трубчатый керамический муллитокорундовый мембранный фильтр АкваКон 0,15 с техническими характеристиками: поверхность мембран 0,15 м^2, рабочий размер пор 0,07÷0,2 мкм, рабочее давление 0,2÷0,5 МПа, производительность по дистиллированной воде – не менее 15 л/ч. Циркуляцию клеточной суспензии осуществляли насосом LongerPump WT600-2J.

В результате культивирования получали суспензию с содержанием клеток 8,9±0,2 log (КОЕ/мл). При подаче бактериоцинсодержащей гетерофазной клеточной суспензии на модуль ультрафильтрации на основе керамических мембран было обнаружено, что скорость фильтрации равнялась нулю. Поэтому были проведены исследования по подбору фильтрующего материала для удаления частиц твердой фазы – непрогидролизованного остатка ржаных отрубей. Удельная производительность фильтрации через бельтинг была значительно выше, чем через капроновый и бумажный фильтр (рис. 1, *а*). Затем бактериоцинсодержащую клеточную суспензию, полученную после фильтрования через бельтинг, подавали на мембранный модуль. Динамика фильтрации представлена на рис. 1, *б*.



а



б

Рис. Динамика фильтрации через фильтрующие материалы (*а*) и на керамических мембранах с нанесенным слоем оксида алюминия (*б*)

Интенсивное снижение производительности фильтрации на керамических мембранах происходило в первые 20 мин. Селективность по клеткам была близка к 100 %. Исследование антимикроб-

ной активности против тестовых культур показало наличие зон подавления роста против штаммов *p. Bacillus*: B-3750 и B-9868 как в исходной биосуспензии, так и в фильтрате.

Таким образом, при культивировании лактобацилл в средах на основе ферментативного гидролизата ржаных отрубей целесообразно проводить последовательно отделение крупнодисперсной твердой фазы (непрогидролизованного остатка) вакуум-фильтрацией через бельтинг, а клеток на керамической мембране с покрытием из оксида алюминия.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 21-19-00367).

Список литературы

1. Стоянова Л.Г. Новые бактериоцины лактококков и их практическое использование. – М.: Изд-во МГУ, 2008. – № 2008. – С. 45.
2. Cotter P.D., Hill C., Ross R.P. Bacteriocins: developing innate immunity for food // Nature Reviews Microbiology. – 2005. – Vol. 3, № 10. – P. 777–788.
3. Выделение бактериоцинов лактобацилл из ферментированных бульонов с использованием мембран / М.П. Захароф [и др.] // Биохимия процессов. – 2013. – Т. 48, № 8. – С. 1252–1261.
4. Evaluation of Rye Bran Enzymatic Hydrolysate Effect on Gene Expression and Bacteriocinogenic Activity of Lactic Acid Bacteria / Epishkina J.M. [et al.] // Fermentation. – 2022. – Vol. 8, № 12. – P. 752.
5. Schillinger U., Kaya M., Lücke F.K. Behaviour of Listeria monocytogenes in meat and its control by a bacteriocin-producing strain of Lactobacillus sakei // J. Appl. Bacteriol. – 1991. – № 70. – P. 473–478.

Об авторах

Чаленко Марина Андреевна – магистрант кафедры «Биотехнология», Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, e-mail: mari.chalenko@yandex.ru

Епишкина Юлия Михайловна – аспирант, ведущий инженер кафедры «Биотехнология», Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, e-mail: epishkina.i.m@muctr.ru

Хромова Наталья Юрьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Биотехнология», Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, e-mail: khromova.n.i@muctr.ru

Аверина Юлия Михайловна – кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Логистика и экономическая информатика», Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, e-mail: averina.i.m@muctr.ru

Кареткин Борис Алексеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Биотехнология», Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, e-mail: karetkin.b.a@muctr.ru

Шакир Ирина Васильевна – кандидат технических наук, профессор кафедры «Биотехнология», Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, e-mail: shakir.i.v@muctr.ru

Панфилов Виктор Иванович – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Биотехнология», Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, e-mail: panfilov.v.i@muctr.ru

УДК 504.53.062.4:595.1:579.2

С.Б. Чачина, Е.П. Денисова

БИОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БАКТЕРИЙ-НЕФТЕДЕСТРУКТОРОВ НА ОСНОВЕ МИКРООРГАНИЗМОВ *PSEUDOMONAS PUTIDA, PSEUDOMONAS AERUGINOSA, BACILLUS SUBTILIS, RHODOCOCCUS*

Загрязнение нефтью является серьезной глобальной экологической проблемой. Биоремедиация и вермиремедиация рассматриваются как эффективный подход для восстановления загрязненных нефтью сред. В этом исследовании были выделены штаммы микроорганизмов из копролитов дождевых червей. Четыре изолята были отобраны в соответствии с «методом диффузии с отверстиями» и выращены в сырой нефти. Их культивировали в среде с минеральной солью, в которой в качестве единственного источника углерода использовалась сырая нефть. Биохимические, морфологические и анализ масс спектрометрии определили такие виды бактерий, как *Pseudomonas putida, Pseudomonas aeruginosa, Bacillus subtilis и Rhodococcus*. Эти бактерии обладали высокой углеводородокисляющей способностью. Они были способны разлагать 52, 58, 46, 60 % алифатических соединений.

Ключевые слова: нефть, микроорганизмы, дождевые черви, деградация ПАУ.

S.B. Chachina, E.P. Denisova

BIOCHEMICAL PROPERTIES OF PETRO-DESTRUCTOR BACTERIA BASED ON MICROORGANISMS *PSEUDOMONAS PUTIDA*, *PSEUDOMONAS AERUGINOSA*, *BACILLUS SUBTILIS*, *RHODOCOCCUS*

Oil pollution is a serious global environmental problem. Bioremediation and vermiremediation are considered as an effective approach for the recovery of oil-contaminated media. In this study, strains of microorganisms were isolated from earthworm coprolites. Four isolates were selected according to the «hole diffusion method» and grown in crude oil. They were cultivated in an environment with mineral salt, in which crude oil was used as the only carbon source. Biochemical, morphological and mass spectrometry analysis have identified such bacterial species as *Pseudomonas putida, Pseudomonas aeruginosa, Bacillus subtilis* and *Rhodococcus*.

These bacteria had a high hydrocarbon-oxidizing ability. They were capable of decomposing 52, 58, 46, 60 % aliphatic compounds.
Keywords: oil, microorganisms, earthworms, degradation.

Цель – выделить микроорганизмы – нефтедеструкторы из копролитов дождевых червей и разработать микробиологические препараты-нефтедеструкторы на основе данных микроорганизмов.

Внесение дождевых червей в почву может стимулировать деградацию углеводородов различными способами. Косвенно, секрецией слизи дождевой червь может стимулировать рост углеводородоразлагающих микроорганизмов. Кроме того, полезные микробы, например азотфиксирующие бактерии, накапливаются в экскрементах червя. Также рытье нор дождевыми червями улучшает аэрацию, перемешивает почву, увеличивает площадь поверхности для почвенных микробных взаимодействий, может подавлять почвенные патогены и нейтрализовать pH [1]. Обнаружено, что бактерии *Rhodococcus,* выделенные из копролитов червей, могут использовать антрацен, фенантрен, пирен и флуорантен в качестве единственного источника углерода и энергии [2]. Morgan, M. [3] изучали бактерии, связанные с ЖКТ и экскрементами дождевых червей, и нашли бактерии, такие как *Pseudomonas, Paenibacillus, Azoarcus*, *Spiroplasm* и *Acidobacterium*. Некоторые из этих бактерий, такие как *Pseudomonas, Alcaligenes и Acidobacterium,* могут деградировать углеводороды.

Кроме того, грибы, такие *как Penicillium, Mucor* и *Aspergillus,* были выделены из кишечника дождевого червя [4], а также грибки рода *Penicillum*, которые способны деградировать ПАУ. Дождевые черви могут также напрямую способствовать удалению углеводородов из почвы путем выделения и/или стимулирования почвенных микроорганизмов. Известно, что дождевые черви могут напрямую регулировать микробные популяции, потребляя большие количества почвы [5]. Это приводит к вымиранию некоторых микроорганизмов и распространению других в пищеварительном тракте, дрилосфере и фекалиях дождевых червей.

Была проведена исследовательская работа по изучению биоремедиации почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, с использованием червей *Eisenia fetida, Dendrobaena veneta, Eisenia andrei и* четырех штаммов микроорганизмов. Проверялась эффективность взаимодействия дождевых червей с микроорганизмами в загрязненной среде через различные сочетания: нефть и разные виды червей, разные штаммы микроорганизмов.

1. Выделение углеводородокисляющих микроорганизмов

Минеральная среда Раймонда

Использовали как минимальную среду для культивирования микроорганизмов-деструкторов ПАУ. Состав среды, г/л: NH_4NO_3 – 2, KH_2PO_4 – 2, Na_2HPO_4 – 3, NaCl – 3, $MgSO_4$ – 0,2, Na_2CO_3 – 0,1, $CaCl_2$ – 0,01, $MnSO_4$ – 0,02, $FeSO_4$ – 0,01, вода до 1 л. Для получения плотной среды дополнительно вносили агар в количестве 1,7–2 масс. %. pH среды до стерилизации – 6,8–7,2. Стерилизацию проводили в автоклаве острым паром при избыточном давлении 1 атм в течение 40 мин. Среду Раймонда разлили в 15 чашек Петри. Затем в чашки Петри высеяли культуры образцов копролитов дождевых червей.

2. Определение состава микроорганизмов копролитов дождевых червей методом MALDI-TOF

Состав микроорганизмов в микробиологических препаратах и копролитах червей был определен методом MALDI-TOF (матричной лазерной десорбционной масс-спектрометрии) с использованием системы VITEK MS.

Микроорганизмы-нефтедеструкторы из копролитов дождевых червей.

Rhodococcus sp.

Грамположительные, неподвижные, факультативно-анаэробные, аспорогенные палочки. Штамм растет при температуре +4…+30 °С; в диапазоне pH 5,5–8,0, в среде с добавлением 2 % NaCl. На МПА формирует пастообразные колонии кремового цвета. На минеральной среде Раймонда с нефтью растет в виде колоний кремового цвета. *Rhodococcus sp.* обладает высокой углеводородокисляющей и эмульгирующей активностью (80) (табл. 1). Дан-

ный штамм показал положительный тест на каталазу, цитрат Na, уреазу, инозит, сорбит, индол, глюкозу (табл. 2). *Rhodococcus sp.* обладает высокой чувствительностью к антибиотикам цифотаксиму и цефтриаксону.

Таблица 1

Характеристики штаммов микроорганизмов

Наименование	Грам-принадлежность	Диапазон температуры роста, °С	Эмульгирующая активность	УВ-окисляющая активность
Bacillus subtilis	Грам + палочки	+5… +40	32	+++
Pseudomonas aeruginosa	Грам – палочки	+8… +40	70	+++
Pseudomonas putida	Грам – палочки	+10… +40	75	+++
Rhodococcus sp.	Грам + палочки	+5… +25	80	+++

Таблица 2

Биохимические свойства микроорганизмов

Наименование	Оксидаза	Каталаза	Цитрат Na	Уреаза	Инозит	Сорбит	Индол	Глюкоза
Pseudomonas aeruginosa	+	+	–	–	–	+	–	–
Pseudomonas putida	+	+	+	–	–	–	–	–
Bacillus subtilis	–	+	–	+	+	–	–	–
Rhodococcus	–	+	+	+	+	+	+	+

Bacillus subtilis

Факультативно-анаэробные, грамположительные, спорообразующие палочки. Штамм растет при температуре +8…+37 °С; в диапазоне pH от 6,0 до 8,0; растет в 2%-м солевом бульоне. В МПБ растет с образованием морщинистой пленки на поверхности. На МПА формирует морщинистые суховатые колонии бежевого цвета, которые со временем темнеют. Хемоорганогетеротроф, аммонифицирует белки, расщепляет крахмал, гликоген. Развивается при температуре +5…+45 °С. На минеральной среде с нефтью растет в виде непрозрачных сероватых колоний средних размеров. *Bacillus subtilis* обладает высокой углеводородокисляющей способностью, но низкой эмульгирующей активностью (35) (см. табл. 1). Данный штамм показал положительную реакцию на каталазу, инозит и уреазу (см. табл. 2). *Bacillus subtilis* обладает высокой чувстви-

тельностью к антибиотикам пенициллинового ряда, цифотаксиму и цефтриаксону (табл. 3).

Таблица 3

Устойчивость микроорганизмов к антибиотикам

Наименование	Оксацилин	Метранидазол	Ампицилин	Бензил пенициллин	Цефатаксим	Цефтриаксон
Pseudomonas aeruginosa	6	6	30	32	6	25
Pseudomonas putida	6	6	6	6	15	28
Bacillus subtilis	6	6	22	20	29	32
Rhodococcus	6	6	6	6	36	35

Pseudomonas aeruginosa. Облигатный аэроб, растет на питательных средах в широком диапазоне температур от +4 до +40 °С. На МПА образует зеленоватые слизистые колонии. Образует протеазы. *Pseudomonas aeruginosa* показала высокую углеводородокисляющую способность и эмульгирующую активность (70) (см. табл. 1). Данный штамм показал положительный тест на оксидазу, каталазу и сорбит (см. табл. 2). *Pseudomonas aeruginosa* обладает высокой чувствительностью к антибиотикам пенициллинового ряда и цефтриаксону (табл. 3).

Pseudomonas putida. Грамотрицательные подвижные палочковидные сапротрофные почвенные бактерии 0,2–0,7 мкм. Аэробы. На МПА образуют круглые, гладкие колонии с блестящей поверхностью, желтоватые, прозрачные. Растут в широком диапазоне температур от +10 до +40 °С. Спор не образуют. *Pseudomonas putida* показала высокую углеводородокисляющую способность и эмульгирующую активность (75) (см. табл. 1).

Данный штамм показал положительный тест на оксидазу, каталазу и цитрат Na (см. табл. 2). *Pseudomonas putida* обладает высокой чувствительностью к антибиотикам цифотаксиму и цефтриаксону (см. табл. 3).

При использовании пробиотических микроорганизмов наибольшая эффективность рекультивации нефтезагрязненной почвы отмечена при совместном использовании штаммов микроорганизмов нефтедеструкторов *Bacillus subtilis* и *Rhodococcus* совместно

с *E. andrei* – 97–99 % и *D. veneta Pseudomonas putida* и *Pseudomonas aeruginosa* – 94–96 %, а также *Eisenia fetida* и *Pseudomonas putida* (90 %), *Eisenia fetida* и *Rhodococcus* (90 %).

Список литературы

1. Edwards C.A., Bohlen C.J. Biology and Ecology of Earthworms. – 3rd ed. – London: Chapman & Hall, 1996. – 426 p.
2. Metabolism of anthracene by a Rhodococcus species / D. Dean-Ross [et al.] // FEMS Microbiol. Lett. – 2001. – Vol. 204. – № 1. – P. 205–211.
3. Morgan M., Burrows I. Earthworm/microorganisms interactions // Rothamsted Experimental Station Report (Ed.). – 1982. – P. 104.

Об авторах

Чачина Светлана Борисовна – кандидат биологических наук, доцент кафедры «Биотехнология, технология общественного питания и товароведение», Омский государственный технический университет, e-mail: ksb3@yandex.ru

Денисова Елизавета Павловна – магистрант кафедры «Биотехнология, технология общественного питания и товароведение», Омский государственный технический университет, e-mail: liza.chachina@yandex.ru

УДК 504.53.062.4:595.1:579.2

С.Б. Чачина, Е.П. Денисова

РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЬЮ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕРМИКУЛЬТУРЫ ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ И МИКРООРГАНИЗМОВ-НЕФТЕДЕСТРУКТОРОВ

В данной работе изучалось влияние отдельных штаммов микроорганизмов-нефтедеструкторов, выделенных из копролитов дождевых червей (*Pseudomonas putida, Pseudomonas aeruginosa, Bacillus subtilis* и *Rhodococcus)* на выживаемость червей в нефтезагрязненном субстрате, рост их численности и степень деградации ПАУ. Отмечено стимулирующее влияние всех штаммов на рост численности червей *Eisenia fetida, Dendrobaena veneta, Eisenia andrei* в нефтезагрязненном субстрате. При внесении штаммов микроорганизмов численность червей увеличивалась в два раза. При использовании пробиотических микроорганизмов наибольшая эффективность рекультивации нефтезагрязненной почвы отмечена при совместном использовании штаммов микроорганизмов нефтедеструкторов *Bacillus subtilis* и *Rhodococcus* совместно с *E. andrei* – 97–99 % и *D. veneta Pseudomonas putida* и *Pseudomonas aeruginosa* – 94–96 %, *а также Eisenia fetida* и *Pseudomonas putida* (90 %)*, Eisenia fetida* и *Rhodococcus* (90 %).

Ключевые слова: нефть, микроорганизмы, дождевые черви, деградация ПАУ.

S.B. Chachina, E.P. Denisova

RECULTIVATION OF OIL-CONTAMINATED SOILS USING VERMICULTURE OF EARTHWORMS AND MICROORGANISMS-OIL DESTRUCTORS

In this paper, we studied the effect of individual strains of microorganisms-oil destructors isolated from coprolites of earthworms (Pseudomonas *putida, Pseudomonas aeruginosa, Bacillus subtilis* and *Rhodococcus*) on the survival of worms in an oil-contaminated substrate, the growth of their numbers and the degree of degradation of PAHs. The stimulating effect of all strains on the growth of the number of worms *Eisenia fetida, Dendrobaena veneta, Eisenia andrei* in an oil-contaminated substrate was noted. When introducing strains of microorganisms, the number of worms doubled. When using probiotic microorganisms, the greatest efficiency of recultivation of oil–contaminated soil was noted with the joint use of

strains of microorganisms of the petro–destructors *Bacillus subtilis* and *Rhodococcus* together with E. andrei – 97–99 % and *D. veneta Pseudomonas putida* and *Pseudomonas aeruginosa* – 94–96 %, as well as *Eisenia fetida* and *Pseudomonas putida* (90 %), *Eisenia fetida* and *Rhodococcus* (90 %).

Keywords: oil, microorganisms, earthworms, degradation of PAHs.

Цель – разработать микробиологические препараты-нефтедеструкторы на основе данных микроорганизмов и проанализировать способность микроорганизмов к деструкции нефти.

Помимо использования химических веществ и механических методов очистки нефти в окружающей среде, одной из наиболее перспективных технологий биоремедиации является использование дождевых червей в процессе, известном как вермиремедиация.

Дождевые черви считаются экологическими инженерами почвы. Они известны своим значительным воздействием на биохимические процессы в почве [4]. Дождевые черви питаются почвенными микроорганизмами, разлагающимися органическими остатками. В своем кишечнике дождевые черви содержат миллионы микроорганизмов, разлагающих органические остатки и фиксирующие азот. Некоторые из важных видов, которые фиксируют азот, – *Kluyvera ascorbate, Rhizobium sp., Bacillus sp., Serratia sp.* [7].

В своем желудке и кишечнике черви выделяют протеазы, амилазы, хитиназы и ферменты целлюлазы, которые приводят к быстрой биохимической трансформации органических веществ. Дождевые черви потребляют органические материалы, перемещают их по своему кишечнику, изменяют pH разложившегося вещества, уничтожают нежелательные микробы с последующим добавлением обработанных материалов (целлюлозные), которые смешиваются с микробами и минералами в почве в виде агрегатов, называемых «вермикастами» [8]. В основном дождевые черви утилизируют большое количество органического вещества за один день, равное 1/2 веса их тела. Сообщается, что *Eisenia fetida* ежедневно потребляет органические вещества со скоростью, равной ее массе тела. Увеличение скорости естественного разложения и биодеградации на 60–80 % происходит при участии дождевого червя. Микробное сообщество и дождевые черви функционируют в синергии

и симбиозе, улучшая рекультивацию почвы при условии благоприятных условий [9]. Идея использовать дождевых червей для биогумуса в садах и улучшения урожая известна уже много веков, но ее применение в биоремедиации, согласно имеющимся данным, было случайно обнаружено после взрыва химического завода Севезо в 1976 г. в Италии, когда обширная территория была загрязнена чрезвычайно токсичным химическим веществом, таким как 2,3,7,8-тетрахлордибензо-n-диоксин (TCDD). Несколько представителей фауны погибли, за исключением некоторых видов дождевых червей, которые выжили и аккумулировали загрязнитель.

Была проведена исследовательская работа по изучению биоремедиации почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, с использованием червей *Eisenia fetida, Dendrobaena veneta, Eisenia andrei* и 4 штаммов микроорганизмов. Проверялась эффективность взаимодействия дождевых червей с микроорганизмами в загрязненной среде через различные сочетания: нефть и разные виды червей, разные штаммы микроорганизмов.

Определение содержания нефти или нефтепродуктов в почве проводилось по методике, предложенной и используемой институтом экспериментальной метрологии (МУК 4.1.1956-05 Определение концентрации нефти в почве методом инфракрасной спектрофотометрии).

В качестве объектов исследования были использованы следующие виды дождевых червей:

– навозный червь *Eisenia fetida*. Средняя масса червей составляла 0,41–0,92 г;

– калифорнийский червь *Eisenia andrei*. Средняя масса червей составляла 0,5–0,9 г;

– червь *Dendrobena veneta*. Средняя масса червей составляла 0,9–1,42 г.

Исследования проводились в течение 5 месяцев. В полипропиленовые сосуды объемом 0,5 л засыпали предварительно подготовленный почвенный субстрат (150 г), добавили нефть 50 г/кг почвы и хорошо перемешали. В каждый контейнер с почвой, согласно схеме эксперимента, поместили по 10 штук червей.

Выживаемость дождевых червей в нефтезагрязненном субстрате. В чистой почве численность навозного червя за 5 месяцев возросла в 4 раза. При внесении штаммов *Pseudomonas putida* численность его увеличилась в 6,5 раз, а при внесении штамма *Pseudomonas aeruginosa* – в 7 раз. При внесении штаммов *Bacillus subtilis* и *Rhodococcus* общая численность навозного червя возросла в 6 раз. В варианте с концентрацией нефти 50 г/кг и водой общая численность навозного червя *E. fetida* сократилась в 2 раза. При внесении штамма *Pseudomonas putida* наблюдалось увеличение общей численности *E. fetida* в 2,6 раз. При введении штамма *Pseudomonas aeruginosa* общая численность *E. fetida* удвоилась, а при внесении штаммов-нефтедеструкторов *Bacillus subtilis* и *Rhodococcus* наблюдался рост численности в 2,2 раза.

В чистой почве отмечался рост численности калифорнийского червя в 3,7 раза. При внесении штаммов *Pseudomonas putida* и *Pseudomonas aeruginosa* общая численность *E. andrei* возросла в 6 раз. При внесении штаммов *Bacillus subtilis* и *Rhodococcus* общая численность калифорнийского червя возросла в 5 раз. При внесении нефти 50 г/кг общая численность *E. andrei* сократилась в 3 раза. При введении штаммов микроорганизмов-нефтедеструкторов *Pseudomonas putida* и *Bacillus subtilis* и нефти общая численность калифорнийского червя увеличилась в 1,7 раза. При внесении штаммов *Pseudomonas aeruginosa* и *Rhodococcus* общая численность *E. andrei* удвоилась.

В контрольном варианте (чистая почва) численность *D. veneta* удвоилась, а при внесении штаммов микроорганизмов увеличилась в 4 раза. При внесении в почву нефти с концентрацией 50 г/кг с водой наблюдалось сокращение общей численности *D. veneta* до 0,6 экз/сосуд в результате токсичного действия нефти. При введении штамма *Pseudomonas putida* наблюдалось увеличение численности червей до 17 экз/сосуд. При внесении штамма *Pseudomonas aeruginosa* отмечено незначительное увеличение общей численности *D. veneta* до 13 экз/сосуд, а при внесении штаммов *Bacillus subtilis и Rhodococcus* общая численность *D. veneta* увеличилась в 1,5 раза.

Рекультивация нефтезагрязненных почв при совместном использовании вермикультуры и микроорганизмов.

В процессе вермирекультивации почвы, загрязненной нефтью 50 г/кг, совместно с навозным червем *E. Fetida,* концентрация нефти снизилась за 4 месяца до 27,4 г/кг (эффективность 46 %). При совместном внесении с *Pseudomonas putida* концентрация нефти снизилась до 4 г/кг (эффективность 92 %) и при внесении *Pseudomonas aeruginosa к E. fetida* концентрация нефти снизилась до 7,3 г/кг (эффективность 83 %). А с внесением *Bacillus subtilis* концентрация нефти была снижена до 6,8 г/кг (эффективность 86 %). При внесении *Rhodococcus* к *E. fetida* концентрация нефти была снижена до 4,8 г/кг (эффективность 90 %). В процессе вермиремедиации почвы с использованием калифорнийского червя *E. andrei* концентрация нефти снизилась за 4 месяца до 21 г/кг (эффективность составила 58 %). При совместной рекультивации калифорнийского червя со штаммами *Pseudomonas putida и Pseudomonas aeruginosa* эффективность очистки составила 83 %. А с внесением *Bacillus subtilis* эффективность очистки составила 97 %. Внесение штамма *Rhodococcus* привело к значительному снижению концентрации нефти до 1 г/кг (эффективность 99 %). В процессе вермирекультивации почвы, загрязненной нефтью 50 г/кг совместно с червем дендробена, концентрация нефти снизилась до 23 г/кг (эффективность 54 %). При совместной вермиремедиации со штаммами *Pseudomonas putida* и *Pseudomonas aeruginosa* отмечалось значительное снижение концентрации поллютанта до 2–3 г/кг (эффективность 95 %). Введение штаммов *Bacillus subtilis* и *Rhodococcus* показало эффективность очистки 84 %.

Результаты биотестирования при концентрации нефти 50 г/кг с использованием вермикультуры дождевых червей и микроорганизмов.

В качестве биоиндикаторов использовали редис. Учитывали всхожесть редиса, длину ростка и массу растения. Высокая эффективность снижения концентрации нефти обнаружена при совместном применении *E. fetida* и *P. putida* (92 %). Всхожесть семян-биоиндикаторов (редис) в данном варианте составила 70 %, длина

ростка – 15 см, масса – 0,52 г. В варианте *E. fetida* и *Rhodococcus* эффективность рекультивации почвы составила 90 %. Всхожесть семян редиса в данном варианте составила 80 %, длина ростка – 9 см, масса – 0,24 г.

При использовании калифорнийского червя для ремедиации нефезагрязненных почв высокая эффективность отмечена при совместном использовании *E. andrei* и *B. subtilis* (эффективность очистки 97 %). В данном варианте отмечена высокая всхожесть редиса – 60 %, длина ростка составила 5 см, масса 0,1 г. Лучшие результаты очистки почвы показал вариант *E. andrei* и *Rhodococcus* (эффективность 99 %), в котором всхожесть семян редиса составила 70 %, длина – 7 см, масса – 0,15 г.

Список литературы

1. Kasper D, Braunwald E, Hauser S. Harrison's principles of internal medicine, 16th edn. – McGraw-Hill Professional. – 2014. – 2607 p.

2. Smith M.T. Advances in understanding benzene health effects and susceptibility // Ann Rev Pub Health. – 2010. – № 31. – P. 133–148.

Об авторах

Чачина Светлана Борисовна – кандидат биологических наук, доцент кафедры «Биотехнология, технология общественного питания и товароведение», Омский государственный технический университет, e-mail: ksb3@yandex.ru

Денисова Елизавета Павловна – магистрант кафедры «Биотехнология, технология общественного питания и товароведение», Омский государственный технический университет, e-mail: liza.chachina@yandex.ru

УДК 579.22

С.Б. Чачина, Е.П. Денисова, В.В. Жукова

ВЛИЯНИЕ АЗОТНЫХ БИОУДОБРЕНИЙ НА ВСХОЖЕСТЬ И РОСТ РАСТЕНИЙ РЕДИСА И ГОРОХА

В ходе исследования были выделены нитрифицирующие, аммонифицирующие, азотофиксирующие микроорганизмы. На основе этих микроорганизмов получены микробиологические препараты биоудобрений. Производилось выращивание редиса и гороха при разном виде удобрения, большее количество выросших ростков гороха наблюдалось при внесении азотофиксирующих, нитрифицирующих бактериальных удобрений и удобрений «Байкал» и «Биокрафт», всхожесть составила 80–100 %, меньшее количество проросших семян было в денитрифицирующих и аммонифицирующих удобрениях, всхожесть составила 50 %. Лучшая всхожесть редиса наблюдалась при внесении в почву нитрифицирующих микроорганизмов и препаратов «Байкал» и «Биокрафт», всхожесть составила 100 %, меньшее количество проросших семян было в контейнерах с денитрифицирующими и аммонифицирующими микроорганизмами, всхожесть составила 50 %.

Ключевые слова: микроорганизмы, азотофиксация, нитрификация, биоудобрения.

S.B. Chachina, E.P. Denisova, V.V. Zhukova

THE EFFECT OF NITROGEN BIOFERTILIZERS ON THE GERMINATION AND GROWTH OF RADISH AND PEA PLANTS

During the study, nitrifying, ammonifying, nitrogen-fixing microorganisms were isolated. On the basis of these microorganisms, microbiological preparations of biofertilizers were obtained. Radish and peas were grown with different types of fertilizer, a larger number of grown pea sprouts were observed when nitrogen-fixing, nitrifying bacterial fertilizers and fertilizers «Baikal» and «Biocraft» were applied, germination was 80–100 %, a smaller number of germinated seeds were in denitrifying and ammonifying fertilizers, germination was 50 %. The best germination of radish was observed when nitrifying microorganisms and preparations «Baikal» and «Biocraft» were introduced into the soil, germination was 100 %, fewer germinated seeds were in containers with denitrifying and ammonifying microorganisms, germination was 50 %.

Keywords: microorganisms, nitrogen fixation, nitrification, biofertilizers.

Цель – разработка микробиологических препаратов на основе аммонифицирующих, нитрифицирующих, азотофиксирующих микроорганизмов для повышения плодородия почв.

Нитрифицирующие бактерии, любая из небольшой группы аэробных бактерий (семейство *Nitrobacteraceae*), которые используют неорганические химические вещества в качестве источника энергии. Это микроорганизмы, играющие важную роль в круговороте азота как преобразователи почвенного аммиака в нитраты, соединения, используемые растениями. Процесс нитрификации требует участия двух различных групп: бактерий, которые превращают аммиак в нитриты (нитрозомонас, нитрозоспира, нитрозококки и *Nitrosolobus*) и бактерии, превращающие нитриты (ядовитые для растений) в нитраты (нитробактер, нитроспина и нитрококк). В сельском хозяйстве орошение разбавленными растворами аммиака приводит к увеличению содержания нитратов в почве за счет действия нитрифицирующих бактерий.

Денитрифицирующие бактерии – факультативно анаэробные организмы, способные восстанавливать нитраты только в анаэробных условиях. В присутствии свободного кислорода эти бактерии переходят на аэробное дыхание (обладают полной дыхательной системой), а нитраты потребляют лишь как источник азота (ассимиляционная нитратредукция). Некоторые денитрификаторы способны и к процессу азотфиксации.

Аммонифицирующие бактерии выделяют в среду протеолитические экзоферменты, катализирующие расщепление белков с образованием более мелких осколков полипептидов и олигопептидов. Белки могут разлагаться аэробными и анаэробными бактериями, актиномицетами, грибами. Особенно активны в этом отношении представители семейства *Pseudomonadaceae*: рода *Pseudomonas* (*Pseudomonas fluorescens*, *Ps. aeruginosa*); семейства *Bacillaceae* рода *Bacillus* (*Bacillus mycoides*, *Bac. cereus, Bac. subtilis*), рода *Clostridium* (*Cl. sporogenes*, *Cl. putrificus*); семейства *Enterobacteriaceae* рода *Proteus* (*Proteus vulgaris*) и др. [1, 2].

Азотфиксация – способность микроорганизмов восстанавливать стабильную молекулу азота до аммиака – служит основным ис-

точником биодоступного азота для всех обитателей нашей планеты. Род *Clostridium,* первый из свободноживущих азотфиксаторов, был открыт С. Н. Виноградским в 1893 г. *Clostridium pasteurianum*.

В ходе работы были выполнены опыты по различным методикам. Был произведен посев редиса и гороха в контейнеры с почвой весом 200 г. Было задействовано 16 контейнеров с редисом по 10 семян в каждом и 16 контейнеров с горохом по 10 семян в каждом. В табл. 1, 2 представлено количество взошедших ростков в зависимости от вида удобрения.

Таблица 1

Всхожесть гороха

Препарат	Количество посеянных семян	Количество взошедших семян	Всхожесть, %
Азотофиксирующие	10	10	100
Аммонифицирующие	10	6	60
Нитратные	10	8	80
Нитритные	10	8	80
Денитрифицирующие	10	5	50
Байкал	10	9	90
Биокрафт	10	8	80
Вода	10	6	60

Таблица 2

Всхожесть редиса

Препарат	Количество посеянных семян	Количество взошедших семян	Всхожесть, %
Азотофиксирующие	10	8	80
Аммонифицирующие	10	6	60
Нитратные	10	10	100
Нитритные	10	10	100
Денитрифицирующие	10	5	50
Байкал	10	10	100
Биокрафт	10	10	100
Вода	10	7	70

Таблица 3

Средние значения показателей роста гороха и редиса

Горох				
Препарат	Масса, г	Длина корня, см	Длина стебля, см	Кол-во листьев, шт.
Азотофиксирующие	1,45	10,5	10,4	4,85
Аммонифицирующие	1,48	9,5	8,42	4,7
Нитратные	1,34	10,85	8,7	4,6
Нитритные	1,72	12,1	8,25	4,75
Денитрифицирующие	1,11	9,3	7,9	3,1
Байкал	1,4	10,1	10,4	4,5
Биокрафт	1,002	10,25	7,325	4,5
Вода	1,27	9,2	7,3	4,8
Редис				
Азотофиксирующие	1,28	9,7	5,6	4,125
Аммонифицирующие	0,95	8,75	4,75	3,625
Нитратные	0,62	9,3	5,42	3,85
Нитритные	0,96	10,4	5,65	3,9
Денитрифицирующие	1,01	5,4	4,9	3,6
Байкал	0,71	7,75	5,75	3
Биокрафт	0,78	8,95	6,86	3,45
Вода	0,55	8,3	4,75	3,5

Наибольшие средние показатели массы гороха наблюдаются при использовании удобрений на основе нитритов, в то время как у редиса наибольший показатель массы наблюдается при использовании азотфиксирующего удобрения.

Самые длинные корни у гороха наблюдаются с применением нитритных, нитратных удобрений и на основе азотофиксирующих микроорганизмов, а также с препаратами «Байкал» и «Биокрафт». У редиса наибольшее значение длины корня наблюдалось при внесении удобрений на основе нитритных и нитратных удобрений.

Наибольшее среднее значение длины стебля у гороха отмечается в образцах с азотфиксирующими микроорганизмами и препаратом «Байкал», а у редиса с препаратами «Биокрафт», «Байкал» и на основе нитратных и нитритных удобрений.

Производилось выращивание редиса и гороха при добавлении разных видов удобрений. Большее количество выросших ростков гороха наблюдалось при внесении азотофиксирующих, нитрифицирующих бактериальных удобрений и удобрений «Байкал» и «Биокрафт», всхожесть составила 80–100 %, меньшее количество проросших семян было при применении денитрифицирующих и аммонифицирующих биоудобрений, всхожесть составила 50 %. Лучшая всхожесть редиса наблюдалась при внесении в почву нитрифицирующих микроорганизмов и препаратов «Байкал» и «Биокрафт», всхожесть составила 100 %, меньшее количество проросших семян было в контейнерах с денитрифицирующими и аммонифицирующими микроорганизмами, всхожесть составила 50 %.

На основе проведенных опытов можно сделать вывод, что биоудобрения на основе нитрифицирующих и азотфиксирующих и азотофиксирующих микроорганизмов лучше всего влияли на динамику развития растений, т.к. с их использованием растения всходили более стабильно, чем при удобрении на основе денитрифицирующих и аммонифицирующих микроорганизмов.

Список литературы

1. Fixen P.E., West F.B. Nitrogen fertilizers: meeting contemporary challenges // Ambio: a journal of the human environment. – 2002. – Vol. 31, № 2. – P. 169–176.

2. Mozafar A. Nitrogen fertilizers and the amount of vitamins in plants: a review // Journal of plant nutrition. – 1993. – Vol. 16, № 12. – P. 2479–2506.

3. Are nitrogen fertilizers deleterious to soil health? / B. Singh [et al.] // Agronomy. – 2018. – Vol. 8, № 4. – P. 48.

4. Влияние азотных удобрений на урожайность многолетних трав и экологическое состояние почвы / С.Н. Волкова, Е.Е. Сивак, А.В. Шлеенко, Т.В. Белова, И.В. Ярыгина // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 8.

Об авторах

Чачина Светлана Борисовна – кандидат биологических наук, доцент кафедры «Биотехнология, технология общественного питания и товароведение», Омский государственный технический университет, e-mail: ksb3@yandex.ru

Денисова Елизавета Павловна – магистрант кафедры «Биотехнология, технология общественного питания и товароведение», Омский государственный технический университет, e-mail: liza.chachina@yandex.ru

Жукова Виктория Валерьевна – магистрант кафедры «Биотехнология, технология общественного питания и товароведение», Омский государственный технический университет, e-mail: zhukova.vv2020@mail.ru

УДК 579.22

С.Б. Чачина, Е.П. Денисова, В.В. Жукова

ИССЛЕДОВАНИЕ БИОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АММОНИФИЦИРУЮЩИХ, НИТРИФИЦИРУЮЩИХ, АЗОТОФИКСИРУЮЩИХ МИКРООРГАНИЗМОВ

В ходе исследования были выделены нитрифицирующие, аммонифицирующие, азотофиксирующие микроорганизмы. На основе этих микроорганизмов получены микробиологические препараты биоудобрений. Протестированы биохимические свойства микроорганизмов. В качестве сахара для своей жизнедеятельности микроорганизмы в основном предпочитают использовать глюкозу, но есть исключение в виде аммонифицирующих микроорганизмов, которые в качестве сахара используют лактозу, и азотфиксирующие, которые могут использовать для своей жизнедеятельности помимо глюкозы мальтозу. Азотфиксирующие микроорганизмы лучше всего расщепляют белок, нитрифицирующие микроорганизмы также учувствуют в разложении белка, но не так активно, как азотфиксирующие. Сероводород в ходе опытов не был обнаружен ни у одного микроорганизма, следовательно, они его не выделяют. Индол выделают азотфиксирующие и денитрифицирующие микроорганизмы. Анализ на оксидазу и каталазу дал положительный результат у всех исследуемых микроорганизмов.

Ключевые слова: микроорганизмы, азотофиксация, нитрификация, биоудобрения.

S.B. Chachina, E.P. Denisova, V.V. Zhukova

INVESTIGATION OF BIOCHEMICAL PROPERTIES OF AMMONIFYING, NITRIFYING, NITROGEN-FIXING MICROORGANISMS

During the study, nitrifying, ammonifying, nitrogen-fixing microorganisms were isolated. On the basis of these microorganisms, microbiological preparations of biofertilizers were obtained. The biochemical properties of microorganisms have been tested. Microorganisms mainly prefer to use glucose as sugar for their vital activity, but there is an exception in the form of ammonifying microorganisms that use lactose and nitrogen fixing as sugar, which can use maltose for their vital activity in addition to glucose. Nitrogen-fixing microorganisms cleave protein best, nitrifying microorganisms also participate in protein decomposition, but not as actively

as nitrogen-fixing ones. Hydrogen sulfide was not detected in any microorganism during the experiments, therefore they do not emit it. Indole is secreted by nitrogen-fixing and denitrifying microorganisms. The analysis for oxidase and catalase gave a positive result in all the studied microorganisms.

Keywords: microorganisms, nitrogen fixation, nitrification, biofertilizers.

Ассимиляцию молекулярного азота, имеющую значение для земледелия, осуществляют прокариоты, которых в зависимости от их взаимоотношения с растениями делят на 3 группы: симбиотические азотофиксаторы, ассоциативные азотофиксаторы и свободноживущие почвенные азотофиксаторы. Все они являются диазотрофами, то есть они могут использовать для питания и молекулярный азот, и минеральный. Ежегодно только на поверхности суши бактерии фиксируют до 200 млн т азота и от 30 до 190 млн т в водных экосистемах [1].

Цель – разработать микробиологические препараты на основе аммонифицирующих, нитрифицирующих, азотофиксирующих микроорганизмов для повышения плодородия почв.

Азотфиксация – способность микроорганизмов восстанавливать стабильную молекулу азота до аммиака – служит основным источником биодоступного азота для всех обитателей нашей планеты. Род *Clostridium* первым из свободноживущих азотфиксаторов был открыт С.Н. Виноградским в 1893 г. (*Clostridium pasteurianum*) [2].

Широкое разнообразие видов азотфиксирующих бактерий, принадлежащих к большинству типов домена *Bacteria*, обладает способностью колонизировать ризосферу и взаимодействовать с растениями. Бобовые и актиноризные растения могут получать азот за счет ассоциации с ризобиями или *Frankia*, путем дифференциации на соответствующих растениях-хозяевах специализированного органа, корневого клубенька. Другие симбиотические ассоциации включают гетероцистные цианобактерии, в то время как все большее число видов, фиксирующих азот, было идентифицировано как колонизирующее поверхность корней, а в некоторых случаях и внутреннюю часть корней различных зерновых культур и пастбищных трав.

1. Выделение аммонифицирующих микроорганизмов.

Состав среды № 1, г/дм^3: $(NH_4)_2SO_4$ – 2,0; K_2HPO_4 – 1,0; $MgSO_4$ – 0,5; $FeSO_4 \cdot 7H_20$ – 0,01, NaCl – 2,0; $CaCO_3$ (или $MgSO_4$) – 1,0; вода водопроводная – до одного л; pH = 7,6.

2. Выделение нитрифицирующих микроорганизмов.

Готовят селективную среду Гильтея следующего состава, г/дм^3: цитрат Na или K трехзамещенный – 5,0; аспарагин – 1,0; KNO_3 – 2,0; K_3HPO_4 – 2,0; $MgSO_4$ – 2,0; $CaCl_2$ – 0,2; $FeCl_3$ – следы, вода водопроводная – до одного л. pH = 7,2.

3. Выделение аэробных азотфиксирующих бактерий.

Готовят селективную среду Эшби следующего состава, г/дм^3: манит – 20,0; K_2HPO_4 – 0,2; $MgSO_4$ – 0,2; NaCI – 0,2; K_2SO_4 – 0,1; $CaCO_3$ – 5,0; агар-агар – 20; вода водопроводная – до одного л. Среду стерилизуют при $7{,}8 \cdot 10^5$ Па в течение 30 мин и разливают в стерильные чашки Петри.

Результаты экспериментов по определению протеолитических свойств микроорганизмов, сероводорода, индола, каталазы.

Результаты определения протеолитических свойств

Бактерии	Белок	Сероводород	Индол	Оксидаза	Каталаза
Азотфиксирующие	+++	–	+	+	+
Денитрифицирующие	–	–	+	+	+
Аммонифицирующие	–	–	–	+	+
Нитрифицирующие	+	–	–	+	+
Нитратные	–	–	–	+	+

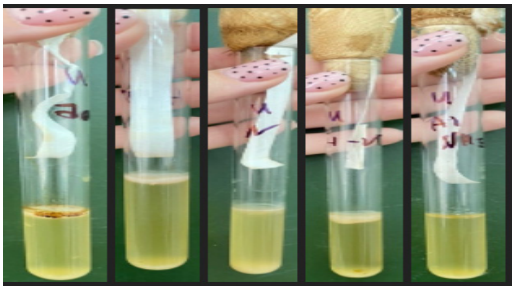


Рис. 1. Определение индола

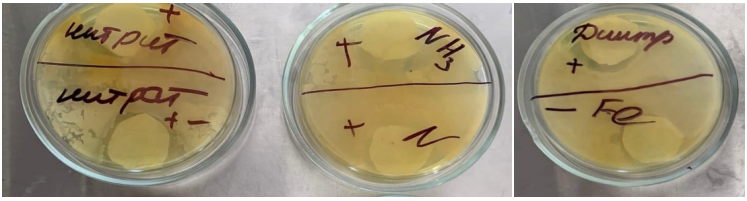


Рис. 2. Тест на оксидазу

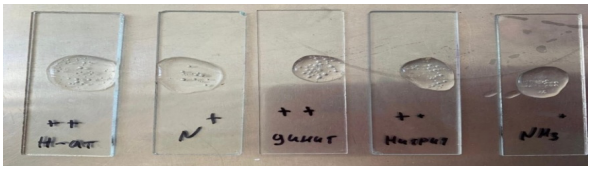


Рис. 3. Определение каталазы

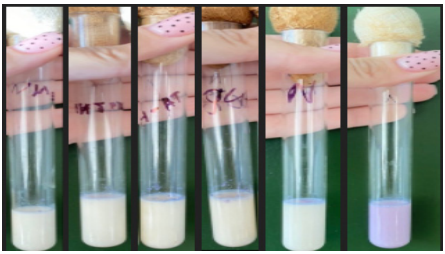


Рис. 4. Определение редуцирующей способности

Результаты определения редуцирующей способности приведены на рис. 4.

Во всех пробирках произошло изменение окраски среды из сиреневого в молочный. Следовательно, произошла полная редукция лакмуса.

Определение аммиака. Результаты по определению аммиака представлены на рис. 5.

Выделение аммиака произошло только в пробирке с аммонифицирующими микроорганизмами.

Из проведенных опытов по представленным выше методикам можно сделать следующие выводы:

1. В качестве сахара для своей жизнедеятельности микроорганизмы в основном предпочитают использовать глюкозу, но есть

исключение в виде аммонифицирующих микроорганизмов, которые в качестве сахара используют лактозу, и азотфиксирующие, которые могут использовать для своей жизнедеятельности помимо глюкозы мальтозу.

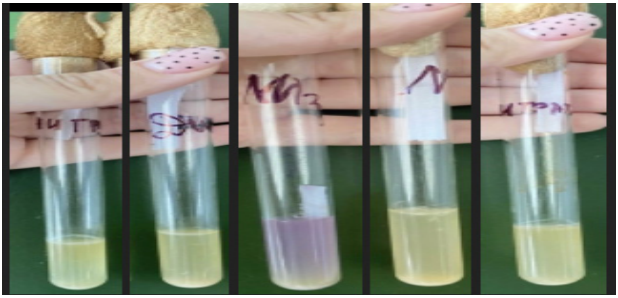


Рис. 5. Определение аммиака

2. Азотфиксирующие микроорганизмы лучше всего расщепляют белок, нитрифицирующие микроорганизмы также учувствуют в разложении белка, но не так активно, как азотфиксирующие.

3. Сероводород в ходе опытов не был обнаружен ни у одного микроорганизма, следовательно, они его не выделяют.

4. Индол выделяют азотфиксирующие и денитрифицирующие микроорганизмы.

5. Анализ на оксидазу и каталазу дал положительный результат у всех исследуемых микроорганизмов.

Список литературы

1. A late methanogen origin for molybdenum-dependent nitrogenase / E.S. Boyd, A.D. Anbar, S. Miller, T.L. Hamilton, M. Lavin, J.W. Peters // Geobiology. – 2011. – Vol. 9. – P. 221–232.

2. Повышение эффективности биологической азотфиксации зернобобовых культур / Т.С. Наумкина, А.Г. Васильчиков, Г.П. Гурьев, М.В. Барбашов, М.В. Донская, М.М. Донской, Т.Н. Громова // Земледелие. – 2012. – № 5.

3. Методы почвенной микробиологии и биохимии / под ред. Д.Г. Звягинцева. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991. – 304 с.

4. Чевердин А.Ю., Сауткина М.Ю. Влияние биопрепаратов на обеспеченность агрочерноземов нитратным азотом в посевах ярового ячменя // Агроэкологические проблемы почвоведения и земледелия. – 2017. – С. 325–328.

Об авторах

Чачина Светлана Борисовна – кандидат биологических наук, доцент кафедры «Биотехнология, технология общественного питания и товароведение», Омский государственный технический университет, e-mail: ksb3@yandex.ru

Денисова Елизавета Павловна – магистрант кафедры «Биотехнология, технология общественного питания и товароведение», Омский государственный технический университет, e-mail: liza.chachina@yandex.ru

Жукова Виктория Валерьевна – магистрант кафедры «Биотехнология, технология общественного питания и товароведение», Омский государственный технический университет, e-mail: zhukova.vv2020@mail.ru

УДК 61.577

А.М. Шарифуллина, С.Б. Чачина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАТАЛАЗЫ И ОКСИДАЗЫ В ПРОБАХ С УГЛЕВОДОРОДОКИСЛЯЮЩИМИ БАКТЕРИЯМИ

В статье приведены результаты по определению реакции препаратов на проявление оксидазной активности, а также способность микробов к образованию фермента каталазы в исследуемых препаратах.

Ключевые слова: оксидазная активность микроорганизмов, образование фермента каталаза.

A.M. Sharifullina, S.B. Chachina

DETERMINATION OF CATALASE AND OXIDASE IN SAMPLES WITH HYDROCARBON-OXIDIZING BACTERIA

The article presents the results of determining the reaction of drugs to the manifestation of oxidase activity, as well as the ability of microbes to form the catalase enzyme in the studied drugs.

Keywords: oxidase activity of microorganisms, formation of the enzyme catalase.

Тест на оксидазу используется для дифференциации представителей родов *Neisseria*, *Alcaligenes*, *Aeromonas*, *Vibrio*, *Campylobacter и Pseudomonas* (обладают оксидазной активностью) от энтеробактерий (оксидазоотрицательные). Для постановки этого теста, например, используется флакончик, в котором находятся стерильные диски из фильтровальной бумаги, пропитанные оксалатом N,N-диметил-парафенилендиамина, аскорбиновой кислотой и *а*-нафтолом.

Важным признаком у микробов является способность к образованию фермента каталазы. Некоторые виды микроорганизмов, принадлежащие к группе аэробов, в процессе дыхания образуют перекись водорода, являющуюся клеточным ядом. Количество перекиси водорода в культуре никогда не достигает высоких концентраций, т.к. по мере образования перекись расщепляется на воду и молекулярный кислород при участии фермента каталазы. Для ее

обнаружения на предметное стекло наносят каплю 1–3 % раствора перекиси водорода и в нее вносят бактериологической петлей исследуемую культуру микробов. При положительном результате наблюдают выделение пузырьков газа в результате разложения H_2O_2 на кислород и воду.

Для определения оксидазы в чашки Петри на поверхность питательного агара путем наложения поместили фильтровальные диски, смоченные реактивом, для определения оксидазной активности. Далее с помощью посевной петли был произведен посев испытуемой культуры в ранее подготовленные чашки. После инкубации посевов при 37 °С 24 ч ведут учет оксидазной реакции.

Для обнаружения каталазы на предметное стекло наносили каплю 1–3 % раствора перекиси водорода и в нее вносили бактериологической петлей исследуемую культуру микробов. Процесс выделение пузырьков газа можно наблюдать на рис. 3.

Получившиеся препараты для определения оксидазы изображены на рис. 1, 2.

Рис. 1. Препараты «Люмбрикус», «Эйсене», «Навозный», «Калифорнийский»

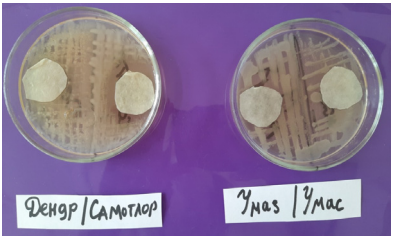


Рис. 2. Препараты «Дендробене», «Самотлор», «УОБ + мазут», «УОБ + масло»

По экспериментальным данным составлена таблица, в которой отображены положительные и отрицательные реакции препаратов на проявление оксидазной активности.

Оксидазная активность микроорганизмов

Образец								
Оксидаза	УОБ масло	УОБ мазут	Эйсене	Денбробене	Калифорнийский	Навозный	Самотлор	Люмбрикус
	–	–	+	–	+	+	+	+

Процесс выделения пузырьков газа для обнаружения каталазы можно наблюдать на рис. 3.

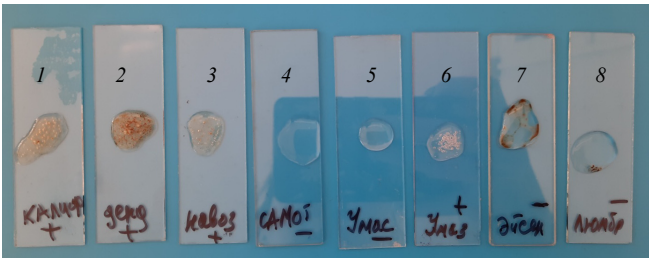


Рис. 3. Процесс выделения пузырьков газа. Препараты:
1 – «Калифорнийский»; *2* – «Денбробене»; *3* – «Навозный»;
4 – «Самотлор»; *5* – «УОБ + масло»; *6* – «УОБ + мазут»;
7 – «Эйсене»; 8 – «Люмбрикус»

В месте нанесения бактериальной массы вокруг бумаги образуется бесцветное (прозрачное) кольцо, если оксидазный тест положительный, если же этого не происходит, то тест на оксидазу является отрицательным. Исходя из результатов, сведенных в таблицу, видно, что оксидазной активностью обладают образцы: «Люмбрикус», «Эйсене», «Навозный», «Калифорнийский» и «Самотлор». В остальных образцах тест на оксидазу отрицательный.

При положительном результате наблюдается выделение пузырьков газа в результате разложения H_2O_2 на кислород и воду. Каталаза обнаружена в следующих образцах: *1* – «Калифорнийский», *2* – «Денбробене», *3* – «Навозный», *6* – «УОБ + мазут».

Список литературы

1. Гоголева О.А., Немцева Н.В., Бухарин О.В. Каталазная активность углеводородокисляющих бактерий // Прикладная биохимия и микробиология. – 2012. – Т. 48, № 6. – С. 612–617.

2. Карпова Е.А. Микробиология: учеб.-метод. пособие по выполнению. – 2017.

3. Кукулянский А.А., Соколовская А.Д. Способ определения оксидазы бактерий. – 1988.

Об авторах

Шарифуллина Алина Маратовна – студентка кафедры «Биотехнология, технология общественного питания и товароведение», Омский государственный технический университет, e-mail: sharifullina_lina@bk.ru

Чачина Светлана Борисовна – кандидат биологических наук, доцент кафедры «Биотехнология, технология общественного питания и товароведение», Омский государственный технический университет, e-mail: ksb3@yandex.ru

УДК 57.579.2

А.М. Шарифуллина, С.Б. Чачина, А.В. Аверина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ БИОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРЕПАРАТОВ УГЛЕВОДОРОДОКИСЛЯЮЩИХ МИКРООРГАНИЗМОВ

В статье приводятся результаты по изучению биохимических свойств исследуемых препаратов, сахаролитические свойства – среда Гисса с сахарами (глюкоза, лактоза, маннит, мальтоза, сахароза), протеолитические свойства, среда позволяет установить разжижение желатина и образование индола.

Ключевые слова: сахаролитические, протеолитические свойства, препараты.

A.M. Sharifullina, S.B. Chachina, A.V. Averina

DETERMINATION OF BIOCHEMICAL PROPERTIES OF DRUGS

The article presents the results of the study of the biochemical properties of the studied drugs, saccharolytic properties – the medium of Giss with sugars (glucose, lactose, mannitol, maltose, sucrose), proteolytic properties, the medium allows to establish the dilution of gelatin and the formation of indole.

Keywords: saccharolytic, proteolytic properties, preparations.

Сахаролитические свойства микробов определяют путем посева чистой культуры на специальные дифференциально-диагностические питательные среды, содержащие различные углеводы (лактозу, сахарозу, глюкозу, мальтозу, маннит и др.) и индикатор (реактив Андреде или др.). Наиболее распространенной является среда Гисса, которая представляет собой смесь сахара и индикатора в пептонной воде. Для улавливания газа на дно пробирки со средой опускают «газовки». Образовавшийся в процессе ферментации газ вытесняет часть среды и скапливается вверху «газовки». Под действием образующейся при расщеплении углевода кислоты индикатор изменяет окраску среды, поэтому эти среды названы «пестрым рядом».

Некоторые виды микроорганизмов продуцируют и выделяют во внешнюю среду протеолитические ферменты – протеазы, катализирующие расщепление белков. В результате расщепления молекулы белка образуются высокомолекулярные промежуточные продукты распада – пептоны альбумозы и полипептиды.

Для обнаружения сахаролитических свойств исследуемый препарат засевали уколом петли в пробирку со средой Гисса. В качестве углеводов использовали мальтозу, маннит, глюкозу, лактозу, сахарозу и инкубировали в термостате при 37 °С в течение 24 ч.

Протеолитические свойства препаратов с использованием углеводородокисляющих микроорганизмов определили появлением конечного продукта ферментации белка (индола) и разжижение желатина. В пробирках с мясо-пептонным желатином посев производился уколом в столбик со средой.

Сахаролитические свойства микробов были определены путем посева чистой культуры на специальные дифференциально-диагностические питательные среды, названные «пестрый ряд». Короткий «пестрый ряд» включает жидкие среды Гисса с моно- и дисахаридами: глюкозой, лактозой, сахарозой, мальтозой и маннитом**.** Наглядно можно наблюдать результаты проведенного опыта по определению сахаролитических свойств на рис. 1–8.

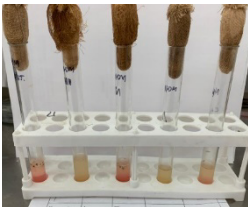


Рис. 1. Препарат «Люмбрикус»

Рис. 2. Препарат «Эйсения»

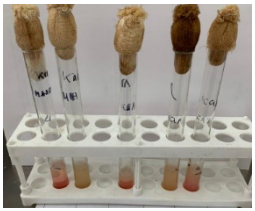


Рис. 3. Препарат «Калифорнийский»

Рис. 4. Препарат «Самотлор»

Рис. 5. Препарат «Дендробена»

Рис. 6. Препарат «Углеводородокисляющие микроорганизмы из масла»

Рис. 7. Препарат «Навозный»

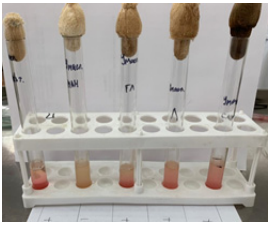


Рис. 8. Препарат «Углеводородокисляющие микроорганизмы из мазута»

Среда Гисса с реактивом Андреде имеют соломенно-желтый цвет без розового оттенка. Но в кислой среде индикатор Андреде краснеет, это и является свидетельством, что микроорганизм использует данный сахар для своей жизнедеятельности. Отсутствие покраснения, наоборот, свидетельствует об отсутствии в ферментативном комплексе изучаемого микроба фермента, разлагающего имеющийся в среде углевод.

Из этого можно сделать следующий вывод с получившимися данными (таблица)

Получившиеся данные

Исследуемый препарат	Свойства						
	Сахаролитические					Протеолетические	
	Мальтоза	Манит	Глюкоза	Лактоза	Сахароза	Желатин	Индол
Люмбрикус	+	–	+++	–	+	+	+
Эйсена	+++	–	+	+	++	+	+
Углеводородокисляющие микроорганизмы из отработанного масла	+	–	+	+	+	+	+
Углеводородокисляющие микроорганизмы из мазута	–	+	+	+	+	+	+
Навозный	+	–	+	–	+	+	+
Самотлор	+	–	+	+	+	+	+
Дендробена	+	–	+++	+	+	+	+
Калифорнийский	+	–	+	+	+	+	+

Протеолитические свойства углеводородокисляющих микроорганизмов определяли в пробирках с мясо-пептонным желатином,

посев производился уколом в столбик со средой. Наглядно можно наблюдать результаты на рис. 9–12.

Рис. 9. «Навозный», «Калифорнийский»

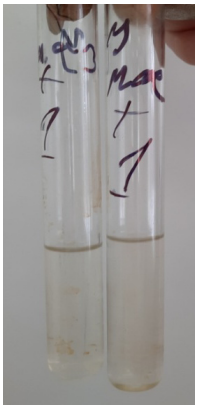


Рис. 10. «УОБ + мазут»

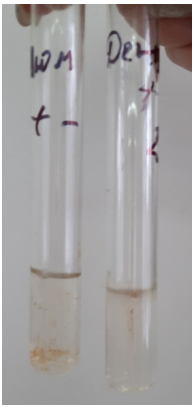


Рис. 11. «Люмбрикус», «Дендробена»

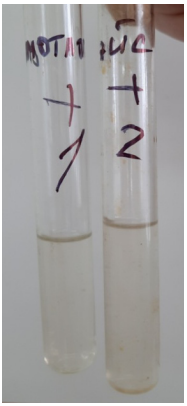


Рис. 12. «Самотлор», «Эйсение»

Результаты проведенной работы позволяют рассмотреть характерные черты биохимической активности препаратов, а также применять полученные данные в работах, связанных с дифференциацией и идентификацией.

В наибольшей степени сахаролитическую активность, а также высокую степень кислотообразования проявили препараты: «Любрикус», «Дендробена» – в среде с добавлением глюкозы; «Эйсене» – в среде с добавлением мальтозы и сахарозы.

Менее активные реакции: «Навозный» – в среде с добавлением лактозы и маннита; «Калифорнийский», «Самотлор» – в среде с добавлением сахарозы; «Углеводородокисляющие микроорганизмы из мазуты» – в среде с добавлением мальтозы.

Исходя из результатов, полученных при посеве уколом микроорганизмов в пробирки столбиком с мясо-пептонным желатином, можно судить о том, каким образом произошло разжижение желатины. Препарат – «Навозный», «УОБ с мазутом», «УОБ с маслом», «Самотлор», «Дендробене», «Эйсене», «Калифорнийский», «Любрикус».

Список литературы

1. Казаков В.С. Решения на базе MALDI-TOF масспектрометрии для экспресс идентификации микроорганизмов. – 2017.

2. Шуб Г.М., Сумовская А.Е., Зырянов В.В. Автоматизированные методы индикации и идентификации микроорганизмов в экспресс-диагностике инфекций // Клиническая лабораторная диагностик. – 2000. – № 5. – С. 46–48.

3. Методы исследования в микробиологии: учеб.-метод. пособие / Ж.Г. Шабан, В.В. Слизень, Т.А. Канашкова, И.А. Крылов. – Минск: Изд-во БГМУ, 2010.

Об авторах

Шарифуллина Алина Маратовна – студентка кафедры «Биотехнология, технология общественного питания и товароведение», Омский государственный технический университет, e-mail: sharifullina_lina@bk.ru

Чачина Светлана Борисовна – кандидат биологических наук, доцент кафедры «Биотехнология, технология общественного питания и товароведение», Омский государственный технический университет, e-mail: ksb3@yandex.ru

Аверина Анастасия Владиславовна – магистрант кафедры «Биотехнология, технология общественного питания и товароведение», Омский государственный технический университет, e-mail: averina-nastyushka@mail.ru

УДК 663.1

М.Ю. Шурбина, Р.Т. Валеева, Д.В. Тунцев

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕКЛОВИЧНОГО ЖОМА В ПРОИЗВОДСТВЕ КОРМОВЫХ ДРОЖЖЕЙ

Настоящая работа сосредоточена на производстве кормовых дрожжей – привлекательном источнике белков для питания скота за счет эффективного роста микроорганизмов на недорогих субстратах из отходов сахарного производства свекловичного жома.

Ключевые слова: свекловичный жом, кислотный гидролиз, гидролизат, *Rhodosporidium diobovatum*, кормовые дрожжи.

M.Yu. Shurbina, R.T. Valeeva, D.V. Tuntsev

USE OF BEET PULP IN THE PRODUCTION OF FODDER YEAST

The present work is focused on the production of fodder yeast, an attractive source of proteins for livestock nutrition due to the efficient growth of microorganisms on inexpensive substrates from beet pulp sugar production waste.

Keywords: beet pulp, acid hydrolysis, hydrolyzate, *Rhodosporidium diobovatum*, fodder yeast.

Необходимо обеспечить адекватное потребление белков, чтобы удовлетворить особые потребности в питании различных видов сельскохозяйственных животных. Одно из возможных решений – это использование кормовых дрожжей [1]. Помимо большого количества белков, кормовые дрожжи содержат жиры, углеводы, нуклеиновые кислоты, витамины, минералы и некоторые незаменимые аминокислоты, которые ограничены в большинстве продуктов растительного и животного происхождения [1, 2]. Кормовые дрожжи можно использовать в качестве добавки к основному рациону вместо других источников, которые, как известно, являются дорогостоящими.

В производстве одноклеточного белка, как и в производстве многих других биопродуктов, использование недорогих субстратов является стратегией, используемой для снижения общих производ-

ственных затрат [2, 3]. Производство кормовых дрожжей, как и производство многих биопродуктов, требует определенных питательных веществ, таких как источники углерода и азота, витамины, минеральные соли [1]. В последние годы сельскохозяйственные отходы – жмых, солома злаковых культур, меласса, используются благодаря содержанию сахаридов [1, 2].

Использование чистых субстратов в производстве кормовых дрожжей (биопродуктов) позволит более строго контролировать питательную среду и соотношение углерода к азоту (или другому важному питательному веществу), однако использование чистых субстратов делает производство дорогостоящим [3]. Поэтому использование отходов сельского хозяйства возобновляемых источников сырья, недорогих субстратов для роста дрожжей позволит не только сократить производственные затраты, но и снизить нагрузку на природную среду, возникающую в результате традиционных форм утилизации [4].

Нами проводятся исследования по возможности оценки сельскохозяйственных отходов, свекловичного жома для получения биомассы кормовых дрожжей. Свекловичный жом представляет собой важный остаток в результате процесса экстракции сахара, составляет 80–83 % от основной массы сахарной свеклы и состоит в основном из полисахаридов, таких как целлюлоза, гемицеллюлоза и различные типы лигнина и пектина [4].

В работе использовали гранулированный свекловичный жом с ООО «Буинский сахар», который предварительно измельчали на лабораторной мельнице, просеивали через сита разных размеров. Для экспериментальных работ использовали среднюю фракцию сырья с размерами частиц 0,5–1 мм [4].

Чтобы облегчить доступ дрожжей к источникам углерода, необходимо удалить большую часть лигнина и упростить процесс гидролиза целлюлозы и гемицеллюлозы [1]. Эффективной предварительной обработкой, используемой для этой цели, является кислотный гидролиз. Первым этапом нашей работы проведены исследования по гидролизу свекловичного жома с использованием минеральных кислот. Были проведены исследования процессов

гидролиза свекловичного жома фосфорной кислотой с большим диапазоном варьирования температуры и концентрации кислоты с целью определения оптимальных технологических параметров и получения гидролизатов с максимальной концентрацией редуцирующих веществ. Максимальное значение концентрации редуцирующих веществ получено в процессе гидролиза свекловичного жома 3 % фосфорной кислотой и составило 5,914 %, а содержащие редуцирующих веществ в среднем получено в количестве 54,9 % от общей массы растворимых веществ [4].

Полученные гидролизаты стерилизовали при 121 °С в течение 30 мин, охлаждали до 30 °С и центрифугировали при 7000 об/мин в течение 15 мин. Осветленную жидкость извлекали, и его pH доводили до 4,5–5,0 ед. pH с помощью раствора аммиака.

В качестве кормовых дрожжей исследовалась культура *Rhodosporidium diobovatum* [5]. Во всех процессах использовалась двухсуточная культура.

Процессы культивирования кормовых дрожжей проводили путем сравнения полученных экспериментальных данных роста дрожжей *Rhodosporidium diobovatum* ВКПМ Y-3158 на контрольной среде и на экспериментальных средах. Контрольные процессы культивирования дрожжей проводили с использованием синтетической среды Ридер с глюкозой. Экспериментальные процессы проводили с использованием минеральных компонентов среды Ридер на спиртовой барде с глюкозой и с использованием минеральных компонентов среды Ридер вместо глюкозы, и в качестве углеводного питания использовали фосфорнокислый гидролизат свекловичного жома.

Культивирование кормовых дрожжей *Rhodosporidium diobovatum* ВКПМ Y-3158 с использованием фосфорнокислых гидролизатов свекловичного жома проводили в качалочных колбах объемом 750 мл и рабочим объемом 150 мл, в течение 72 ч. при температуре 30 °С. Активную кислотность среды pH поддерживали растворами аммиака и соляной кислоты в интервале 4,8–5,0 [5].

Процессы культивирования *Rhodosporidium diobovatum* ВКПМ Y-3158: *1* – компоненты среды Ридер с глюкозой на дистил-

лированной воде; *2* – компоненты среды Ридер + спиртовая барда + фосфорнокислый гидролизат свекловичного жома в качестве подпитки; *3* – компоненты среды Ридер + спиртовая барда + фосфорнокислый гидролизат свекловичного жома в качестве подпитки и углеводного питания; *4* – компоненты среды Ридер + спиртовая барда. Сравнительная оценка полученных экспериментальных и расчетных данных проведенных процессов культивирования кормовых дрожжей на представлены на рисунке. Полученные данные показали, что прирост оптической плотности в проведенных экспериментальных процессах культивирования кормовых дрожжей *Rhodosporidiumdiobovatum* ВКПМ Y-3158 находится на одном уровне во всех процессах (кроме процессов спиртовой бардой) и с исследуемыми гидролизатами.

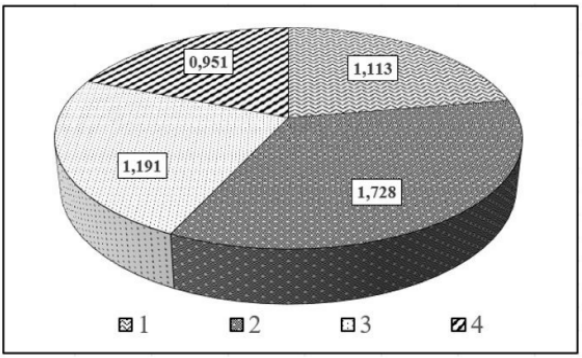


Рис. Прирост оптической плотности в процессах культивирования дрожжей *Rhodosporidium diobovatum* ВКПМ Y-3158 с использованием фосфорнокислого гидролизата свекловичного жома

Побочный продукт сельского хозяйства свекловичный жом был успешно использован после предварительного кислотного гидролиза для производства кормовых дрожжей. Благодаря важному содержанию сбраживаемого сахара (88 г/л для гидролизата сахарной свеклы) является хорошим источником углерода для роста штамма дрожжей *Rhodosporidium diobovatum*.

Список литературы

1. Successful fodder yeast production from agro-industrial by products through a statistical optimization approach / A.I. Simion [et al.] // Romanian Biotechnological Letters. – 2017. – Vol. 22, № 3. – P. 12671–12679.

2. Кормовые дрожжи «Пищевые технологии и биотехнологии»: материалы XVII Всеросс. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов с междунар. участием. / М.Ю. Шурбина, М.Н. Ямалиева, И.И. Зиннуров, А.Н. Садреева, Р.Т. Валеева. – Казань, 2021. – С. 526–528.

3. Munch G. Characterization and comparison of different oleaginous yeasts and scale-up of single-cell oil production using *Rhodosporidiumdiobovatum*: textbook. – Manitoba, 2015. – 78 p.

4. Характеристики процессов гидролиза свекловичного жома фосфорной кислотой с целью получения гидролизатов – компонентов питательных сред для микробиологического синтеза / М.Ю. Шурбина, Р.Т. Валеева, Э.И. Нуретдинова, Д.В. Тунцев // Бутлеровские сообщения. – 2022. – Т. 71, № 9. – С. 89–95.

5. Переработка отходов свеклосахарного производства для получения кормовых дрожжей / М.Ю. Шурбина, М.Н. Ямалиева, Э.И Нуретдинова, А.Н. Садреева // Горизонты биотехнологии: материалы Всеросс. науч.-практ. конф. студентов и молодых ученых. – Орел, 2021. – С. 264–267.

Об авторах

Шурбина Мария Юрьевна – аспирантка кафедры «Химическая кибернетика», Казанский национальный исследовательский технологический университет, e-mail: masha-shurbina@mail.ru

Валеева Рауза Тимуровна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Химическая кибернетика», Казанский национальный исследовательский технологический университет, e-mail: valrt2008@rambler.ru

Тунцев Денис Владимирович – доктор технических наук, профессор кафедры «Химическая кибернетика», Казанский национальный исследовательский технологический университет, e-mail: tuntsev_d@mail.ru

УДК 628.35

Д. Энхтур, О.И. Бахирева

О ВОЗМОЖНОСТИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ ЦИНКА, МЕДИ, НИКЕЛЯ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

В статье представлены результаты исследования чувствительности выделенной культуры микроорганизмов к ионам тяжелых металлов: цинка, меди (II), никеля (II), индивидуально и при их совместном присутствии диско-диффузионным методом. Оценивалась скорость роста культуры в присутствии ионов цинка, меди (II), никеля (II) по сравнению с ростом в питательной среде PYG без ионов тяжелых металлов.

Ключевые слова: ионы тяжелых металлов, ПДК, культура микроорганизмов, диско-диффузионный метод, питательная среда.

D. Enkhtur, O.I. Bakhireva

POSSIBILITY WASTEWATER TREATMENT BY BIOTECHNICAL METHOD FROM ZINC, COPPER, NICKEL

The article presents the results of a study of the sensitivity of the isolated culture of microorganisms to heavy metal ions: zinc, copper (II), nickel (II) individually and in their mutual presence by the disk-diffusion method. The growth rate of the culture in the presence of zinc, copper (II), nickel (II) ions was estimated in comparison with growth in the PYG nutrient media without heavy metal ions.

Keywords: heavy metal ions, maximum permissible concentration, culture of microorganisms, disk-diffusion method, nutrient media.

Без воды существование людей и их деятельность были бы невозможны, однако использование этого бесценного, ограниченного водного ресурса происходит не всегда рационально. То и дело происходят сбросы бытовых и производственных отходов, случаются атмосферные осадки, в итоге загрязнение водных ресурсов растет. Сточные воды загрязнены различными веществами со специфичными токсичными свойствами, в том числе ионами тяжелых металлов [1].

Наличие в воде тяжелых металлов вызывает серьезные последствия для здоровья, включая замедление роста и развития, рак, повреждение органов, повреждение нервной системы и др. Необходимо проводить комплекс водоохранных мероприятий по сохранению водных объектов чистыми, критерием эффективности таких мероприятий является нормируемая государством предельно-допустимая концентрация (ПДК) токсиканта. ПДК рассчитаны таким образом, чтобы свести к минимуму воздействия опасных химических веществ на человека и окружающую среду. ПДК изучаемых ионов тяжелых металлов приведены в таблице [2, 3].

ПДК и содержание в природных водах ионов цинка, меди (II), никеля (II)

Металл	Цинк	Медь	Никель
ПДК, мг/дм^3	В питьевой воде –1,0; в водоемах – 0,01	В питьевой воде – 0,02–1,0; в водоемах – 0,001	В питьевой воде – 0,1; в водоемах –0,01
Содержание в природных объектах, мг/дм^3	В природных водах – 0,0001–5,77	В природных водах – порядка 10^{-3}. В водоемах и источниках водоснабжения – от 0,001 до 0,98	В природных водах – порядка 10^{-3}. В речных незагрязненных и слабо загрязненных водах концентрация никеля колеблется в основном от 0,8 до 10

Превышение концентрации по одному или в совокупности рассматриваемых ионов делает необходимым предварительную очистку сточных вод. Для невысоких концентраций ионов в настоящее время все большее внимание уделяют биотехнологическим методам.

Целью исследования является оценка принципиальной возможности очистки воды от ионов цинка, меди (II), никеля (II) культурой микроорганизмов, которая была выделена из почвы, загрязненной тяжелыми металлами, и имела следующие морфологические признаки колоний: округлую форму, размер 2 мм, гладкую,

блестящую, полупрозрачную поверхность, бежевый цвет, зубчатые края и выпуклый профиль.

Для оценки чувствительности культуры микроорганизмов к ионам цинка, меди (II), никеля (II) и при их совместном присутствии использовали диско-диффузионный метод. Во всех экспериментах использовали концентрации ионов 10, 50, 250, 1000, 5000 мг/л. Активный рост культуры микроорганизмов наблюдался при всех концентрациях ионов цинка. Для ионов никеля (II) при концентрации 5000 мг/л появилась зона угнетения, что говорит об умеренной устойчивости культуры к этим ионам. При концентрации ионов меди (II) 1000 мг/л происходило снижение чувствительности, и при 5000 мг/л культура микроорганизмов не росла. При совместном присутствии ионов культура чувствительна к действию ионов Zn^{+2}, Ni^{+2}, Cu^{+2} при 5000 мг/л в сумме, зона угнетения 20 мм. Активный рост культуры наблюдался при концентрациях ионов металлов до 1000 мг/л в сумме. Полученные результаты свидетельствуют о том, что данные микроорганизмы устойчивы к изучаемым ионам металлов в достаточно широком диапазоне концентраций.

Изучение скорости роста культуры в зависимости от вида иона тяжелого металла, находящегося в питательной среде, проводили при следующих условиях: температура – 32 °С, скорость качалки – 180 об/мин, концентрация ионов изучаемого метала – 100 мг/л. Оптическую плотность измеряли спектрофотометрическим способом при длине волны 670 нм, кювета толщиной 10 мм. Кривые роста приведены на рисунке.

Анализ кривых роста показывает, что у выделенной культуры в используемой среде нет лаг-фазы, за исключением кривой роста в присутствии ионов цинка. Экспоненциальная фаза роста протекает в первые 48 ч. После нее в течение длительного времени протекает стационарная фаза роста. Определена удельная скорость роста микроорганизмов в каждом случае, она составила: в чистой среде PYG – 0,01 $ч^{-1}$, в присутствии ионов цинка – 0,004 $ч^{-1}$, в при-

сутствии ионов меди (II) – 0,01 $ч^{-1}$, в присутствии ионов никеля (II)–0,008 $ч^{-1}$. Резкое замедление скорости роста в среде с ионами никеля (II) связано с его токсичностью, в отличие от ионов цинка и меди, никель не является биогенным элементом.

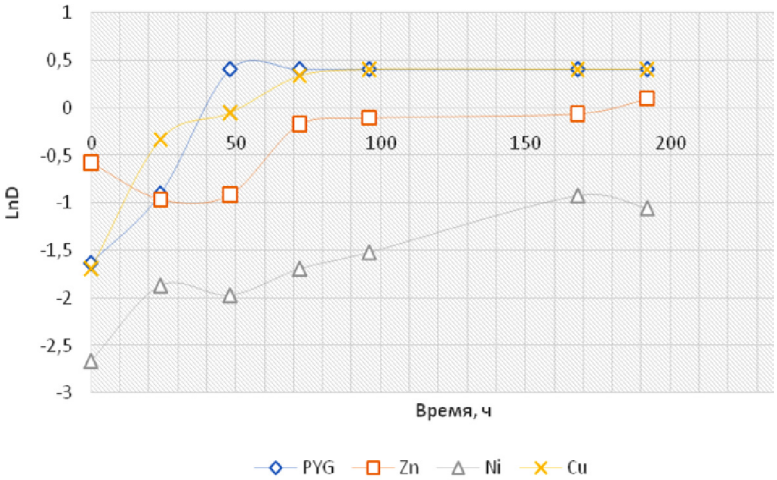


Рис. Кривые роста исследуемой культуры микроорганизмов в зависимости от вида иона тяжелого металла в питательной среде

Проведенные исследования и выявленные закономерности позволяют предположить, что данную культуру микроорганизмов можно использовать для биотехнологической очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов.

Список литературы

1. Горшков М.В. Экологический мониторинг: учеб. пособие. – Владивосток: Изд-во ТГЭУ, 2010. – 313 с.

2. Алыков Н.М., Шачнева Е.Ю. Влияние тяжелых токсичных металлов на окружающую среду [Электронный ресурс] // НК. – 2012. – № 4. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-tyazhelyh-toksichnyh-metallov-na-okruzhayuschuyu-sredu (дата обращения: 26.02.2023).

3. Sandhya Babel, Tonni Agustiono Kurniawan. Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: a review // Journal of Hazardous Materials. – 2003. – Vol. 97, № 1–3. – P. 219–243.

Об авторах

Энхтур Дулгуун – студентка кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: enhturdulguun@gmail.com

Бахирева Ольга Ивановна – кандидат химических наук, доцент кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: bahireva@mail.ru

Научное издание

ХИМИЯ. ЭКОЛОГИЯ. УРБАНИСТИКА

Материалы
всероссийской научно-практической конференции
(с международным участием)

г. Пермь, 19–21 апреля 2022 г.

В четырех томах

Том 1

Корректор *В.И. Булатова*

Подписано в печать 10.08.2023. Формат 60×90/16.
Усл. печ. л. 32,5. Тираж 100 экз. Заказ 158/2023.

Издательство
Пермского национального исследовательского
политехнического университета.
Адрес: 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, к. 113.
Тел. (342) 219-80-33.