

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
РОССИЙСКИЙ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

*УСПЕХИ*  
*В ХИМИИ И ХИМИЧЕСКОЙ*  
*ТЕХНОЛОГИИ*

**Том XXXIV**

**№ 11**

Москва  
2020

УДК 66.01-52  
ББК 24. 35  
У78

Рецензент:  
Российский химико-технологический университет  
имени Д. И. Менделеева

**Успехи в химии и химической технологии:** сб. науч. тр. Том XXXIV,  
У78 № 11 (234). – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2020. – 110 с.

В сборник вошли статьи по актуальным вопросам в области теоретической и экспериментальной химии.

Материалы сборника представлены для широкого обсуждения на XVI Международном конгрессе молодых ученых по химии и химической технологии «УСChT-2020», XXXIV Международной конференции молодых ученых по химии и химической технологии «МКХТ-2020», ряде международных и российских конференций, симпозиумов и конкурсов, а также на интернет-сайтах.

Сборник представляет интерес для научно-технических работников, преподавателей, аспирантов и студентов химико-технологических вузов.

УДК 66.01-52  
ББК 24. 35

# Содержание

## БИОТЕХНОЛОГИЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

Мохова Е.К., Пальчикова В.В., Соколова Е.А., Гордиенко М.Г.

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ГЕМОСОРБЦИИ И КУЛЬТИВИРОВАНИЯ КЛЕТОК .....7**

Гапоян О.Г. Красноштанова А.А.

**ВЫДЕЛЕНИЕ БЕЛКОВЫХ ИЗОЛЯТОВ ИЗ ДРОЖЖЕЙ *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* В УСЛОВИЯХ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ .....10**

Карпухина П.А., Красноштанова А.А.

**ВЫДЕЛЕНИЕ БЕЛКОВЫХ ФРАКЦИЙ ИЗ БЕЛКА ЯИЦ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПТИЦЫ .....13**

Самсонова Е.Д., Красноштанова А.А.

**ПОВЫШЕНИЕ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ И ПОЛЕЗНЫХ СВОЙСТВ ПРОДУКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОВСЯНОЙ МУКИ.....16**

Шульц Л.В. Красноштанова А.А.

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЭКСТРАКЦИИ БЕЛКА ИЗ КУКУРУЗНОЙ МУКИ .....19**

Юдина А.Н. Красноштанова А.А.

**СПОСОБ СЕЛЕКТИВНОГО ВЫДЕЛЕНИЯ И ОЧИСТКИ ИММУНОГЛОБУЛИНОВ (IGY) ИЗ ЖЕЛТКА ЯИЦ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПТИЦЫ.....21**

Ванюшенкова А.А., Зверева В.В., Белов А.А.

**ИЗУЧЕНИЕ БИОЦИДНЫХ СВОЙСТВ ПРОДУКТОВ ГИДРОЛИТИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РАНОЗАЖИВЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ КУЛЬТУРЫ *STARHYLOCOCCUS AUREUS* .....24**

Морозов А.Р., Каменчук И.Н., Курилкин А.А., Родионов А.И.

**ОКИСЛЕНИЕ НЕИОНОГЕННЫХ ПАВ ПЕРОКСИДОМ ВОДОРОДА В СЛОЕ АДСОРБЕНТА-КАТАЛИЗАТОРА - АКТИВНОГО УГЛЯ БАУ.....27**

Журавлева А.С., Шагаев А.А., Горюнова О.Б., Марквичев Н.С.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗВИТИЯ *FUSARIUM OXYSPORUM* НА ЛЕГКО- И ТРУДНОДОСТУПНОМ СУБСТРАТАХ.....31**

Зверева В.В., Ванюшенкова А.А., Белов А.А.

**ИСПЫТАНИЕ НА СТЕРИЛЬНОСТЬ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ МЕДИЦИНСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ГНОЙНО-НЕКРОТИЧЕСКИХ РАН .....34**

Найнг З.Е., Нистратов А.В., Клушин В.Н.

**ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КАРБОНИЗАТОВ ИСКОПАЕМОГО УГЛЯ  
МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ТИДЖИТ» .....37**

Ивлиева В.Н., Шагаев А.А., Горюнова О.Б., Марквичёв Н.С.

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ВЫСУШИВАНИЯ КЛЕТОК БАКТЕРИЙ РОДА  
RHIZOBIUM БЕЗ ПОТЕРИ ИМИ СВОИХ СВОЙСТВ .....40**

Минич М.В., Бехбудзада Н.Б., Журавлёва А.С., Шагаев А.А., Горюнова О.Б., Марквичёв Н.С.

**ФОРМИРОВАНИЕ БИОЦЕНОЗА В ПРИКОРНЕВОЙ ЗОНЕ ОГУРЦА ПУТЁМ  
ВНЕСЕНИЯ СУХИХ МИКРООРГАНИЗМОВ В МИНЕРАЛЬНУЮ ВАТУ .....43**

Зайцева А.Д., Мискичкова З. К., Кузин Е.Н., Кручинина Н.Е., Галактионов С.С.,  
Краснощеков А.Н.

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТВЕРДЫХ ЭКСТРАГЕНТОВ НА  
ОСНОВЕ Д2ЭГФК/ТБФ В ПРОЦЕССАХ ИЗВЛЕЧЕНИЯ СКАНДИЯ ИЗ  
СЕРНОКИСЛОТНЫХ РАСТВОРОВ ВСКРЫТИЯ ДИОПСИДА.....46**

Шуклина А.П., Шуклина В.П., Ермоленко Б.В.

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ТОПЛИВНОГО,  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО И ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛОВ  
ТВЕРДОГО БИОТОПЛИВА ИЗ РАСТИТЕЛЬНЫХ И ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ.....49**

Шуклина В.П., Шуклина А.П., Ермоленко Б.В.

**ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ,  
ТОПЛИВНОГО, ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО, ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО,  
РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕГО, ЭКОЛОГИЧЕСКОГО И ЭКОЛОГО-  
ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛОВ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ .....53**

Бровко Р.В., Григорьев М.Е.

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПРОЦЕСС ГИДРИРОВАНИЯ КСИЛОЗЫ ПРИ  
ИСПОЛЬЗОВАНИИ RU-СОДЕРЖАЩЕГО КАТАЛИЗАТОРА НА ОСНОВЕ  
СВЕРХСШИТОГО ПОЛИСТИРОЛА .....56**

Корчагина Е.В., Пискунова М.Ю., Рыженкова А.В., Нистратов А.В.

**ПОДХОДЫ К УДАЛЕНИЮ СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ КРАСИТЕЛЕЙ ИЗ  
ВОДНЫХ РАСТВОРОВ .....59**

Новосельцева А.О., Епишкина Ю.М., Баурин Д.В., Шакир И.В., Панфилов В.И.

**ГИДРОЛИЗАТ БЕЛКА ПОДСОЛНЕЧНИКА, КАК АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ИСТОЧНИК  
АЗОТА ДЛЯ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ *BACILLUS MEGATERIUM* .....62**

Кузин Е.Н., Носова Т.И.

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА  
ТРЕХХЛОРИСТОГО ТИТАНА .....65**

Башмакова О.В., Керселян К.С., Кузин Е.Н., Кручинина Н. Е.

**ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД СПИРТОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
КОМПЛЕКСНЫМИ КОАГУЛЯНТАМИ.....68**

Астахов П.С., Мурзина Е.Д.

**ИССЛЕДОВАНИЕ БИОДЕГРАДАЦИИ ПЛАСТИКА ЛИЧИНКАМИ ВОСКОВОЙ  
МОЛИ.....71**

Пхйьо Мьинт У, Панфилов В.И., Кузнецов А.Е., Антропова И.Г., Фенин А.А.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭТАНОЛА НА ЧИСЛЕННОСТЬ  
ЖИЗНЕСПОСОБНЫХ КЛЕТОК ДРОЖЖЕЙ *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* ШТ. Т-  
985 ПРИ ДЕЙСТВИИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.....73**

Ривера Сидорова И., Бехбудзада Н.Б, Журавлёва А.С, Шагаев А.А.; Марквичёв Н.С.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ *TRICHODERMA VIRIDE* И *FUSARIUM  
OXYSPORUM* НА РАННИХ ЭТАПАХ ПРОРОСТАНИЯ СПОР .....75**

Романова Е.Е., Мурзина Е.Д.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ  $CaCO_3$  ДЛЯ ОЧИСТКИ АКТИВНОГО ИЛА ОТ  
ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ .....78**

Романова М.В., Белодед А.В.

**ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ И БИОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА  
ТЕРМОФИЛЬНОГО ШТАММА-ПРОДУЦЕНТА ВНЕКЛЕТОЧНЫХ ПРОТЕАЗ  
*BACILLUS VELEZENSIS* .....80**

Со Вин Мьинт, Зин Мое, Нистратов А.В., Клушин В.Н.

**АДСОРБЦИОННОАКТИВНЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ И ОБОЛОЧЕК  
СЕМЯН МАНГО .....83**

Гейдарова Х.Б., Калёнов С.В., Костылева Е.В.

**ИССЛЕДОВАНИЕ НЕФТЕДЕСТРУКЦИИ МИКРООРГАНИЗМОМ, ВЫДЕЛЕННЫМ  
ИЗ СООБЩЕСТВА ГИПЕРСОЛЁНОГО ОЗ. МАСАЗЫР .....86**

Лакина Н.В., Лыса В.А., Бровко Р.В., Долуда Е.О., Лакина М.Е.

**ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСА  
ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ФЕРМЕНТОВ.....89**

Ляшик Ю.А., Ермоленко Б.В.

**ЭНЕРГЕТИКА И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ.....92**

Еремина Е.А., Нистратов А.В., Курилкин А.А., Мухин В.М.

**ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА  
АКТИВНЫХ УГЛЕЙ ПО ТЕХНОЛОГИИ УГЛЕПЕКОВОЙ КОМПОЗИЦИИ .....96**

Еремина Е.А., Диканская О.П., Курилкин А.А., Нистратов А.В.

**СПОСОБ ВНЕДРЕНИЯ СТИМУЛИРУЮЩИХ МЕР ДЛЯ СБОРА НА ПЕРЕРАБОТКУ  
ТАРЫ, УТРАТИВШЕЙ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ СВОЙСТВА В РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ.....98**

Диканская О.П., Еремина Е.А., Тихонова И.О.

**ЭФФЕКТИВНОЕ СТИМУЛИРОВАНИЕ ГРАЖДАН К РАЗДЕЛЬНОМУ СБОРУ  
ОТХОДОВ С ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОДДЕРЖКОЙ.....100**

Кузин Е.Н., Фадеев А.Б.

**ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ТИТАНСОДЕРЖАЩИХ  
КОАГУЛЯНТОВ.....103**

Фролова С.Р., Кузин Е.Н., Кручинина Н.Е., Азопков С. В.

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ПЛАСТОВЫХ ВОД  
ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯЦИЕЙ .....106**

УДК 661.124

Мохова Е.К., Пальчикова В.В., Соколова Е.А., Гордиенко М.Г.

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ГЕМОСОРБЦИИ И КУЛЬТИВИРОВАНИЯ КЛЕТОК

**Мохова Елизавета Константиновна**, студентка 4 курса факультета цифровых технологий и химического инжиниринга;

**Пальчикова Вера Викторовна**, аспирант 2 года обучения факультета цифровых технологий и химического инжиниринга, e-mail: vverapalchik@gmail.com;

**Соколова Екатерина Алексеевна**, студентка 2 курса факультета цифровых технологий и химического инжиниринга;

**Гордиенко Мария Геннадьевна**, к.т.н., доцент кафедры кибернетики химико-технологических процессов; Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия 125480, Москва, ул. Героев Панфиловцев, д.20.

*Полученные материалы, представляют собой полимерные, гидрогелевые микросферы (частицы) размером 200-900 мкм, состоящие из альгината натрия и хитозана различной молекулярной массы. Экспериментально установлено, что полученные образцы проявляют высокую сорбционную способность, хорошую гидрофильность, и не проявляют цитотоксические свойства, что позволяет использовать их в качестве сорбентов, а также матриц для культивирования клеток.*

**Ключевые слова:** гемосорбция, биополимеры, сорбционная емкость, культивирование клеток, микросферы.

## DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR PRODUCING MATERIALS FOR HEMOSORPTION AND CULTIVATION OF CELLS

Mokhova E.K., Palchikova V.V., Sokolova E.A., Gordienko M.G.

D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

*The resulting materials are polymer, hydrogel microspheres (particles) of 200-900 microns in size, consisting of sodium alginate and chitosan of various molecular weights. It was experimentally established that the obtained samples exhibit high sorption ability, good hydrophilicity, and do not exhibit cytotoxic properties, which allows them to be used as sorbents, as well as matrices for cell cultivation.*

**Keywords:** hemosorption, biopolymers, sorption capacity, cell cultivation, microspheres.

### Введение

Микросферы на основе биополимеров могут быть использованы в медицине в качестве гемосорбентов. Благодаря высокой сорбционной емкости материал способен впитывать большое количество жидкости, а входящие в его состав полисахариды обеспечивают такие свойства материала как: биосовместимость, биodeградируемость, гипоаллергенность и биоцидность [1].

В настоящее время бурно развивается такое направление, как 2D и 3D культивирование клеток. В отличие от двумерных (2D) систем выращивания, в которых клетки растут, прикрепляясь к поверхности пластикового субстрата, трехмерные (3D) системы обеспечивают имитацию внеклеточного матрикса, что позволяет клеткам, растущим в условиях *in vitro*, приобретать фенотипы и реагировать на раздражители, аналогично биологическим системам *in vivo*. Разработанные гидрогелевые микросферы, помимо применения в медицине в качестве гемосорбентов, также могут быть использованы и в качестве 3D культуральной системы, благодаря своей макропористой структуре, которая обеспечивает пролиферацию и дифференцировку клеток в условиях *in vitro*. Входящие в состав микросфер природные полисахариды, такие

как, альгинат натрия и хитозан могут служить питательной средой для роста и развития клеток. Для успешного применения микросфер в области биотехнологии и тканевой инженерии они должны обладать высокими адгезионными свойствами, быть биосовместимыми и биodeградируемыми.

Составляющий основу полимерных частиц альгинат натрия является ионогенным полисахаридом природного происхождения. Его получают путем щелочной экстракции бурых водорослей. Благодаря своим ценным свойствам, альгинат натрия пользуется широким спросом в медицине, фармакологии, косметической и пищевой промышленности, как стабилизатор, гелеобразователь и пищевая добавка E401. Высокая водоудерживающая способность, отсутствие токсичности, биodeградируемость и гипоаллергенность альгинатных гидрогелей позволяет разрабатывать на их основе новые материалы биотехнологического, фармакологического и медицинского назначения. В частности, такие гидрогели могут быть использованы при создании систем доставки лекарств и ранозаживляющих покрытий [2]. Также, не мало важной особенностью альгината натрия является его способность образовывать нерастворимые гели с растворами солей

бивалентных металлов, которые содержат ионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ .

Для создания полупроницаемой мембраны, частицы покрывают слоем хитозана, который представляет собой линейный аминополисахарид, являющийся продуктом процесса щелочного деацетилирования хитина. Хитин, в свою очередь, получают из экзоскелетов насекомых и ракообразных. Хитозан можно охарактеризовать как биосовместимый, биоцидный, фунгицидный и биодegradуемый природный материал. Большое количество свободных аминогрупп в молекуле хитозана, позволяет ему связывать ионы водорода и приобретать избыточный положительный заряд, именно поэтому хитозан способен ускорять свертываемость крови в области ранения, т.к. эритроциты имеют отрицательный заряд. Биологически активные свойства хитозана, в первую очередь, связывают с его молекулярной массой (степенью полимеризации). Установлено, что низкомолекулярный хитозан в большей степени проявляет биоцидные свойства, по сравнению с среднемолекулярным хитозаном, это связано с тем, что молекулам меньшего размера легче проникать в цитоплазму клеток. Также хитозан является перспективным материалом для получения новых биологически активных форм в комплексе с другими биополимерами или низкомолекулярными веществами [3].

В работе были проведены исследования по оценке сорбционной емкости полученных гидрогелевых частиц в зависимости от молекулярной массы используемого хитозана и концентрации вводимой соды. Дополнительно полимерные микросферы исследовали на растворимость, pH и цитотоксичность.

### Материалы и методы

Для приготовления сферических частиц использовали реактивы, такие как: низкомолекулярный хитозан (50 – 190 кДа), (Sigma-Aldrich); среднемолекулярный хитозан (190 – 310 кДа), (Sigma-Aldrich); натрий альгинат (РусХим); этилендиаминтетраацетат (ЭДТА) (РусХим); кальций хлористый ( $\text{CaCl}_2$ ) б/в, «Ч» (Химмед); натрий хлористый ( $\text{NaCl}$ ) «ХЧ» (Химмед); натрий гидрокарбонат ( $\text{NaHCO}_3$ ) «ХЧ» (Химмед); уксусная кислота (Sigma-Aldrich).

Гидрогелевые микросферы получали следующим образом. Готовили 100 мл 2% раствора альгината натрия и 100 мл 2% раствора  $\text{CaCl}_2$ . После чего, раствор альгината натрия с помощью перистальтического насоса (скорость подачи 0,28 мл/мин) или шприца прокапывали в раствор  $\text{CaCl}_2$  при постоянном перемешивании. Сформированные кальций-альгинатные частицы промывали несколько раз 0,9% раствором  $\text{NaCl}$  и инкубировали в 0,2% растворе хитозана (pH=1) в течение 10 минут. Полученные кальций-альгинат-хитозановые частицы обрабатывали раствором ЭДТА (0,1M) в течение 30 минут для удаления ионов кальция и создания более

жидкого геля внутри частиц. Затем, полученные альгинат-хитозановые частицы заливали 0,9% раствором  $\text{NaCl}$  и помещали в холодильник при температуре  $+6^\circ\text{C}$  на сутки для полной промывки. По истечении времени гидрогелевые микросферы замораживали в морозильном шкафу при температуре  $-20^\circ\text{C}$  для создания состояния, подходящего для дальнейшей вакуумной сублимационной сушки, которую проводили с помощью лиофилизатора CoolSafe (Дания).

Для создания более пористой структуры материала в образцы, на стадии их приготовления, добавляли  $\text{NaHCO}_3$  в следующих соотношениях к объему альгината натрия:

1. Образец «а» – 0%.
2. Образец «б» – 0,5%.
3. Образец «в» – 0,75%.
4. Образец «г» – 1%.

В случае образцов «б» – «г» в раствор  $\text{CaCl}_2$  добавляли уксусную кислоту в количестве 5% от общего объема  $\text{CaCl}_2$ . Уксусная кислота вступала в химическую реакцию с  $\text{NaHCO}_3$ , при этом наблюдалось интенсивное выделение углекислого газа. Часть образцов инкубировали в растворе низкомолекулярного хитозана, другую часть в растворе среднемолекулярного хитозана.

После того, как все образцы были получены, проводился тест на растворимость. Для этого микросферы заливали водой (10 мл) в чашке Петри и оставляли их на 5 суток, при комнатной температуре.

Значения активности ионов водорода у всех образцов были приблизительно одинаковы –  $\text{pH} \approx 5$ .

Измерение сорбционной емкости микросфер проходило следующим образом. На аналитических весах взвешивали сухие частицы, затем их заливали водой и оставляли на 30 минут. По истечении времени образцы, адсорбировавшие воду, также взвешивали. Сорбцию рассчитывали по формуле (1):

$$\omega = \frac{m_1 - m_2}{m_1}, (1)$$

где  $\omega$  – сорбционная емкость, %;

$m_1$  – масса сухого материала, г;

$m_2$  – масса материала, впитавшего воду, г.

### Результаты и обсуждения

Было наработано 4 образца с содержанием низкомолекулярного хитозана – образцы «а – 1» - «г – 1», и 4 образца с среднемолекулярным хитозаном – образцы «а – 2» - «г – 2». Тесты на растворимость показали, что все образцы по истечении времени не растворились, кроме того, образцы «а» – «в» не утратили своей структурной целостности, однако у образцов «г» наблюдалась потеря формы. Можно предположить, что данные результаты связаны с тем, что в образцах «г» было наибольшее содержание соды, и дальнейшее выделение углекислого газа приводило к разрыву структуры частиц.

Образцы «а – 1» были переданы в отдел биомедицинских технологий и лаборатории клеточных технологий ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России для испытаний с

мультипотентными мезенхимальными стромальными клетками. Результаты показали, что образцы не проявляют цитотоксические свойства и среду не закисляют.

На рисунке 1 представлены низкомолекулярные образцы («а – 1» - «г – 1» слева на право) и среднемолекулярные образцы («а – 2» - «г – 2» слева

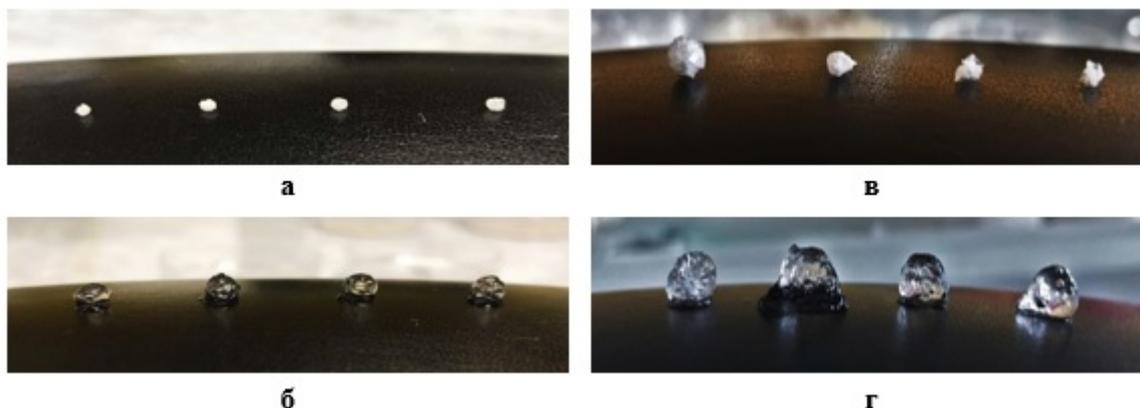


Рис. 1. Образцы до и после добавления воды, а – низкомолекулярные образцы в сухом состоянии; б – низкомолекулярные образцы, адсорбировавшие воду; в – среднемолекулярные образцы в сухом состоянии; г – среднемолекулярные образцы, адсорбировавшие воду

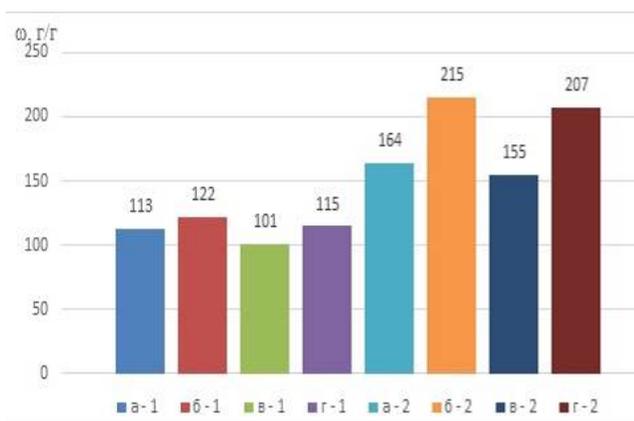


Рис. 2. Диаграмма сорбционной емкости образцов

Стоит отметить, что образцы на основе среднемолекулярного хитозана проявляют большую сорбционную способность по сравнению с низкомолекулярными образцами. Предполагается, что с увеличением молекулярной массы хитозана растет и сорбционная способность материала. Образцы «б – 1» и «б – 2», каждый в своей группе, показали наилучшие результаты сорбционной способности, поэтому концентрацию соды, равной 0,5% можно считать оптимальной для достижения высокой сорбционной емкости.

Таким образом, были получены образцы, которые хорошо впитывают и удерживают влагу, а также не проявляют цитотоксичность. Найдена зависимость между молекулярной массой

на право) до и после добавления воды.

Визуально можно наблюдать как микросферы значительно увеличились в объеме.

По результатам исследований образцов на сорбционную способность была составлена диаграмма, представленная на рисунке 2.

используемого хитозана и сорбционной емкостью получаемого на его основе материала. Определена оптимальная концентрация вводимой в образцы соды на стадии их приготовления (0,5%). Полученные материалы могут найти свое применение в таких областях как: биотехнология, тканевая инженерия, трансплантология и регенеративная медицина в качестве гемосорбентов или микроносителей для 3D культивирования клеток.

#### Список литературы

1. Патент РФ № 2008108187/15, 04.03.2008. Сорбент для удаления антител из цельной крови и способ его получения // Патент России № 2360707. 10.07.2009 Бюл. № 19. / Бовин Н.В., Селина. О.Е., Марквичева Е.А.
2. Юсова А.А. Свойства гидрогелей на основе смесей альгината натрия с другими полисахаридами природного происхождения / Юсова А.А., Гусев И.В., Липатова И.М. // Химия растительного сырья. – 2014. – № 4. – С. 59–66.
3. Шиповская А.Б. Биологическая активность олигомеров хитозана / Шиповская А.Б. [и др.] // Известия Саратовского университета. Сер. Химия. Биология. Экология. – 2008. – Т. 8. – Вып. 2. – С. 46–49.

УДК

Гапоян О.Г. Красноштанова А.А.

## ВЫДЕЛЕНИЕ БЕЛКОВЫХ ИЗОЛЯТОВ ИЗ ДРОЖЖЕЙ *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* В УСЛОВИЯХ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ

Гапоян Ольга Геннадьевна, студентка 3 курса факультета биотехнологии и промышленной экологии; Красноштанова Алла Альбертовна, доктор химических, доцент, профессор кафедры биотехнологии, e-mail: aak28@yandex.ru;

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия, 125480, Москва, ул. Героев Панфиловцев, д. 20

*Комплексная переработка биомассы пекарских дрожжей включает в себя три основных стадии – денуклеинизацию, выделение белковых изолятов, выделение β-глюканов. Последние представляют особую ценность в медицине из-за их способности оказывать иммуномодулирующее и противовоспалительное действие на организм человека. Подобная обработка в перспективе позволяет получить максимально чистый препарат β-глюканов совместно с нуклеиновой фракцией, производные которой также оказывают иммуномодулирующее действие на организм человека, и белковой фракцией, добавление которой к продуктам питания повышает их питательную ценность, поэтому исследуют все новые технологические приемы в этой области. В данной работе денуклеинизированную биомассу пекарских дрожжей подвергли кислотному гидролизу серной и ортофосфорной кислотой для сравнения эффективности условий такого гидролиза в получении белковых изолятов дрожжей. В частности, были определены оптимальное время гидролиза и соответствующая ему степень экстракции.*

**Ключевые слова:** дрожжи, глюканы, белковые изоляты, экстракция белка.

## EXTRACTION OF PROTEIN ISOLATES FROM YEAST *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* UNDER CONDITIONS OF MULTISTAGE TREATMENT

Gapoyan O.G., Krasnoshtanova A.A.

D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

*Multistage treatment of the baker's yeast biomass consists of three stages – denucleinization, extraction of protein fraction, extraction of β-glucan, the former being extremely valuable for its immunogenic and anti-inflammatory properties. In the perspective, multistage treatment can allow the obtainment of pure β-glucan fraction as well as nucleotide fraction that possesses same immunogenic properties and protein fraction that can enhance nutritional value of food, so new methods of implementing such treatment are being tested. In this work, we examined the effectiveness of acid hydrolysis in the extraction of protein isolates from denuclearized baker's yeast. In particular, optimal time of hydrolysis and corresponding degree of extraction.*

**Keywords:** yeast, glucan, protein isolate, hydrolysis.

### Введение

В последнее десятилетие интерес медицинского сообщества к препаратам β-глюканов возрос. Это связано с увеличением числа исследований, подтверждающих иммуномодулирующее и противовоспалительное действие β-глюканов, их способность снижать холестерин [1], что дает основания использовать их в качестве лекарственных средств или пищевых добавок.

β-глюкан представляет собой по-разному разветвленные полимеры глюкозы, связанные несколькими разновидностями β-гликозидной связи. Эти полимеры в достаточном количестве содержатся в клеточных стенках микроорганизмов и злаковых растений, поэтому разрабатываются все новые технологии получения β-глюканов из различного сырья, в том числе из дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*. Использование этих дрожжей как источника глюкана имеет следующие преимущества:

- возможность в использования в качестве сырья отработанную биомассу спиртового производства

[2], что потенциально может удешевить процесс и сократить его длительность;

- хорошая изученность и долгая практика применения в пищевой промышленности пекарских дрожжей, что упрощает время оценки безопасности и аллергенности препаратов, полученных на их основе [3];

- возможность многоцелевого использования биомассы, например, для выделения нуклеиновых кислот или белковых изолятов.

В стандартной схеме выделение β-глюканов, чаще всего экстракцией, следует за предобработкой биомассы с извлечением из нее нуклеиновой и белковой фракций. Одно из преимуществ подобной обработки – получение наиболее чистого препарата. Предобработку проводят как щелочной экстракцией [4], так и ферментативным гидролизом, экстракцию β-глюканов – обработкой различными реагентами: от кислот до комплексных соединений, например, этанолом, уксусной и соляной кислотами, раствором гипохлорита натрия самим по себе или с последующей обработкой диметилсульфоксидом [5].

Интересное направление исследований – совмещение физических и химических методов воздействия, при которых увеличивается площадь реакции и, соответственно, ее эффективность, например, обработку ферментами проводят последовательно с обработкой ультразвуком [6], а щелочной гидролиз проводят в условиях повышенного давления [7].

В нашем случае использовалась денуклеинизированная биомасса пекарских дрожжей, поэтому целью работы была оценка эффективности ее очистки от белковой фракции в условиях комплексной переработки с получением белковых изолятов, которые представляют ценность сами по себе ввиду содержания в биомассе дрожжей витаминов групп В, D, E, K, микроэлементов в биоусвояемой форме, природного антиоксиданта – производного глутатиона, а также ввиду полного аминокислотного состава [8].

Белковые изоляты находят широкое применение в промышленности. В биотехнологических производствах их используют как компоненты питательных сред для повышения питательной ценности последних. Для той же цели белковые изоляты добавляют в продукты питания, например, хлеб. В хлебе подобные добавки играют двойную роль, т.к. позволяют снижать время созревания хлебного теста. Интересно заметить, что при использовании, например, биомассы остаточных пивных дрожжей в пищевых целях, ее обязательно денуклеинизируют для уменьшения риска накопления мочевой кислоты [9].

### Материалы и методы

Объектом исследования являлась дрожжевая биомасса производства «САФ-ЛЕВЮР», предварительно подвергнутая денуклеинизации в присутствии диаммонийфосфата (ДАФ) в течение 2 часов при 90°C, содержащая 26% сухих веществ (СВ) и 17,2% сырого протеина (СП) в расчете на СВ.

Для определения белка в растворе использовали биуретовый метод [10]. Содержание сырого протеина определяли микрометодом Кьельдаля [11]. Определение фосфат-ионов проводили методом Фиске-Субарроу [Там же].

### Экспериментальная часть

Анализ состава денуклеинизированной биомассы показал, что она содержит 69,1% ДАФ в расчете на СВ, поэтому перед извлечением из нее белка необходимо было провести ее отмывку от соли. На первом этапе работы была определена оптимальная кратность отмывки. Для этого каждый раз денуклеинизированную биомассу смешивали с дистиллированной водой в объемном соотношении 1:5, перемешивали на магнитной мешалке в течение

на 30 минут (скорость вращения - 1200 мин<sup>-1</sup>), после чего промывные воды отделяли центрифугированием (15 мин, 20°C, 6000 об/мин). В промывных водах определяли содержание фосфат-ионов, а в биомассе – сырого протеина согласно вышеизложенным методикам. Полученные результаты приведены в таблице 1.

**Таблица 1. Результаты промывки денуклеинизированной биомассы**

№ отмывки	Содержание СВ, %	Содержание СП, % к СВ	Содержание ДАФ, % к СВ
1	26	17,2	69,1
2	25	22,7	59,6
3	28	33,1	41,6
4	26	48,4	16,0
5	27	53,6	2,2
6	28	56,8	1,3

По данным таблицы видно, что оптимальная кратность отмывки – 5 раз. Дальше содержание ДАФ в расчете на СВ изменяется незначительно.

Таким образом, по результатам проведенных исследований была получена промывная денуклеинизированная биомасса, содержащая 53,29% сырого протеина в расчете на СВ. Ее использовали в дальнейших исследованиях для извлечения белкового изолята методом кислотной экстракции, так как в отличие от ферментативного он отличается быстротой и более низкой стоимостью. Относительно жесткие условия экстракции, при которых разрушается часть соединений, имеющих пищевую ценность, в нашем случае не играют большой роли, т.к. биомасса последовательно перерабатывается в рамках комплексной переработки. Выбор серной и фосфорной кислот был обусловлен их малым расходом для достижения требуемого значения рН. Кроме того, фосфат-ионы являются биогенными.

При проведении экспериментов сравнивали эффективность гидролиза биомассы серной и ортофосфорной кислотой с точки зрения оптимизации времени процесса, обеспечивающего максимальный выход белка в раствор. Для этого 5 г биомассы смешивали с 20 мл дистиллированной воды, рН суспензии устанавливали на уровне 2 серной или ортофосфорной кислотой. Экстракцию проводили при температуре 90°C с отбором проб через 15, 30, 45, 60, 120 мин. Пробы центрифугировали в течение 15 минут при 6000 об/мин. В супернатантах определяли содержание белка биуретовым методом и рассчитывали выход белка в процентах от содержания сырого протеина в биомассе. Полученные результаты приведены на рис. 1.

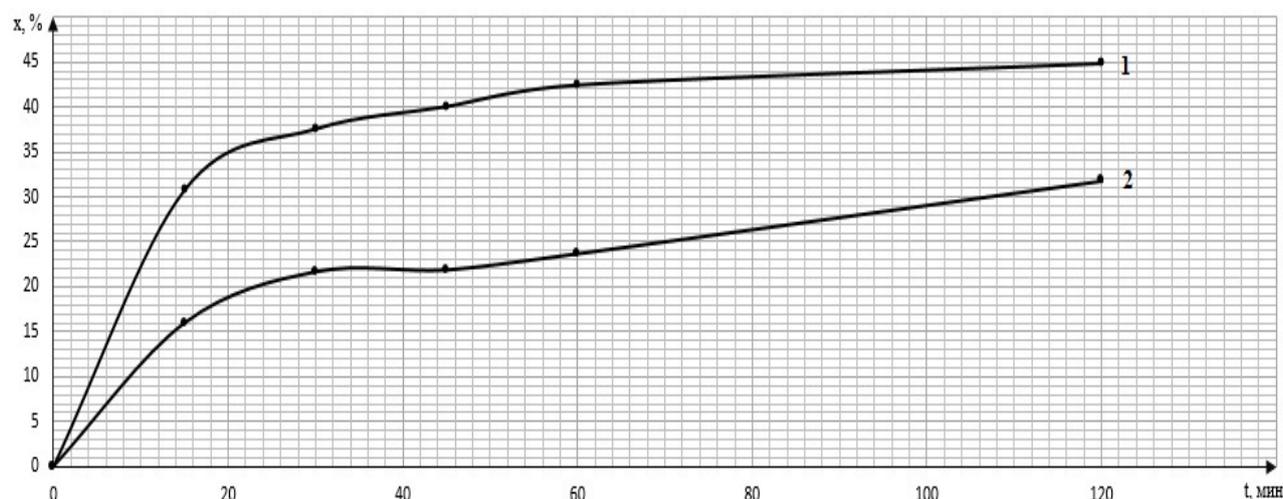


Рис. 1 Динамика экстракции белка из денуклеинизированной биомассы хлебопекарных дрожжей. Экстрагент: 1 - серная кислота 2 - ортофосфорная кислота

Из приведенных данных видно, что сернокислотный экстрагент является более эффективным, достигаемая степень экстракции 42-44%. Оптимальное время экстракции - 1 час, т.к. при увеличении продолжительности процесса выход белка в раствор практически не увеличивается.

#### Выводы

Установлена наилучшая кратность отмывки денуклеинизированной в присутствии ДАФ биомассы дрожжей от соли равная 5. Проведено сравнение эффективности экстракции белка из отмывтой биомассы серной и ортофосфорной кислотами. Данные показали, что лучше использовать серную кислоту и проводить экстракцию в течение одного часа, причем степень экстракции составила 42%. Однако такой результат не является оптимальным, и в дальнейшем следует исследовать и другие методы выделения белковых изолятов, например, обработку ферментами.

#### Список литературы

1. Efficacy and safety of oral and inhalation commercial beta-glucan products: Systematic review of randomized controlled trials / N. Markovina, I. Banjari, V. B. Popovic et. al. // *Clinical Nutrition*. - 2020. - Vol. 39, №1. - P. 40-48.
  2. Казимилова Е.А., Землякова Е.С. Обоснование совершенствования технологии получения белкового гидролизата из остаточных пивных дрожжей // *Вестник науки и образования Северо-Запада России*. - 2017. - №2. - С. 1-9.
  3. Scientific opinion on the safety of 'yeast beta-glucan' as a Novel food ingredient // *EFSA journal*. - 2011. - Vol.9, № 5. - 22 p.
  4. Bacha U. Nutraceutical, Anti-Inflammatory, and Immune Modulatory Effects of  $\beta$ -Glucan Isolated from Yeast // *BioMed Research International*. - 2017. - 14 p.
  5. Extraction of  $\beta$ -glucan from *Saccharomyces cerevisiae*: Comparison of different extraction methods and in vivo assessment of immunomodulatory effect in mice / PENGKUMSRI, Noppawat et al. // *Food Sci. Technol (Campinas)*. - 2017. - Vol.37. - P.124-130.
  6. Tam T. M. Optimization of  $\beta$ eta-glucan extraction from waste brewer's yeast *Saccharomyces cerevisiae* using autolysis, enzyme, ultrasonic and combined enzyme – ultrasonic treatment / T.M. Tam, N.Q. Duy, N.P. Minh et. al. // *American Journal of Research Communication*. - 2013. - Vol.1, №11. - P. 149-158.
  7. Tian X., Yang P., Jiang W. Effect of Alkali Treatment Combined with High Pressure on Extraction Efficiency of  $\beta$ -d-Glucan from Spent Brewer's Yeast // *Springer Science+Business Media B.V.* - 2017. - Vol. 10.
  8. Куцакова В.Е., Шкотова Т.В., Ефимова С.В. Способ получения белкового ингредиента из остаточных пивных дрожжей со свойствами сорбента микотоксинов для хлебопекарного производства // *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств»*. - 2015. - №1. - С. 105-109.
  9. Технология переработки остаточных пивных дрожжей для использования в хлебопекарном производстве / В.Е. Куцакова, Т.В. Шкотова, С.В. Ефимова и др. // *Пиво и напитки*. - 2014. - №5. - С. 28-31.
  10. Белодед, А. В. Химия биологически активных соединений. Практикум [Текст]: учебное пособие / А. В. Белодед. - М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, Б. г. - 87 с.
- Практикум по биохимии: Учеб. Пособие / Под ред. С. Е. Северина, Г.А. Соловьевой. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Изд-во МГУ, 1989. - 509 с

УДК 664.38

Карпухина П.А., Красноштанова А.А.

## ВЫДЕЛЕНИЕ БЕЛКОВЫХ ФРАКЦИЙ ИЗ БЕЛКА ЯИЦ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПТИЦЫ

**Карпухина Полина Алексеевна**, студентка 2 курса факультета биотехнологии и промышленной экологии;  
**Красноштанова Алла Альбертовна**, доктор химических, доцент, профессор кафедры биотехнологии,  
e-mail: aak28@yandex.ru ;

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия  
125480, Москва, ул. Героев Панфиловцев, д. 20

*Установлено оптимальное соотношения яичного белка и воды, белка и этилового спирта, для получения белковых изолятов, удовлетворяющих требованиям. Подобраны наиболее эффективные методы выделения белковых фракций.*

**Ключевые слова:** яичный белок, глобулин, альбумин, белковый изолят.

## EXTRACTION OF PROTEIN FRACTIONS POULTRY EGG WHITE

Карпukhina P.A., Krasnoshtanova A.A.

D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

*The optimum ratios of egg white and whater, egg white and ethanol for extraction of protein frctions which are satisfying the requirements were found. The most effective methods of extractions of proteins fractions were identified.*

**Key words:** egg white, globulin, albumin, protein fraction.

### Введение

В современном мире люди стараются полностью использовать полезные свойства продуктов и максимально сокращать отходы, поэтому широко применяется комплексная переработка различных видов сырья. Одним из видов сырья, подвергаемого комплексной переработке, является яйцо сельскохозяйственной птицы. Его компоненты обладают иммуномодулирующим, антиоксидантным, противоопухолевым, антиоксидантным и гипотензивным эффектами[1]. Яйца состоят из оболочки, желтка и белка. Каждый из этих компонентов имеет полезные для человека свойства, например, из скорлупы получают карбонат кальция, а из желтка иммуноглобулин.

Белок яйца состоит в основном из белков и воды, также в них содержатся в количестве 1% углеводы, липиды и минеральные соединения[1]. Он составляет более половины массы всего яйца. В яичном белке содержатся фракции глобулинов и альбуминов. Так же в нем содержится овомуцин в количестве 11%, он является главным аллергеном яиц, этот белок известен как ингибитор трипсина[5]. Более того белок состоит из овотрансферрина (12%), лизоцима (3,5%), овомукоида (2-4%), овоглокопротеин, овофлаптопротеина, авидина и других белков, содержащихся в незначительном количестве.

Глобулины имеют высокую молекулярную массу, они представляют собой глобулы, которые не растворимы в воде. Глобулины имеют антимикробные свойства. Они содержатся в сыворотке крови человека и определяют иммунные свойства организма[1]. Альбумин образует гели и эмульсии, стабилизирует пену[2]. Он проявляет

довольно сильные антиоксидантные свойства[5]. Это растворимый в воде белок, который имеет небольшую молекулярную массу, отрицательный заряд и кислые свойства[4]. В яичном белке на альбумин приходится около 75%.

Глобулин возможно выделить с помощью полунасыщенного раствора сульфата аммония, а альбумин - насыщенным раствором. Этот метод требует дальнейшей очистки белка от примеси соли, для этого требуется проведение диализа[3]. Также, зная, что глобулины плохо растворимы в воде, их можно осадить с помощью воды, подобрав оптимальное соотношение белок:вода, а растворимые в воде альбумины можно осадить с помощью водоотнимающих веществ[4].

Поэтому целью данной работы явился подбор условий фракционирования яичного белка на глобулиновую и альбуминовую фракцию без использования высаливания.

### Материалы и методы

В качестве объекта исследования был использован куриный белок сельскохозяйственной птицы производства птицефабрики ОАО «Снежка» с влажностью - 74%, содержанием жира в желтке - 32,6г/100г, сырого протеина в белке - 10,6%, в желтке - 16,6%, фосфолипидов в желтке - 29,6%. Перед выделением белковых фракций проводили отделение желтка, который в дальнейшем использовали для получения иммуноглобулина Y, лецитина и белковой фракции.

Содержание белка определяли в растворах определяли биуретовым методом.

При проведении осаждения белковых фракций яичный белок смешивали с водой (для выделения глобулиновой фракции) или этиловым спиртом (для выделения альбуминовой фракции) в заданном соотношении. Полученные суспензии выдерживали при температуре 4-6<sup>о</sup>С в течение 12 ч, после чего осадок белковой фракции отделяли центрифугированием при 6500 об/мин в течение 10-15 мин. В полученных супернатантах для контроля полноты осаждения измеряли остаточную концентрацию белка биуретовым методом. Для определения степени чистоты получаемых белковых фракций готовили растворы заданных навесок полученных белковых субстанций в 0,1 н растворе гидроксида натрия. В полученных растворах определяли концентрацию белка биуретовым методом, которую относили к концентрации исходной навески.

### Экспериментальная часть

Согласно литературным данным белки выделяют методом высаливания[3]. Первоначально была проведена оценка эффективности данного метода. Для этого к яичному белку добавили из расчета достижения 50% от насыщения концентрации сульфата аммония, оставили на 30 минут до полного выпадения осадка глобулиновой фракции при комнатной температуре, провели центрифугирование при 6500 об/мин в течение 10 мин. К полученному супернатанту добавили сульфат аммония до достижения концентрации 100% насыщения сульфата аммиака, оставили раствор на 12 ч при температуре 4-6<sup>о</sup>С, чтобы осадок выпал полностью. После этого суспензию отцентрифуговали в вышеуказанных условиях. В обоих супернатантах определили остаточную концентрацию белка биуретовым методом. Несмотря на удовлетворительные результаты по степени осаждения белковых фракций, осадки белка содержали значительное количество соли, очистка от которой в промышленных условиях сложна и энергозатратна.

Поэтому далее попытались выделить альбуминовую и глобулиновую фракцию белка без использования метода высаливания. Из литературных данных известно, что глобулин плохо растворим в воде, альбумин в воде растворим хорошо, но плохо растворим в органических растворителях.

На первом этапе необходимо было определить оптимальное соотношение белок:вода. Для этого в 5 пробирок поместили яичный белок, в каждую пробирку добавили воды в определенном соотношении к белку. После этого мы оставили пробирки на 30 минут при комнатной температуре для более полного осаждения глобулина. Затем полученные осадки отцентрифуговали при 6500 об/мин, температуре 200 в течение 15 минут. Отделённый осадок оставили сушиться на воздухе, а супернатант исследовали на степень осаждения

белка с помощью биуретового метода. В результате получили данные, представленные в табл.1. Из полученных данных следует, что наилучшим соотношением белок:вода дист. является 1:4, где степень осаждения глобулина составила 78%.

**Табл. 1. Определение оптимального осаждения белок: вода.**

№	Соотношение белок:вода.	Белок (мл)	Вода дистиллированная (мл)	Степень осаждения (%)
1	1:0,4	7	3	31
2	1:0,6	6	4	41
3	1:1	5	5	54
4	1:2,3	3	7	65
5	1:4	2	8	78

Далее из супернатанта, полученного в результате осаждения в выбранных условиях, выделяли фракцию альбумина, добавляя этиловый этиловый спирт в различных объемных соотношениях. Полученные суспензии выдерживали при комнатной температуре в течение 1 часа для более полного осаждения альбумина. Затем осадок альбуминовой фракции отделяли центрифугированием при 6500 об/мин, температуре 20<sup>0</sup> в течение 10 минут. В супернатантах определяли остаточное содержание белка. Полученные данные представлены в табл.2. Из полученных данных следует, что наилучшим соотношением белок:этанол является 1:3, степень осаждения составила 94%.

**Табл. 2. Определение оптимального осаждения белок: этанол**

№	Белок:этанол	Степень осаждения (%)
1	1:1	85
2	1:2	83
3	1:3	94
4	1:5	89
5	1:8	89
6	1:10	82

Полученные в выбранных наилучших условиях осадки глобулиновой и альбуминовой фракций были высушены на воздухе, после чего в них было определено содержание белковых веществ.

В результате исследования выяснилось, что в полученных препаратах белка содержания основного вещества составило 83% и 98% для глобулина и альбумина соответственно. Такие показатели удовлетворяют требованиям, предъявляемым к белковым изолятам.

Согласно литературным данным яичные белки обладают высокой аллергенностью, что ограничивает их применение. Из литературы известно, что ферментативный гидролиз белка протеазами за счет разрушения его молекул приводит к получению безаллергенных белковых продуктов. Поэтому дальнейшие исследования будут состоять в поиске оптимальных параметров ферментативного гидролиза белков.

Предварительные исследования показали, что наиболее эффективным ферментным препаратом оказался панкреатин, степень гидролиза белка в этом случае составила 47%. Ферментативные белковые гидролизаты используются в качестве ингредиентов для функционального питания, поэтому планируется подбор условий ферментативного гидролиза для получения пищевых добавок с заданными функциональными свойствами.

#### **Выводы**

1. Установлено наилучшее соотношение белок: вода, обеспечивающее степень осаждения глобулина не менее 78%. Оно составило 1:4.
2. Установлено наилучшее соотношение белок: этиловый спирт, обеспечивающее степень осаждения альбумина не менее 94%. Оно составило 1:3.
3. Получены белковые изоляты яичного альбумина и глобулина с содержанием основного вещества соответственно 83 и 98%.
4. Подобран оптимальный фермент для проведения гидролиза - панкреатин.

#### **Список литературы**

1. J. H. Lee, H.-D. Paik Anticancer and immunomodulatory activity of egg proteins and peptides: a review // Poultry Science. 2019. №12. С. 6505-6516.
2. Зобнина Л.С., Прошко Л.А., Машанов А.И. Белоксодержащие добавки и белковые препараты // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2009. №10. С. 129-133.
3. Нельсон Д, Кокс М. Основы биохимии Ленинджера[Текст]: в 3-х т./Д. Нельсон, М. Кокс; Т.П. Мосолова, Е.М. Молочкина, В.В. Белов, А.А. Богданова, С. Н. Кочеткова – Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011 – 3 т.
4. StudFiles [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/5622610/page:2/> (Дата обращения: 25.04.2020).
5. X. Huang, D. U. Ahn Antioxidant, angiotensin-converting enzyme inhibitory activity and other functional properties of egg white proteins and their derived peptides // Poultry Science. 2018. №97. С. 1462–1468.

УДК:577.112

Самсонова Е.Д., Красноштанова А.А.

## ПОВЫШЕНИЕ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ И ПОЛЕЗНЫХ СВОЙСТВ ПРОДУКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОВСЯНОЙ МУКИ

**Самсонова Евгения Дмитриевна**, студентка 3 курса факультета биотехнологии и промышленной экологии; **Красноштанова Алла Альбертовна**, доктор химических наук, доцент, профессор кафедры биотехнологии, e-mail: [aak28@yandex.ru](mailto:aak28@yandex.ru) ;

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия  
125480, Москва, ул. Героев Панфиловцев, д. 20

*The best washing ratio of oat flour from starch has been established. The amount of crude protein in the product is determined. The optimal pH of the extractant was determined at which the largest amount of protein is extracted.*

Ключевые слова: овёс; овсяная мука; пищевая ценность.

## INCREASE THE NUTRITIONAL VALUE AND USEFUL PROPERTIES OF PRODUCTS USING OATMEAL.

Samsonova E.D., Krasnoshtanova A.A.

D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

*The required amount of washing flour from starch. Determined the amount of crude protein in the product. The optimal value pH was determined at which the largest amount of protein is secreted for extraction.*

Keywords: oats; oatmeal; the nutritional value.

### Введение

В настоящее время большой популярностью пользуются функциональные продукты питания. Это продукты с добавленной пищевой ценностью, которые благотворно влияют на состояние организма и способствуют снижению риска развития множества заболеваний. Важным ингредиентом таких продуктов являются пищевые волокна, источником которых может являться овёс.

Овес – злаковая культура, которая выращивается по всему миру. Продукты переработки овса являются не только источниками основных пищевых веществ, но и играют важную роль в профилактике хронических заболеваний – сахарного диабета, ишемической болезни сердца, рака. Полезные для здоровья свойства овса обусловлены наличием целого ряда биологически активных соединений, присутствующих в различных частях зерна. Одними из таких соединений являются растворимые волокна – арабиноксиланы и бета-глюканы, содержащиеся в субалейроновом слое и клеточных стенках эндосперма [1]. В разных сортах зерна содержится 3-3,5% β-глюканов и 5-8% арабиноксиланов [2]. Эпидемиологические исследования показали, что потребление продуктов из цельного зерна овса, богатых по содержанию арабиноксиланами и бета-глюканами, защищает от возникновения сердечно-сосудистых заболеваний, диабета II типа, ожирения, некоторых онкологических заболеваний, а в ряде стран, таких

как Финляндия, Великобритания и США, овёс уже давно применяется в безглютеновом питании.

Обладая таким количеством полезных свойств, будет целесообразно внедрять овес в пищу, например, в виде овсяной муки, которая является основным продуктом размола овса. Она отличается пониженным содержанием крахмала и повышенным содержанием белка и жира (до 9%), а также сбалансированным жирно-кислотным составом, содержит все незаменимые аминокислоты, витамины А, Е и группы В, ферменты, микроэлементы, в том числе: кремний, играющий важную роль для человека в процессе обмена веществ, минеральные соли, а также пищевые волокна (клетчатку и бета-глюканы, которые, растворяясь, превращаются в вязкую массу, связывающую холестерин) [3,4]. В овсяной муке содержится большое количество фосфора и кальция, необходимых для нормального формирования и развития костной системы, а также железа – для профилактики анемий. Белок овса наиболее близок по своему аминокислотному составу к мышечному белку человека и легко усваивается организмом. Овсяная мука благотворно влияет на нервную систему, обладает антидепрессантными свойствами, так как в её составе содержится магний и метионин. А также в ней содержится в достаточном количестве биотин, полезный для кожи и благотворно влияющий на состояние волос и ногтей [5]. Высокое содержание клетчатки придает овсяной муке диетические

свойства, даже несмотря на достаточно высокий уровень калорийности. При использования овсяной муки важным является и то, что проламинавая фракция белков составляет всего 1,2-1,9%, а именно эти белки являются носителями Т-клеточной токсичности при аллергиях и глютенной энтеропатии [2]. Благодаря этому мука обладает антиаллергенными свойствами, что позволяет использовать её в детском питании и в питании людей, страдающих аллергией на глютен пшеницы.

К недостаткам овсяной муки можно отнести быстрое ухудшение качества продукта при неблагоприятных условиях хранения. В продуктах переработки зерна протекают различные биохимические процессы, которые развиваются с большей скоростью в условиях тепла в сочетании с повышенной влажностью [6]. В продукте начинают накапливаться свободные жирные кислоты, а при дальнейшем окислении – перекиси и гидроперекиси. Это приводит к развитию прогоркания, и мука приобретает горький привкус и прогорклый запах [7].

Таким образом, пищевая ценность и полезные свойства муки обуславливают возможность её применения при разработке продуктов функционального питания. Поскольку очень часто ингредиенты для функционального питания получают на основе белковых веществ, целью работы являлся подбор условий получения белкового изолята из овсяной муки.

### Материалы и методы

В качестве объекта исследования в работе была использована овсяная мука производства ООО «Гарнец» с влажностью – 10,65% и содержанием сырого протеина – 11,2%. Содержание сырого протеина определяли микрометодом Къельдаля, белка – биуретовым методом. Наличие крахмала контролировали качественно по реакции с йодом.

### Экспериментальная часть

Предварительный анализ овсяной муки на содержание сырого протеина методом Къельдаля показал, что она содержит только 11,2% сырого протеина, поэтому для того, чтобы посторонние примеси не мешали извлечению белка и не загрязняли конечный продукт, на первом этапе работы была проведена отмывка муки от примеси крахмала.

Для проведения эксперимента к 15 г муки добавляли 100 мл дистиллированной воды, полученную суспензию перемешивали при комнатной температуре на магнитной мешалке при 600 об/мин в течение 20 минут, после чего промывные воды отделяли центрифугированием в течение 15 минут при 5200 об/мин. Осадок повторно суспендировали в том же количестве дистиллированной воды и повторяли процедуру

промывки аналогично вышеизложенному. Ко всем супернатантам добавляли несколько капель 1%-ного раствора йода для проверки наличия крахмала. Полученные результаты приведены в таблице 1. Из полученных данных видно, что для практически полной отмывки от крахмала достаточно проводить трехкратную промывку. Анализ отмытого осадка муки на содержание сырого протеина показал, что оно составило 13,5%.

Таблица 1 - Определение кратности промывки овсяной муки от крахмала.

Кратность промывки	Окраска супернатанта после добавления йода	Вывод о содержании крахмала в супернатанте
1	сине-черная	Значительное количество
2	сине-серая	Небольшое количество
3	светло-желтая	следы

Согласно литературным данным для извлечения белков из различных источников сырья используется метод экстракции. В качестве экстрагентов обычно используют минеральные кислоты и щелочи, а также обработку протеолитическими ферментами [8]. В данной работе в качестве экстрагента использовали водные растворы с различными значениями рН среды. Эксперимент проводили в кислой и слабощелочной области значений рН среды, поскольку в интервале рН 4-6 глобулиновая фракция белка имеет минимальную растворимость. Для проведения исследований приготовили 4 смеси, в каждую из которых добавили 0,5 г отмытой от крахмала овсяной муки и 5 мл дистиллированной воды. Затем в каждой из полученных смесей устанавливали заданное значение рН среды. Полученные пробы помещали в водяной термостат и выдерживали при температуре 60°C в течении 2 часов. По окончании термостатирования пробы центрифугировали в течение 15 минут при 5500 об/мин, после чего в супернатантах определяли количество белка биуретовым методом и рассчитывали степень экстракции белка. Результаты исследований приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Зависимость степени экстракции из белка из овсяной муки при различных значениях рН среды

рН	Степень экстракции, %
2	33,8
7	48,0
8	25,5
9	27,2

Таким образом, из полученных данных следует, что наилучшая степень извлечения белка равная 48% достигается при обработке муки при рН 7,0. Однако такие условия не обеспечивают полного извлечения белка из овсяной муки, поэтому требуется исследовать влияние температуры, времени обработки на процесс извлечения белка из овсяной муки. Возможно также использование для этой цели микроволнового излучения или ферментных препаратов. Все вышеизложенное будет предметом дальнейших исследований.

#### Выводы

1. Подобраны условия отмывки овсяной муки от примеси крахмала. Установлено, что при кратности промывки равной трем достигается практически полная отмывка от крахмала.
2. Исследовано влияние рН среды на степень извлечения сырого протеина из овсяной муки. Показано, что максимальная степень извлечения белка достигается при рН равном 7,0 и составляет 48%.
3. Для повышения степени извлечения белка необходимы дальнейшие исследования по оптимизации условий обработки овсяной муки.

#### Список литературы

1. Braaten, J.T. Oat B-glucan reduces blood cholesterol concentration in hypercholesterolemia subjects / J.T. Braaten, P.D. Wood, F.W. Scott, M.S. Wolynetz, M.K. Lowe, P. Bradley-White, M.W. Collins // Eur. J. Clin. Nutr. — 1994. — 48. — P. 465-474.
2. Попов.В.С. Функциональные и технологические свойства зерна овса и перспективный ассортимент продуктов питания на его основе /В.С.Попов, С.С.Сергеева, Н.В.Барсукова//Вестник технологического университета. — 2016. — №16. — С.147-151.

3. Гусейнов Н.И. Перспективы использования овсяной муки при производстве хлебобулочных изделий / Гусейнов Н.И., Нигматьянов А.А.//Наука молодых – инновационному развитию АПК. Материалы IX Всероссийской научно-практической конференции молодых учёных. — 2016. — С. 247-251.

4. Наумова Н.Л.Расширение ассортимента и повышение пищевой ценности печенья с добавлением овсяной муки в современных условиях производства /Наумова Н.Л., Астапенко Т.Н., Позняковский В.М.// Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. — 2013. — №6. — С.39-44.

5. Левина Я.О. Сывороточно-злаковый пудинг/ Левина Я.О., Короткова А.А., Мгебришвили И.В.//Сборник материалов международной научно-практической конференции «Устойчивое развитие, экологически безопасные технологии и оборудование для переработки пищевого сельскохозяйственного сырья, импортозамещение». — 2015. — С.159-160.

6. Анисимова Л.В. Стойкость при хранении овсяной муки, полученной разными способами/ Анисимова Л.В., Солтан Осамма Исмаил Ахмед//Ползуновский вестник. — 2017. — №4. — С.14-20.

7. Heiniö, R.-L. Differences Between Sensory Profiles and Development of Rancidity During LongTerm Storage of Native and Processed Oat / R.-L. Heiniö, P. Lehtinen, K.-M. Oksman-Caldentey, K. Poutanen // Cereal Chemistry. — 2002. — 79, No. 3. — P. 367-375.

8. Баурин Д.В. Комплексная технология переработки шрота подсолнечника с получением изолята белка и углеводно-белкового корма: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук . —Москва,2014. — С.63-83.

УДК 664.784.6

Шульц Л.В. Красноштанова А.А.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЭКСТРАКЦИИ БЕЛКА ИЗ КУКУРУЗНОЙ МУКИ

Шульц Леонид Викторович, студент 3 курса факультета биотехнологии и промышленной экологии;  
Красноштанова Алла Альбертовна, доктор химических наук, доцент, профессор кафедры биотехнологии,  
e-mail: aak28@yandex.ru ;

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия

125480, Москва, ул. Героев Панфиловцев, д. 20

*Растительное сырьё является источником белка, который можно использовать при его дефиците. В работе были рассмотрены условия экстракции белка из кукурузной муки. Установлено значение pH, обеспечивающее наибольшую степень экстракции белка из кукурузной муки. Определено оптимальное время проведения экстракции при данном значении pH.*

**Ключевые слова:** кукурузная мука, экстракция, белковые изоляты

## OPTIMIZATION OF PROTEIN EXTRACTION PROCESS FROM CORN FLOUR

Shults L.V., Krasnoshtanova A.A.

D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

*Vegetable raw materials are the source of protein that can be used with its deficiency. The conditions of protein extraction from corn flour were considered in this study. It was adopted pH value providing the maximum protein extraction degree from corn flour. The optimal time of extraction at this pH value was detected.*

**Keywords:** corn flour, extraction, protein isolates

**Введение**

Белки являются важным компонентом питания человека. Общеизвестным путём ликвидации дефицита белка и его качественной неполноценности является использование новых источников белка, в том числе, растительного сырья [1]. В данной работе рассматриваются аспекты получения белковых изолятов из кукурузной муки.

В таблице 1 приведён химический состав кукурузной, пшеничной, овсяной и гречневой муки [2, 3].

**Таблица 1. Химический состав различных видов муки**

Вещества	Содержание в муке, %			
	кукурузная	пшеничная	овсяная	гречневая
вода	14,0	14,0	9,0	9,0
белок	6,0	10,8	13,0	13,6
жир	1,8	1,3	6,8	1,2
углеводы	72,5	69,9	64,9	71,9
клетчатка	4,7	3,5	4,5	2,8
зола	1,0	0,5	1,8	1,5

Как видно из таблицы 1, содержание белка в кукурузной муке относительно невелико, при этом данная мука богата углеводами.

Кукурузная мука практически не содержит глютен и часто входит в состав безглютеновых мучных смесей. К безглютеновым видам муки также относятся рисовая, гречневая, арамантовая, овсяная, льняная мука, мука из сорго, проса и др. [4] Эти виды муки важны для людей, больных целиакией, так как могут являться заменой муки, содержащей глютен: пшеничной, овсяной, ржаной [5].

Кукурузная мука содержит около 0,12% фитатов — солей фитиновой кислоты, являющейся антипитательным веществом. Приблизительно на том же уровне фитаты содержатся в соевой и рапсовой муке. Более высокое содержание фитатов в

пшеничной (0,27%) и рисовой (0,2%) муке [6]. Фитиновая кислота образует плохо растворимые комплексы с двухвалентными катионами металлов, белками, снижает активность натрий-калиевой помпы, в результате чего падает усвоение аминокислот [7].

Кукурузная мука благодаря высокому содержанию углеводов (табл. 1) и, в частности, крахмала (70,7% при товарной влажности [2]) может использоваться в качестве сырья для получения мальтодекстринов — продуктов частичного ферментативного гидролиза крахмала. Мальтодекстрины могут быть получены путём разжижения суспензии муки при температуре 90...95°C в присутствии бактериальной  $\alpha$ -амилазы, последующего разваривания при 105°C в течение 10 мин и декстринизации при 95°C в течение 60-120 мин. Производство мальтодекстринов из кукурузной муки также позволяет получать белково-углеводный концентрат [2].

Целью данной работы является изучение экстракции белка из кукурузной муки и подбор оптимальных условий проведения экстракции.

**Материалы и методы**

В качестве объекта исследования выбрана кукурузная мука производства ООО «Гарнец» с влажностью 11,8%, содержанием сырого протеина (СП) 8,3%.

Содержание сырого протеина определяли методом Кьельдаля. Содержание белка в растворах определяли микробиуретовым методом.

Перед проведением исследований кукурузная мука была предварительно отмыта от крахмала путём трёхкратного суспендирования в дистиллированной воде с постоянным перемешиванием в течение 30 мин при комнатной температуре. По истечении этого времени надосадочную жидкость отделяли декантацией. Качество отмывки контролировали по отсутствию

синего окрашивания надосадочной жидкости в присутствии йода. Отмытую от крахмала муку высушили на воздухе, после чего определили в ней содержание сырого протеина, которое составило 14,6%.

#### Экспериментальная часть

Для подбора оптимального рН экстрагента провели несколько экстракций при рН 1,0; 2,0; 8,0; 9,0. К образцам муки массой 0,5 г добавлялось 4,5 мл экстрагента. Экстракцию белка проводили в водных растворах с рН 1,0; 2,0; 8,0; 9,0 (рН устанавливали добавлением к суспензии муки соляной кислоты и гидроксида натрия). Экстракцию во всех случаях проводили при 80°C в течение 2 часов. После этого супернатант отделяли центрифугированием при 6500 об/мин в течение 20 мин. Концентрацию белка в супернатанте определяли микробиуретовым методом и рассчитывали выход белка по отношению к содержанию сырого протеина. Полученные результаты приведены в табл. 2

Таблица 2. Результат экстракции белка из кукурузной муки при различных рН

№	рН	Концентрация белка, г/л	Выход белка, % от СП
1	1,0	7,57	52
2	2,0	7,11	49
3	8,0	1,77	12
4	9,0	2,21	15

Как видно из полученных данных, наибольший выход белка наблюдается при рН 1,0, однако он не превышает 52%, поэтому на следующем этапе работы определяли наилучшее время экстракции, обеспечивающее максимальный выход белка в раствор.

Для определения наилучшего времени экстракции проводили процесс рН 1,0 при 80°C в течение 3 часов, отбирая пробы суспензии каждые 15 минут, которые разделяли центрифугированием 6500 об/мин в течение 20 мин. В супернатантах измеряли концентрацию белка микробиуретовым методом и рассчитывали выход белка по отношению к сырому протеину. Результаты представлены на рис. 1.

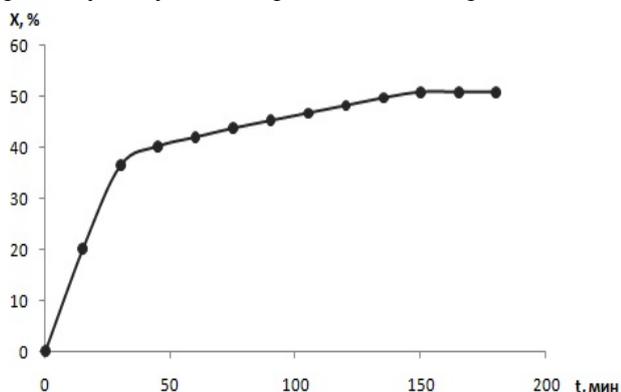


Рис. 1. Динамика экстракции белка из кукурузной муки при рН 1,0 (t – время экстракции, мин; X – выход белка, % от СП)

Судя по полученным данным, скорость экстракции белка значительно падает через 45

минут, через 150 минут после начала процесса выход белка практически не увеличивается. Поэтому наилучшим временем экстракции следует считать время 150 мин. Однако в данных условиях не удастся добиться выхода белка более 50%, что требует дальнейших исследований по подбору условий экстракции, таких как: изучить влияние температуры на выход белка, добавления в состав экстрагента ферментных препаратов. Кроме того, согласно литературным данным, перспективным в настоящее время является использование для этой цели ультразвукового и микроволнового излучения. Все вышеизложенное будет предметом дальнейших исследований.

#### Выводы

1. Подобрано наилучшее значение рН среды для экстракции белка из кукурузной муки. Установлено, что его значение составляет 1,0. При этом степень экстракции белка не превышает 52%.
2. Установлено, что увеличивать время экстракции белка при рН 1,0 и температуре 80°C больше 150 мин нецелесообразно. Для получения большего выхода белка необходимо проведение дальнейших исследований по выбору наилучших условий экстракции.

#### Список литературы

1. Смагина А. В., Сытова М. В. Анализ использования соевого белка в пищевой промышленности // Научные труды Дальрыбвтуза. – 2011. – Т. 23.
2. Ананских В. В., Шлеина Л. Д. О возможности получения мальтодекстринов из кукурузной муки // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2017. – №. 11.
3. Зинина О. В. Влияние бифидогенных добавок на интенсивность роста бактерий в белково-углеводной композиции // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – №. 96.
4. Барсукова Н. В., Решетников Д. А., Красильников В. Н. Пищевая инженерия: технологии безглютеновых мучных изделий // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». – 2011. – №. 1.
5. Крюкова Е. В., Чугунова О. В., Мысаков Д. С. Анализ возможности использования альтернативных видов муки для питания людей больных целиакией // Технические науки – от теории к практике. – 2015. – №. 9 (45).
6. Suresh S., Radha K. V. Effect of a mixed substrate on phytase production by *Rhizopus oligosporus* MTCC 556 using solid state fermentation and determination of dephytinization activities in food grains // Food Science and Biotechnology. – 2015. – Vol. 24. – №. 2. – P. 551-559.
7. Gomes G. et al. The impact of phytate as an anti-nutrient in poultry diets // International Poultry Production. – 2014. – Vol. 22. – №. 3. – P. 15-17.

УДК 661

Юдина А.Н. Красноштанова А.А.

## СПОСОБ СЕЛЕКТИВНОГО ВЫДЕЛЕНИЯ И ОЧИСТКИ ИММУНОГЛОБУЛИНОВ (IgY) ИЗ ЖЕЛТКА ЯИЦ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПТИЦЫ

**Юдина Алеся Николаевна**, студентка 4 курса факультета биотехнологии и промышленной экологии;  
**Красноштанова Алла Альбертовна**, доктор химических наук, доцент, профессор кафедры биотехнологии,  
e-mail: [aak28@yandex.ru](mailto:aak28@yandex.ru);

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия  
125480, Москва, ул. Героев Панфиловцев, д. 20

*Предложен способ выделения иммуноглобулинов IgY из яиц сельскохозяйственной птицы, основанный на технологии замораживания и самопроизвольного оттаивания. Электрофоретически проверена чистота иммуноглобулиновой фракции. Доказано присутствие легкой цепи IgY в полученном растворе.*

**Ключевые слова:** IgY, желточные антитела, метод очистки IgY, электрофорез в ПААГ, гель-хроматография

## METHOD OF SELECTIVE ISOLATION AND PURIFICATION OF ANTIBODIES FROM POULTRY YOLK (IgY)

Yudina A.N., Krasnoshtanova A.A.

D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

*It was proposed the method of isolation of antibodies from poultry yolk (IgY) based on spontaneous freezing- thawing procedure. The purity of the immunoglobulin fraction was verified using polyacrylamide gel electrophoresis. The presence of a light chain in the IgY solution was proved to be a low-molecular compound.*

**Keywords:** IgY, yolk antibodies, purification protocol, polyacrylamide gel electrophoresis, gel-chromatography

### Введение

IgY в настоящее время рассматривают в качестве перспективной замены иммуноглобулинам млекопитающих (IgG). Наибольший интерес представляет вариация их структурных особенностей, определяющих характерные иммунохимические свойства. Благодаря отсутствию шарнирной области, присущей IgG, куриные антитела менее подвержены протеолитической деградации и фрагментации за счет присутствия на ее месте зоны ограниченной гибкости на основе пролиновых и глициновых аминокислотных остатков [1]. Более того IgY не взаимодействуют с Fc-рецептором, ответственным за осуществление многочисленных эффекторных функций; не способны активировать каскады комплемента человека; не обладают перекрестной реактивностью и не связываются с ревматидным фактором (Rf-фактором) [2].

В составе молекулы IgY имеются 2 легкие (L) и 2 тяжелые (H) цепи, формирующие за счет переплетения дисульфидных связей мономерное звено (H<sub>2</sub>L<sub>2</sub>). Их молекулярные массы равны 26 кДа и 71 кДа соответственно. Известно, что вариабельную часть H-цепи кодирует область молекулы ДНК, имеющей следующие генные сегменты: вариабельный (V), соединительный (J) и сегмент разнообразия (D), перестройка которых не способна внести вклад в развитие иммуногенетического разнообразия IgY, что характерно для явления гиперконверсии генов.

Очищенные желточные антитела (IgY) способны сохранять свою активность в течение полугода при комнатной температуре. Кроме того, аффинно-очищенный и биотинилированный IgY сохраняет высокую активность после пяти лет хранения при 4 °C [1].

Именно поэтому разработанные ранее методы по выделению IgY являются перспективными для внедрения их в технологии по разработке медицинских препаратов, пищевых добавок, входящих в состав функционального питания, а также создания современных тест-систем для ранней диагностики и профилактики многих заболеваний, что позволит сократить применение неинвазивных методов терапии над животными для получения антител млекопитающих (IgG) [3-4]. Для создания качественных медикаментов вышеописанного типа необходимо провести очистку высокой степени, гарантирующей точный состав иммуноглобулиновой фракции. Таким образом, целью данной работы явилась разработка способа селективного выделения и очистки IgY из желтка куриного яйца.

### Материалы и методы

В качестве объекта исследования в работе был использован желток яйца сельскохозяйственной птицы производства птицефабрики ОАО «Снежка» с влажностью - 74%, содержанием жира в желтке -32,6г/100г,

сырого протеина в белке - 10,6%, в желтке - 16,6%, фосфолипидов в желтке – 29,6%.

Содержание белка в растворах определяли – биуретовым методом; молекулярную массу цепей, входящих в состав IgY - методом денатурирующего электрофореза в ПААГ и методом гель-хроматографии. В качестве носителя использовали сефадекс марки G-50.

Ультрафильтрацию белковых растворов проводили на плоских мембранах УАМ-10. В концентрате определяли содержание влаги [4].

#### Экспериментальная часть

Согласно ранее опробованной методике по выделению IgY и подобранным условиям очистки от низкомолекулярных примесей, был получен раствор белка в результате разведения суспензии яичного желтка в 6 раз в предварительно подкисленной до pH 5,0 с помощью 0,2 н HCl воде и добавлении преципитирующего агента – хлорида натрия в концентрации 10% от массы раствора. Полученную суспензию заморозили при температуре  $-20^{\circ}\text{C}$  и декантировали от липидных компонентов фильтрованием во время самопроизвольного оттаивания. Образовавшаяся водорастворимая фракция затем была сконцентрирована на мембране УАМ-10 до содержания основного вещества не менее 95% в расчете на сухой вес. Удалось получить раствор белка с концентрацией 12,18 г/л [4]. Далее был проведен анализ на определение молекулярного веса H- и L-цепей IgY, поскольку электрофорез проводился в денатурирующих условиях. Для точной идентификации присутствия легкой цепи в полученной иммуноглобулиновой фракции, проводились повторное выделение и очистка суспензии. По завершении концентрирования раствора, полученную фракцию исследовали посредством гель-хроматографии.

Для определения фракционного состава белков в концентрате и оценки степени чистоты иммуноглобулина было решено провести электрофорез в полиакриламидном геле в

денатурирующих условиях. Электрофореграмма приведена на рис. 1.

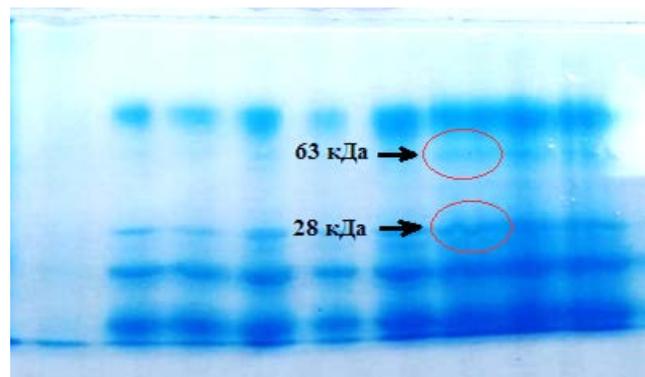


Рис.1 – Электрофореграмма IgY

По данным электрофореза видно, что две полосы, соответствуют молекулярным массам легкой (28 кДа) и тяжелой (63 кДа) цепям иммуноглобулина класса Y. На геле присутствуют несколько нижних полос – примесных белков, соответствующих приблизительно 15 кДа. Также было обнаружено наличие значительной доли других белков в диапазоне молекулярной массы 1-100 кДа, что говорит о недостаточно высокой степени чистоты полученной иммуноглобулиновой фракции.

Во избежание присутствия примесных компонентов, было решено провести повторную процедуру выделения IgY, описанную ранее. Было установлено, что содержание белка в супернатанте после проведения преципитации составило 3,6 г/л. Далее было проведено концентрирование на мембране УАМ-10 с последующей отмывкой от соли и примесных низкомолекулярных веществ с помощью ультрафильтрации. Результаты представлены в табл.1.

Для подтверждения присутствия только L-цепи IgY в иммуноглобулиновой фракции в качестве НМС явилось целесообразным провести гель-хроматографию на сефадексе марки G-50. Результат распределения белка по фракциям представлен на рис.2.

Таблица 1 – Физико-химические показатели диафильтрата и концентрата

Кратность диафильтрации	Интегральная селективность ф, %	СВ диафильтрата, %	Содержание белка в концентрате, г/л
1	88,6	6,9	6,5
2	99,5	3,2	12,7

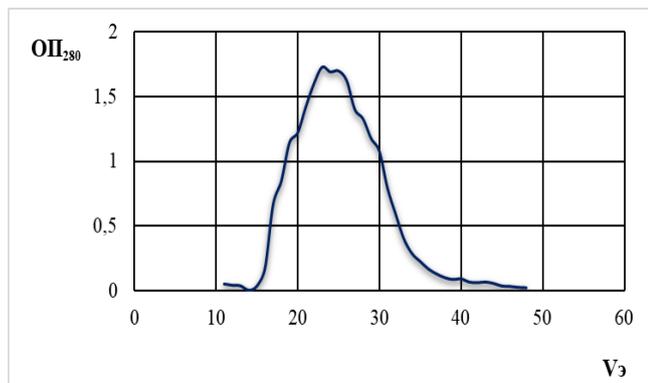


Рис.2 – Гель-хроматограмма для легкой (L) цепи IgY

Из приведенной хроматограммы следует, что легкая цепь иммуноглобулина присутствует в растворе иммуноглобулина. Согласно построенному калибровочному графику ее молекулярная масса составляет приблизительно 26 кДа что соответствует ранее изученным литературным данным [6].

#### Выводы

1. Электрофоретически проверена чистота иммуноглобулиновой фракции яичного желтка. Установлено, что данная фракция содержит значительное количество примесей низкомолекулярных белковых веществ и минеральных солей.

2. Подобраны условия очистки иммуноглобулина Y от низкомолекулярных примесей методом диафильтрации: мембрана УАМ-10, кратность диафильтрации – 2. Установлено, что содержание белка в препарате после диафильтрации составило 98% от сухого вещества.

3. Методом гель-хроматографии доказано присутствие легкой цепи IgY в низкомолекулярной фракции и отсутствие белковых соединений с меньшей молекулярной массой, что доказывает

эффективность выбранного метода очистки диафильтрацией.

#### Список литературы

1. E.P.V. Pereira, M.F. van Tilburg, E.O.P.T. Florean, M.I.F. Guedes / Egg yolk antibodies (IgY) and their applications in human and veterinary health: A review. *International Immunopharmacology* 79(2019) 293-303
2. Warr, G.W., Magor, K.E. and Higgins, D.A. (1995). IgY: clues to the origins of modern antibodies. *Immunol. Today* 16, 392–398.
3. Юдина А.Н., Красноштанова А.А. Выбор оптимальной схемы выделения иммуноглобулинов из желтка яиц сельскохозяйственной птицы. «Биохимическая физика», Москва, 2019, с. 247-250.
4. Юдина А.Н. Красноштанова А.А. Способы выделения иммуноглобулинов из желтка яиц сельскохозяйственной птицы. сб. «Успехи в химии и химической технологии», РХТУ им. Д. И. Менделеева Москва, 2019, том 33, с. 49-50.
5. Кусакина М.Г., Суворов В.И., Чудинова Л.А. Большой практикум «Биохимия». Лабораторные работы: учеб. Пособие – Перм. гос. нац. исслед. ун-т.-Пермь, 2012, с. 5-11.
6. Wei Nie, Chao Zhao, Xiaoxiao Guo, Liwei Sun, Tingyu Meng, Yushen Liu, Xiuling Song, Kun Xu, Juan Wang, Juan Li, “Preparation and identification of chicken egg yolk immunoglobulins against human enterovirus 71 for diagnosis of hand-foot-and-mouth disease”, *Analytical Biochemistry*, 573 (2019) 44–50.

УДК 577.15.08+606.61

Ванюшенкова А.А., Зверева В.В., Белов А.А.

## ИЗУЧЕНИЕ БИОЦИДНЫХ СВОЙСТВ ПРОДУКТОВ ГИДРОЛИТИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РАНОЗАЖИВЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ КУЛЬТУРЫ *STAPHYLOCOCCUS AUREUS*

**Ванюшенкова Анна Алексеевна**, студент 4-го курса факультета биотехнологии и промышленной экологии;  
**Зверева Владислава Васильевна**, студент 3-го курса факультета биотехнологии и промышленной экологии;  
**Белов Алексей Алексеевич**, д.т.н., профессор кафедры биотехнологии, \*E-mail: ABelov2004@yandex.ru  
Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия  
125480, Москва, ул. Героев Панфиловцев, д. 20

*Изучено биоцидное действие продуктов гидролитической деструкции различных целлюлозных материалов для ранозаживления на культуру клеток Staphylococcus Aureus. Было установлено, что продукты деструкции ДАЦ (1,20) оказывают ингибирующее действие на рост патогенов гнойно-некротических ран. Установлено, что иммобилизация Хт на целлюлозный носитель способствует увеличению антимикробного действия ранозаживляющей композиции.*

**Ключевые слова:** хитозан, диальдегидцеллюлоза, гидролитическая деструкция, материалы для ранозаживления.

## THE STUDY OF BIOCIDAL PROPERTIES OF HYDROLYTIC DESTRUCTION PRODUCTS OF CELLULOSIC MATERIALS FOR WOUND HEALING ON THE STAPHYLOCOCCUS AUREUS CULTURE EXAMPLE

Vaniushenkova A.A., Zvereva V.V., Belov A.A.\*

D.I. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia.

\*e-mail: abelov2004@yandex.ru

*The biocidal effect of the hydrolytic destruction products of various cellulosic materials for wound healing on Staphylococcus Aureus cell culture was studied. It was found that degradation products of DAC (1.20) have an inhibitory effect on the growth of purulent-necrotic wounds' pathogens. It was established that the immobilization of Ct on a cellulose carrier increases the antimicrobial effect of the wound healing composition.*

**Keywords:** chitosan, dialdehyde cellulose, hydrolytic destruction, materials for wound healing.

На современном этапе развития хирургии гнойно-некротических ран различной этиологии все большим спросом пользуются ранозаживляющие композиции комплексного действия. Согласно мнению ряда авторов [1,2], подобные композиции должны обеспечивать полноценную сорбцию гнойного отделяемого, создавать благоприятную среду для регенеративных процессов, предотвращать контаминацию раневой поверхности извне и, что главное, реализовывать полноценный терапевтический эффект, достаточный для благополучного ведения раны на различных этапах ее заживления.

Одними из наиболее распространенных в медицинской практике по всему миру по праву считаются перевязочные материалы на основе модифицированной целлюлозы. Это объясняется ее доступностью, распространенностью и низкой иммуногенностью. При производстве комплексных препаратов со-иммобилизованных терапевтических агентов (ТА), необходимо изучить структуру и свойства каждого из них, а также их непосредственное влияние друг на друга и на свойства композиции в целом. В наших работах ранее [3,4] был обоснован выбор периодат окисленной целлюлозы (ДАЦ) с иммобилизованным на ней хитозаном (Хт) в качестве матрицы для иммобилизации ТА.

Как было показано нами ранее [3], процессы гидролитической деструкции начинаются с момента помещения образцов целлюлозных материалов в жидкую среду, соответствующую модели гнойно-некротической раны (1/15М ФБ pH 6.2). В процессе деструкции ДАЦ разрушается до различных органических соединений. По данным [3] до 2,4-дигидроксипутановой и гликолевой кислот. Структурные формулы предполагаемых продуктов представлены на рисунке 1.

*Staphylococcus aureus* был выбран в качестве контрольной культуры микроорганизмов не случайно. Стафилококки являются обычными обитателями кожи и различных слизистых оболочек человека и наиболее распространены среди прочих «больничных» инфекций. Хроническое носительство золотистого стафилококка типично для персонала медицинских учреждений, пациентов, страдающих атопическими дерматитами, а также лиц, регулярно получающих инъекции различных препаратов. Патогенные свойства стафилококков обусловлены способностью вырабатывать экзотоксин и наличием микрокапсул [5]. Согласно клиническим данным, количество *Staphylococcus aureus* в наркотизированном участке тканей может достигать значения выше чем 69% от общей массы.

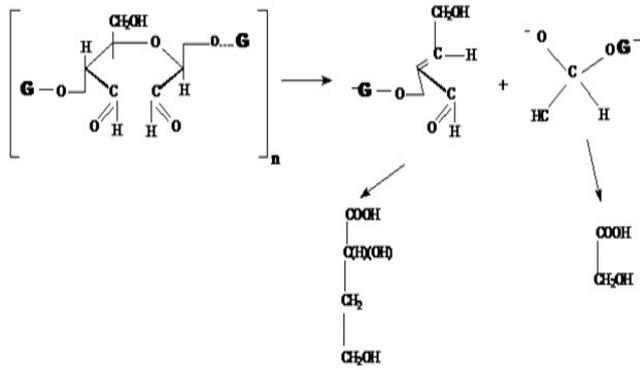


Рисунок 1. Возможные продукты распада ДАЦ по [6]

Для изучения биоцидного действия продуктов гидролитической деструкции используемых нами целлюлозных материалов проводился эксперимент при помощи микропланшетов. Заданную навеску образца, заранее подвергнутому стерилизации, погружали в раствор, моделирующий среду гнойно-

некротической раны на 24 часа. Впоследствии, в каждую лунку микропланшета вносилось 100 мкл исследуемого раствора вытяжек носителей, 80 мкл питательной среды и 20 мкл суточной культуры клеток микроорганизмов. Планшет помещался в термостат (37°C) при постоянном перемешивании. Для контроля количества микроорганизмов проводился высеив на чашки микрометодом Коха.

Культура, в которую не добавляли препарат, в среднем вырастает до  $10^9$  КОЕ/мл за сутки, учитывая это, были сделаны выводы о действии каждого используемого препарата – при получении на чашках  $10^8$ - $10^{10}$  КОЕ/мл, считалось, что культура растет и препарат не оказывает бактерицидного действия, при получении  $10^6$  и менее КОЕ/мл, отмечалось подавление роста, относительно начальной концентрации клеток в лунке планшета. Данные для *St. aureus* в среде отдельных компонентов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Изменение значений оптической плотности в зависимости от времени культивирования для микроорганизмов *Staphylococcus aureus* (концентрация клеток  $10^7$  КОЕ/мл), опт. ед

Время, ч Препарат	0	1	2	3	4	5	24	48	Действие
Культура	0	0	0	0,014	0,041	0,287	0,852	0,685	Рост культуры
Ц <sub>(C1)</sub>	-	-	0,100	0,172	0,198	0,335	0,343	0,092	Рост культуры
Ц <sub>(C2)</sub>	0,049	0,129	0,172	0,209	0,314	0,397	0,054	0,030	Рост культуры
Ц <sub>(C3)</sub>	-	-	0,106	0,074	0,098	0,200	0,297	0,315	Увеличение роста культуры
ДАЦ(0,28)** <sub>(C1)</sub>	0,040	0,143	0,176	0,169	0,222	0,313	0,201	0,142	Рост культуры
ДАЦ(0,28) <sub>(C2)</sub>	-	0,152	0,159	0,155	0,222	0,310	0,025	-	Подавление роста
ДАЦ(1,2) <sub>(C1)</sub>	0,055	0,054	0,143	0,172	0,250	0,289	0,032	-	Подавление роста
ДАЦ(1,2) <sub>(C2)</sub>	-	-	0,099	0,098	0,132	0,094	0,138	-	Подавление роста
ДАЦ(1,2) <sub>(C3)</sub>	0,218	0,205	0,132	0,112	0,116	0,017	0,012	-	Подавление роста
ДАЦ(0,28)-ХТ <sub>(C1)</sub>	-	0,017	0,143	0,178	0,278	0,333	0,012	-	Подавление роста
ДАЦ(0,28)-ХТ <sub>(C2)</sub>	0,100	0,012	0,112	0,154	0,272	0,379	0,223	0,125	Рост культуры
ДАЦ(0,28)-ХТ <sub>(C3)</sub>	0,089	-	0,038	0,021	0,100	0,194	0,041	0,007	Подавление роста
ДАЦ(1,2)-ХТ <sub>(C1)</sub>	-	-	0,086	0,087	0,135	0,202	0,283	0,199	Рост культуры
ДАЦ(1,2)-ХТ <sub>(C2)</sub>	0,083	0,047	0,140	0,164	0,254	0,312	-	-	Подавление роста
ДАЦ(1,2)-ХТ <sub>(C3)</sub>	0,023	-	0,072	0,049	0,039	-	0,028	0,018	Подавление роста

Где C1~ 3,2 мг/мл; C2~ 6,3 мг/мл; C3~ 12,5 мг/мл; \*\*В скобках указано значение количества альдегидных групп на носителе, определенное по модификации метода Miller (значения указаны в мМ/г).

Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что продукты гидролитической деструкции ДАЦ (1,2) обладают достаточной для подавления роста культуры *St. aureus* в количестве эквивалентном степени обсемененности гнойно-некротической раны.

Установлено, что иммобилизация Хт на целлюлозный носитель способствует увеличению антимикробного действия продуктов деструкции ранозаживляющих композиций, предположительно за счет непосредственно собственного биоцидного действия хитозана.

#### Список литературы

- [1] Watson N. F. S., Hodgkin W. Wound dressings //Surgery (Oxford). – 2005. – Т. 23. – №. 2. – С. 52-55.
- [2] Pereira R. F., Bartolo P. J. Traditional therapies for skin wound healing //Advances in wound care. – 2016. – Т. 5. – №. 5. – С. 208-229.

- [3] Гидролитическая деструкция перевязочных материалов на основе диальдегидцеллюлозы / А. А. Ванюшенкова, Э. Э. Досадина, С. Н. Иванова и др. // Бутлеровские сообщения. — 2019. — Т. 59, № 8. — С. 47–59.
- [4] Белов А.А. Разработка промышленных технологий получения новых медицинских материалов на основе модифицированных волокнообразующих полимеров, содержащих биологически активные белковые вещества // Дисс. на соис. уч. степ. докт. техн. наук М., РХТУ, 2009. 385 с.
- [5] Н. В. Прозоркина, П. А. Рубашкина. Основы микробиологии, вирусологии и иммунологии. - 2006. – 384 с.
- [6] Charles J. Knill, John F. Kennedy Degradation of cellulose under alkaline conditions //Carbohydrate Polymers 2003, Vol. 51, P. 281–300.

УДК: 66.067.8.081.3

Морозов А.Р., Каменчук И.Н., Курилкин А.А., Родионов А.И.

## ОКИСЛЕНИЕ НЕИОНОГЕННЫХ ПАВ ПЕРОКСИДОМ ВОДОРОДА В СЛОЕ АДСОРБЕНТА-КАТАЛИЗАТОРА - АКТИВНОГО УГЛЯ БАУ

**Морозов Александр Романович**, Технический специалист АО Бейкер Хьюз

**Каменчук Ирина Николаевна**, к.т.н., инженер кафедры Промышленной экологии

**Курилкин Александр Александрович**, к.т.н., инженер кафедры Промышленной экологии

**Родионов Анатолий Иванович**, д.т.н., профессор

e-mail: [kamenc-irina@yandex.ru](mailto:kamenc-irina@yandex.ru)

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия.

*Статья содержит результаты исследования влияния различных факторов (температуры, pH среды, времени обработки, высоты слоя, концентрации окислителя) на эффективность адсорбционно-каталитического окисления неионогенных ПАВ пероксидом водорода в слое активного угля БАУ. Определены технологические условия процесса для наиболее полного удаления ПАВ из воды.*

**Ключевые слова:** окисление, пероксид водорода, неионогенные ПАВ, адсорбент-катализатор активный уголь БАУ

## OXIDATION OF NONIONIC SURFACTANTS WITH HYDROGEN PEROXIDE IN LAYER OF ADSORBENT-CATALYST - ACTIVATED CARBON BAU

Morozov A.R., Kamenchuk I.N., Kurilkin A.A., Rodionov A.I.

*The article contains the results of a study of the influence of various factors (temperature, pH, processing time, layer height, oxidizer concentration) on the efficiency of adsorption-catalytic oxidation of nonionic surfactants with hydrogen peroxide in the BAU activated carbon layer. The technological conditions of the process for the most complete removal of surfactants from water are determined.*

**Keywords:** oxidation, hydrogen peroxide, nonionic surfactants, adsorbent-catalyst activated carbon BAU

Очистка сточных вод, загрязненных поверхностно-активными веществами (ПАВ) в последнее время приобретает актуальность в связи с их широким применением в промышленности и в быту. Зачастую загрязненные воды прачечных, автомоек, производств синтетических ПАВ, металлургической, лакокрасочной промышленности, производства бумаги и многих других отраслей сбрасываются на биоочистные сооружения без достаточной степени очистки. Отсюда идет загрязнение окружающей среды токсическими для нее продуктами.

В мировой практике предложены и осуществлены многочисленнее эффективные методы удаления ПАВ из бытовых и промышленных стоков, такие как пенная сепарация и электрофлотация, мембранная очистка, адсорбция различными твердыми материалами, ионный обмен и окислительная деструкция с использованием различных катализаторов, а также эффективное сочетание этих методов [1-3]. Настоящее исследование является частью разработки трехступенчатой системы локальной очистки стоков промышленных прачечных, включающей коагуляцию, окисление органических примесей пероксидом водорода в слое адсорбента- катализатора и биодеструкцию остаточных примесей в слое того же угля. Поскольку в составе стоков прачечных неизменно присутствуют плохо биохимически разлагающиеся неионогенные ПАВ, то модельным объектом для исследования адсорбционно-каталитического процесса их окисления выбрали широко используемый неонол АФ<sub>9</sub>-10. В качестве катализатора использовали активный уголь БАУ,

обладающий, как было показано ранее, хорошей адсорбционной способностью по данному типу ПАВ и каталитической активностью в реакции разложения H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> [4 -6].

Эффективность процесса очистки воды от НПВВ подобного типа с использованием угля БАУ неизбежно зависит от величины их сорбции, поэтому первоначально провели опыты по исследованию влияния температуры и pH раствора на равновесную сорбцию неонла на данном активном угле. В работе использовали исходный раствор ПАВ с концентрацией 50 мг/л, близкой к величине ККМ данного ПАВ при комнатной температуре [7]. Постоянные дозы предварительно высушенного угля (100±0,0002 мг) вносили в 100 мл растворов с различной величиной pH (4, 6, 8, 10, 12) и выдерживали сорбент в контакте с раствором в воздушном термостате при различной температуре (20 °С÷70 °С), в течение 3-х суток. После отделения угля на бумажном фильтре «синяя лента» анализировали фильтрат на содержание неонла по методике с хромазуролом S [8]. Расчет величины равновесной сорбции неонла АФ<sub>9</sub>-10 показал, что активный уголь БАУ как адсорбент этого ПАВ наиболее эффективен при температуре более 60 °С независимо от pH среды. Установили, что за счет повышения температуры с 20 до 60 °С равновесная емкость угля в щелочной среде при pH = 8 - 12 увеличивается с 40 до 50 мг/г. Положительным моментом для проведения процесса окисления неонла пероксидом водорода в щелочной среде на угле БАУ является то, что и процесс разложения

пероксида водорода в воде в статических условиях протекает наиболее интенсивно также при  $\text{pH} = 9 - 12$ .

В следующей серии опытов изучили способность слоя активного угля БАУ разлагать пероксид водорода в щелочной среде уже в динамических условиях. 4 г предварительно высушенного при  $105^\circ\text{C}$  угля с размером частиц  $0,5 \div 2,0$  мм помещали в термостатируемый при различной температуре ( $40 - 80^\circ\text{C}$ ) стеклянный реактор, через который в течение 160 минут с помощью перистальтического насоса прокачивали раствор пероксида водорода с концентрацией 50 мг/л. На выходе из слоя непрерывно отбирали по 100 мл проб раствора, в которых йодометрическим методом определяли остаточную концентрацию окислителя [8]. Результаты анализов всех проб, отобранных за прошедшие 160 минут опытов при каждой из исследуемых температур, усредняли. Усредненные данные, приведенные на рисунке 1, показали, что только при температуре более  $70^\circ\text{C}$  остаточная концентрация пероксида водорода в растворе, прошедшем слой угля, была наименьшей ( $\leq 1$  мг/л).

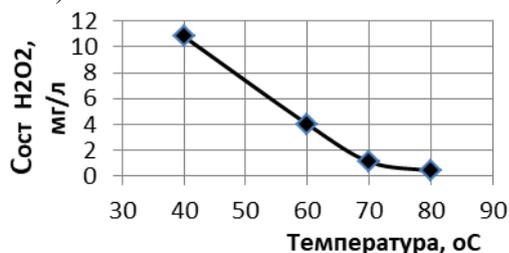


Рис. 1. Влияние температуры на остаточное содержания пероксида водорода (среднее за все время эксперимента) на выходе из слоя угля БАУ ( $\text{pH}=10,0$ ; уголь БАУ,  $\text{H}_{\text{слоя}} = 4$  см,  $m = 2$  г; время эксперимента 160 мин;  $W=0,41\pm 0,01$  л/ч)

Аналогичные опыты провели со щелочным раствором ( $\text{pH} = 10$ ), содержащим 50 мг/л неонла  $\text{AF}_9-10$  и 60 мг/л пероксида водорода, который подавали в термостатируемый реактор со слоем угля БАУ той же высоты в течение 160 минут с тем же расходом, что и в опытах с чистым раствором  $\text{H}_2\text{O}_2$ . На выходе из реактора помимо концентрации  $\text{H}_2\text{O}_2$  определяли концентрацию ПАВ по методике с использованием индикатора хромазурол S [9]. Затем для каждой температуры и периода времени работы слоя составили материальные балансы процесса по компонентам раствора. Результаты расчета в виде кинетических кривых изменения степени удаления неонла и пероксида водорода ( $\alpha$ , % отн.) из раствора приведены на рисунке 2. Из них следует, что при  $40$  и  $60^\circ\text{C}$ , происходит заметное снижение во времени производительности слоя угля как по ПАВ, так и по пероксиду водорода. Средняя концентрация в растворе, собранном за все 180 минут эксплуатации слоя, при этих температурах по ПАВ составляет менее 12 мг/л, а по пероксиду водорода - 14 мг/л (см. рисунок 3). При более высокой температуре эффективности слоя угля значительно выше.

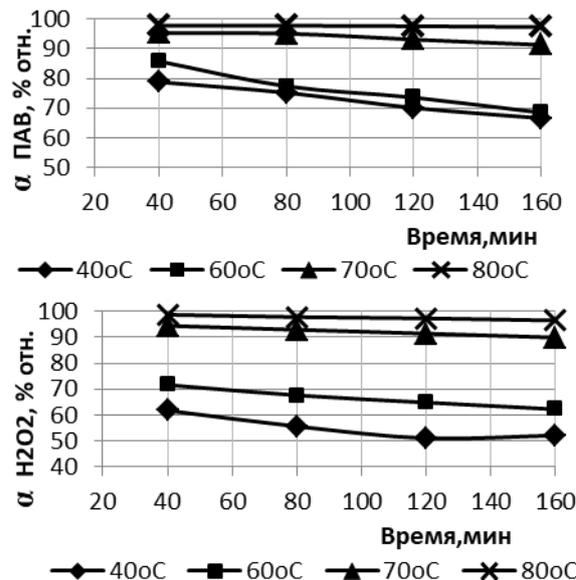


Рис. 2. Изменение степени удаления  $\alpha$  неонла  $\text{AF}_9-10$  (А) использования  $\alpha$   $\text{H}_2\text{O}_2$  (Б) из смешанного водного раствора во времени при различной температуре на выходе из слоя активного угля БАУ ( $\text{pH} = 10,0$ , уголь БАУ,  $\text{H}_{\text{слоя}} = 4$  см,  $m = 2$  г,  $C_{\text{ПАВ}} = 50$  мг/л,  $C_{\text{пероксида}} = 60$  мг/л,  $W = 0,41\pm 0,01$  л/ч)

С целью повышения степени окисления ПАВ в дальнейших опытах предложено снизить температуру до  $40^\circ\text{C}$ , но увеличить высоту слоя и, соответственно, массу адсорбента-катализатора в реакторе, и также варьировать концентрацию окислителя.

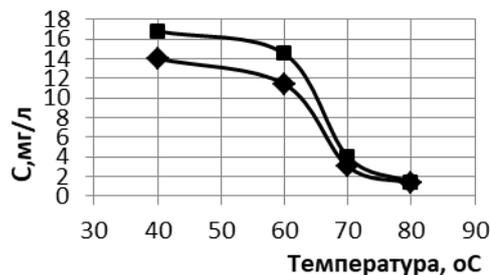


Рис. 3. Влияние температуры на среднее за все время опыта остаточное содержание неонла  $\text{AF}_9-10$  и пероксида водорода ( $\text{pH}=10,0$ ; уголь БАУ,  $\text{H}_{\text{слоя}} = 4$  см,  $m = 2$  г;  $C_{\text{ПАВ}} = 50$  мг/л,  $C_{\text{пероксида}} = 60$  мг/л; время опыта 160 мин,  $W=0,41\pm 0,01$  л/ч)  
 -♦-  $\text{H}_2\text{O}_2$  -■- ПАВ

В первой серии этих опытов в реактор последовательно загружали слои сухого угля разной высоты (4, 6 и 10 см) и термостатировали их уже при  $40^\circ\text{C}$ . Сначала в реактор подавали индивидуальный раствор пероксида водорода с исходной концентрацией 60 мг/л в течение 180 минут, остальные условия опыта были прежними. Полученные результаты для раствора  $\text{H}_2\text{O}_2$  приведены в таблице 1. Опыты показали, что для практически полного разложения окислителя высота слоя при данных условиях проведения опытов должна составлять не менее 10 см, что при расходе раствора  $W=0,41$  л/ч отвечало времени его пребывания в этом слое угля 2,5 мин.

Таблица 1

Влияние высоты слоя угля БАУ на степень разложения пероксида водорода (рН=10,0, температура 40 °С,  $C_{H_2O_2} = 60$  мг/л,  $W=0,41+0,01$  л/ч)

№ п/п	$H_{\text{слоя}}$ угля, см	Масса угля, г	$C_{\text{ост.}H_2O_2}$ , мг/л	$\alpha$ , %
1	4	2	10,8	82,0
2	6	3	7,6	87,1
3	10	5	0,2	99,6

В следующей серии опытов проверили эффективность работы слоя высотой 10 см по окислению ПАВ пероксидом водорода при той же температуре - 40 °С. Продолжительность опытов увеличили с 3 часов до 8 часов и после проведения анализа на остаточное содержание компонентов в очищенном растворе опыты на том же слое продолжили сначала в течение 8 часов, потом дважды и трижды по 8 часов без замены слоя угля в реакторе. Растворы, выходящие из реактора, также периодически анализировали в течение всего опыта (см. рисунок 4). Установлено, что за слоем угля данной высоты происходил постепенный рост во времени концентрации как  $H_2O_2$ , так и неолола. Однако, увеличение высоты слоя с 4 см до 10 см, т.е. в 2,5 раза, при тех же условиях опыта (180 минут) обеспечило значительное снижение остаточных концентраций пероксида водорода в 7 раз (вместо  $\approx 14$  мг/л до  $\approx 2$  мг/л), а неолола – более чем в 17 раз (вместо  $\approx 17$  мг/л работы до  $\approx 0,2$  мг/л) на выходе из реактора. Этот вывод следует из сопоставления кривых для одинаковой продолжительности времени, представленных на рисунке 2 и 4.

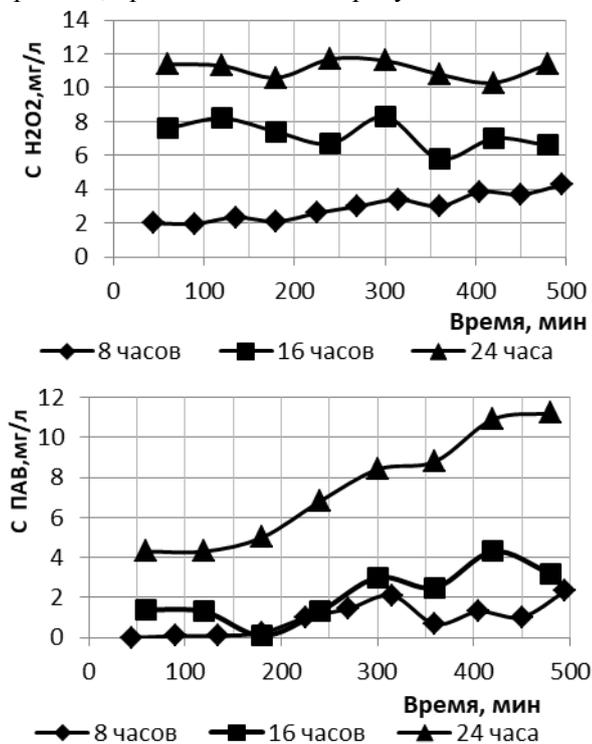


Рис. 4. Кинетические кривые изменения остаточной концентрации ПАВ и  $H_2O_2$  за слоем угля БАУ высотой 10 см при различной продолжительности его работы без промежуточной регенерации.

Можно также отметить, что присутствие ПАВ в растворе пероксида при одинаковой высоте слоя

угля снижает его эффективность по разложению окислителя. Так при высоте слоя угля 4 см за время его работы с его индивидуальным раствором в течение 180 минут средняя остаточная концентрация  $H_2O_2$  на выходе из слоя составляла 10,5 мг/л, а в присутствии ПАВ в тех же условиях она выросла до 14 мг/л. Это вызвано, вероятно, конкуренцией за доступную поверхность адсорбента-катализатора между молекулами  $H_2O_2$  и ПАВ и появлением в порах угля газообразного кислорода в результате разложения окислителя, препятствующим доступу ПАВ в объем пор угля. Не исключена также отрицательная роль адсорбции на поверхности угля образующихся в большем количестве продуктов окисления ПАВ.

Сложность происходящих в слое процессов иллюстрирует ход выходных кривых, полученных в дополнительных длительных опытах – 2 и 3 раза по 8 часов на одном и том же слое угля без его предварительной регенерации, представленных на рис.4. При этом, чем дольше работает слой угля, тем выше концентрации  $H_2O_2$  и ПАВ в выходящем из слоя угля растворе. Это означает, что для более полного удаления продуктов окисления ПАВ с поверхности угля и снижения количества газообразного кислорода в объеме пор, следует также увеличивать или уменьшать начальную концентрацию пероксида в исходном растворе.

Для выяснения этого предположения провели серию опытов с различным начальным содержанием  $H_2O_2$  в поступающем в слой адсорбента растворе (30-120 мг/л). Результаты этих опытов приведены на рис. 5.

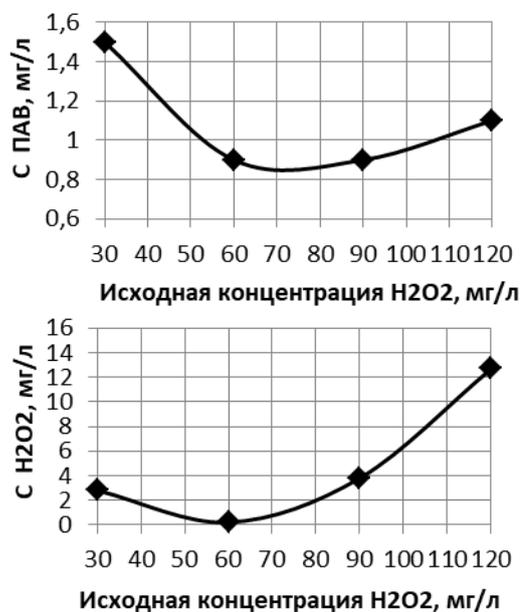


Рис. 5. Изменение остаточной концентрации  $H_2O_2$  и ПАВ за слоем угля БАУ в зависимости от начальной концентрации пероксида водорода (средней за весь эксперимент) (рН=10,0,  $C_{\text{нач.ПАВ}}=50$  мг/л,  $H_{\text{слоя}}=10$  см, температура 40°С,  $W_{\text{ср.}}=0,41$  л/час)

Из них следует, что оптимальной для удаления ПАВ и более полного использования  $H_2O_2$  в данных условиях является концентрация пероксида водорода 60 мг/л, т.к. за слоем обнаружили в растворе

среднюю минимальную остаточную концентрацию этих компонентов. Повышение исходной концентрации окислителя мало влияло на остаточную концентрацию исследуемого ПАВ, но приводило к непроизводительному расходу  $H_2O_2$  по причине образования большего количества кислорода и плохо окисляемых органических кислот, адсорбирующихся в пористой структуре угля.

Таким образом, на основании проведенной на данном этапе работы можно рекомендовать следующие технологические параметры адсорбционно-каталитического процесса удаления неионогенного ПАВ типа неонол АФ<sub>9</sub>-10 из воды с помощью окисления пероксидом водорода: адсорбент-катализатор – активный уголь БАУ; рН = 10; температура – 40 °С; время пребывания раствора в слое угля - 2,5 минуты.

Дальнейшие исследования необходимо продолжить в направлении поиска условий, обеспечивающих длительную эксплуатацию слоя угля без регенерации за счет интенсификации работы лобового слоя угля путем модифицирования его поверхности металлами, Использование ультразвуковой обработки слоя во время его эксплуатации также должно способствовать удалению газообразного кислорода из объема пор угля. Необходимо определение образующихся продуктов окисления ПАВ данного типа и проверка их биологической токсичности для обоснования рациональности последующей ступени биоокисления.

#### Литература

1. Наилучшие технологии очистки сточных вод и обратное водоснабжение прачечных предприятий / Д. В. Павлов, С. О. Варакин, В. А., Колесников // Водочистка. - 2012. - № 4. - С. 57-61.
2. Грищенко А.С., Гущина Л.И. Методы очистки сточных вод от ПАВ. М.: ЦНИИЭНЕФТЕХИМ, 1984.- 48 с.
3. Физико-химические основы извлечения поверхностно-активных веществ из водных растворов и сточных вод / А.М. Когановский, Н.А. Клименко. Киев: Наукова думка, 1978. -174 с.
4. Мухин В.М., Тарасов А.В., Клушин В.Н. Активные угли России. М.: Металлургия, 2000.- 352 с.
5. Курилкин А.А., Морозов А.Р., Родионов А.И. Каменчук И.Н. Адсорбция неионогенных поверхностно активных веществ типа неонол АФ<sub>9</sub>-10 на активных углях различных марок. / Успехи в химии и химической технологии: Сб. науч. тр., том XXII, № 13. М. РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2008.- с.54-58.
6. Морозов А.И., Родионов А.И., Каменчук И.Н., Курилкин А.А. Разложение пероксида водорода на активных углях различных марок. Успехи в химии и химической технологии: Сб. науч. тр., том XXVIII, №5. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2014.- с.50-53.
7. Абрамзон А.А. Поверхностно-активные вещества: Свойства и применение./2-е изд., перераб. и доп. - Л.; Химия, 1981. - 304 с.
8. Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод. М.; Химия. 1984, - 356 с.
9. Фотометрические методы определения неионных ПАВ с помощью хелатов хромазуrola S с железом 3+/Сб.: Применение ПАВ в анализе природных и промышленных объектов. Изд-во Саратовского института, 1986, с. 24-26.

УДК 632.4.01/08

Журавлева А.С., Шагаев А.А., Горюнова О.Б., Марквичев Н.С.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗВИТИЯ *FUSARIUM OXYSPORUM* НА ЛЕГКО- И ТРУДНОДОСТУПНОМ СУБСТРАТАХ

**Журавлева Александра Сергеевна**, бакалавр 4-го курса факультета биотехнологии и промышленной экологии, e-mail: [sashka.zhuravliova@yandex.ru](mailto:sashka.zhuravliova@yandex.ru);

**Шагаев Антон Александрович**, аспирант 2-го курса факультета биотехнологии и промышленной экологии;

**Горюнова Ольга Борисовна** к.т.н., генеральный директор ООО «БИОМ-ПРО»;

**Марквичев Николай Семёнович**, к.т.н., доцент кафедры биотехнологии РХТУ им. Д.И. Менделеева;

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия

125480, Москва, ул. Героев Панфиловцев, д. 20.

*Была изучена динамика роста при глубинном культивировании фитопатогенного гриба *Fusarium oxysporum* на легко- и труднодоступных субстратах. Получены данные о накоплении биомассы в культуральной жидкости.*

*Также было проведено сравнение микроморфологии гриба при развитии на разных источниках углерода. Сделаны выводы о возможном пути развития фитопатогена в прикорневой зоне в условиях отсутствия экссудации.*

**Ключевые слова:** *корневые экссудаты, катаболитная репрессия, ферментные системы.*

## STUDY OF THE PECULIARITIES OF *FUSARIUM OXYSPORUM* DEVELOPMENT ON EASY-AND HARD-TO-REACH SUBSTRATES

Zhuravleva A.S., Shagaev A.A., Goryunova O.B., Markvichev N.S.

D.I. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia.

*The growth dynamics was studied during deep cultivation of the pathogenic fungus *Fusarium oxysporum* on easy- and hard-to-reach substrates. The data of biomass accumulation in the culture liquid were obtained. A comparison of the micromorphology of the fungus during development at different carbon sources was also made. Conclusions about a possible way of the development of a phytopathogen in the root zone in the absence of exudation were done.*

**Key words:** *root exudates, catabolite repression, enzyme systems.*

Известно, что растения могут выделять в окружающую среду различные вещества. Особенно интенсивно выделение происходит на корневых волосках, где установлен постоянный массообмен, причём такие метаболиты называют корневыми экссудатами. Экссудация – выделение соединений в ризосферу, включая сахара, органические кислоты, аминокислоты, вторичные метаболиты и структурные углеводы. Корневой экссудат участвует в ряде биотических взаимодействий с другими растениями, ризосферными микробами и абиотическими компонентами почвы. Экссудаты могут быть важным источником углерода для бактерий и грибов. Они могут также увеличивать доступность некоторых питательных веществ, таких как фосфор (посредством выделения фосфатаз и хелатирования выделенными органическими кислотами, которые при взаимодействии с фосфором образуют его более доступные для поглощения растений формы) [1].

Значительную часть корневых экссудатов составляют противомикробные вещества, которые требуются растению для защиты от патогенов. Часть соединений в определённой концентрации выделяются в ризосферу конститутивно вне зависимости от присутствия рядом посторонней микрофлоры. Также защитный механизм растения обладает индуцибельными низкомолекулярными антимикробными соединениями, называемыми фитоалексинами, которые не обнаруживаются в здоровых растениях. Среди часто встречающихся и хорошо изученных можно выделить такие вещества, как момилактон, транскоричную, розмариновую,

салициловую кислоты, жасмонат и их производные и т. д. Композиционные изменения в корневых экссудатах происходят не только в ответ на экзогенные факторы, но также контролируются эндогенно. Например, бензоксаиноиды выделяются при появлении боковых и коронных корней у кукурузы. Эти соединения регулируются генетически, являясь защитным химическим барьером для предотвращения атаки патогенов в местах, которые находятся на стадии развития и поэтому являются более восприимчивыми к фитопатогенам. Соответственно, пик экссудации защитных веществ наблюдается непосредственно перед цветением и на более поздних этапах жизненного цикла растения, о чем свидетельствует увеличенное количество предполагаемых антимикробных фенольных соединений в ризосфере. Примечательно, что фенольные метаболиты также эффективно привлекают некоторые почвенные микроорганизмы и могут благотворно влиять на «родное» почвенное микробное сообщество. Было также отмечено, что молекулы, такие как аминокислота канаванин, могут действовать как стимулятор для одной группы микроорганизмов, так и в качестве ингибитора многих других почвенных бактерий [2].

Таким образом растения могут влиять на состояние почвенной микрофлоры. Однако не только факт присутствия растения важен в формировании почвенных микробных сообществ, но и вид растения влияет на состав консорциума микроорганизмов, которые колонизируют корни. Микроорганизмы в ризосфере растений воздействуют на круговорот

питательных веществ в системе «почва-растение». Кроме того, метаболиты растений влияют на структуру сообщества ризосферных микроорганизмов в зависимости от возраста, на разных этапах развития растения состав почвенной микрофлоры может меняться [3].

Сообщества микроорганизмов, находящиеся в прикорневой зоне, также значительно влияют на растение. Некоторые ризосферные микроорганизмы увеличивают способность растений усваивать питательные вещества из почвы путем увеличения протяженности корня или солубилизации макроэлементов, таких как фосфор или сера. Почвенные микроорганизмы также влияют на взаимодействия растений и патогенов, которые также развиваются на растительных метаболитах в зависимости от их состава и концентрации в нём веществ защитного действия [4].

Однако несмотря даже на слаженные механизмы защиты от патогенов и регулирования состава микробного сообщества в ризосфере, в период стресса растение может быть подвержено атаке фитопатогенов. Неблагоприятные факторы внешней среды могут привести к изменению интенсивности экссудации и даже к её прекращению, из-за чего микробы не подвержены влиянию фитоалексинов. К тому же исчезновение доступного источника углерода, содержащегося в экссудатах, может индуцировать синтез комплекса гидролаз для разрушения растительной ткани у фитопатогенов, таких как грибы рода *Fusarium*. Эти микромицеты не являются биотрофами, поэтому *Fusarium spp.* выделяют токсичные вещества, такие как дезоксиниваленон, ниваленон, зеараленон и др., чтобы растительная клетка погибла и гриб продолжил развиваться на мёртвой органике. Фузариозы – зачастую очень быстро развивающееся заболевание, приносящее большой вред выращиваемым культурам и, соответственно, урожаю [5].

Исходя из имеющейся информации была поставлена цель исследовать процесс потребления разных (более и менее доступных) источников углерода фитопатогеном *Fusarium oxysporum* и обнаружить возможные различия в развитии при культивировании *in vitro*.

Для этого было решено провести эксперимент по глубинному культивированию фитопатогена на разных источниках углерода. Объектом исследования являлся штамм микромицета *Fusarium oxysporum F2106*. Исследование основывается на построении кривых роста фитопатогена на разных источниках углерода, моделирующих развитие микроорганизма в условиях отсутствия легкодоступных источников углерода (экссудатов), а также с их добавлением. В качестве модели клеточной стенки растения рассматривали микрокристаллическую целлюлозу (МКЦ), в роли легкодоступного источника углерода, входящего в состав корневых экссудатов, использовали фруктозу.

Культивирование проводили в колбе Эрленмейера на питательной среде следующего состава : 5 г/л

МКЦ, 0,5 г/л дрожжевого экстракта в фосфатном буфере pH 5,59. В соответствии с результатом эксперимента по нахождению фазы логарифмического роста на 53 часе в питательную среду с МКЦ была внесена фруктоза в таком количестве, чтобы в итоге ее концентрация была 5 г/л. Контролем являлось культивирование гриба в питательной среде без добавления фруктозы. Кривые роста строились по результатам измерений концентрации спор и мицелия методом раститровок по Коху. Результаты представлены на рис. 1.

Полученные в ходе эксперимента данные о динамике роста *Fusarium oxysporum* показывают, что концентрация мицелия и спор на стационарной фазе развития при культивировании на фруктозе больше, чем на микрокристаллической целлюлозе на порядок. Кроме того, значительно отличаются скорости роста микромицета: скорость роста фитопатогена на целлюлозе составляла около  $8 \cdot 10^3$  КОЕ/(мл\*час), а на целлюлозе совместно с фруктозой – около  $33 \cdot 10^3$  КОЕ/(мл\*час). При этом после внесения фруктозы в культуральную жидкость не было зафиксировано видимой лаг-фазы как периода адаптации к новому источнику углерода, график сразу начинает расти.

Кроме этого, были зафиксированы данные о различиях в микроморфологии фитопатогена в ходе похожего эксперимента. *Fusarium oxysporum* культивировали в 1 л жидкой питательной среды на целлюлозе (1 г/л дрожжевого экстракта, 0,5 г/л МКЦ на фосфатном буфере pH 5,59) и на глюкозе (1 г/л дрожжевого экстракта, 1 г/л глюкозы на фосфатном буфере pH 5,59). Микроскопия показывала, что несмотря на более интенсивный рост гриба на глюкозе, конидии быстрее образовывались в среде с целлюлозой. Кроме того, уже на 45м часе культивирования на МКЦ появились конидии и гифы с крупными включениями, а на 165 часе было большое количество хламидоспор. При культивировании на глюкозе конидий с крупными включениями было обнаружено значительно меньше, включения в гифах появляются в основном на 68м часе, а количество хламидоспор было значительно меньше, чем при росте на МКЦ, и относительно большое их количество появилось к 190му часу. Сравнение микроморфологии представлено на рис. 2 и 3.

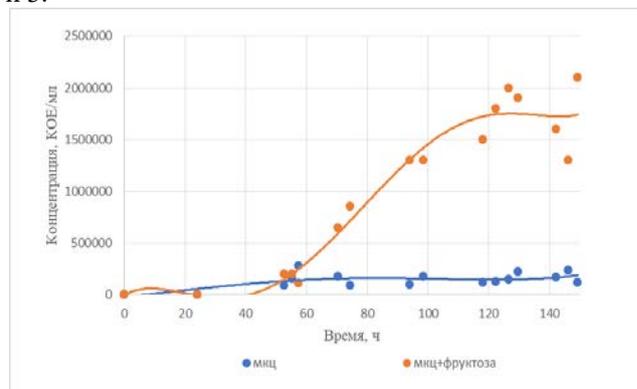


Рис. 1. Сравнение кривых роста *Fusarium oxysporum* при культивировании на МКЦ и МКЦ с добавлением фруктозы



Рис. 2, 3. Сравнение микроморфологии *Fusarium oxysporum*, выращенном на глюкозе (слева) и на МКЦ (справа). 165 час культивирования, увеличение 400х

Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что легкодоступность субстрата способствует большему накоплению биомассы, поэтому не исключено, что при нормальной экссудации концентрация резистентных к растительным антимикробным соединениям фитопатогенов может значительно увеличиваться. Это опасно при наступлении неблагоприятных для растения условий: в отсутствие легкодоступного источника углерода, содержащегося в экссудатах, микроорганизмы согласно явлению катаболитной репрессии начнут потреблять оставшийся субстрат, которым является растительная ткань. Как показывает эксперимент, *Fusarium oxysporum* может расти на целлюлозе, что происходит благодаря целлюлазному комплексу. Однако стоит заметить, что лаг-фаза при росте на МКЦ значительно продолжительнее, нежели на легкодоступных источниках углерода. Кроме всего, раннее появление большого количества включений, возможно, запасаемых веществ, и хламидоспор указывают на то, что потребление целлюлозы для данного штамма фитопатогена является неблагоприятным условием.

#### Список литературы

1. Lilia Cavaglieri, Julieta Orlando, Miriam Etcheverry Rhizosphere microbial community structure at different maize plant growth stages and root locations//Microbiological Research. – 2009. – 164. – P. 391—399
2. S.D. Siciliano, C.M. Theoret, J.R. de Freitas, P.J. Hucl, and J.J. Germida Differences in the microbial communities associated with the roots of different cultivars of canola and wheat//Canadian Journal of Microbiology. - 1998. - 44(9). - P. 844-851
3. Ulrike Baetz, Enrico Martinoia Root exudates: the hidden part of plant defense//Trends in Plant Science. – 2014. - Vol. 19. - №. 2. – P. 90-98
4. Catherine Preece, Josep Penuelas A Return to the Wild: Root Exudates and Food Security//Trends in Plant Science. – 2019
5. J.M. Wagacha, J.W. Muthomi *Fusarium culmorum*: Infection process, mechanisms of mycotoxin production and their role in pathogenesis in wheat//Crop Protection. – 2007. – 26. – P. 877–885.

УДК 577.15.08+606.61

Зверева В.В., Ванюшенкова А.А., Белов А.А.

## ИСПЫТАНИЕ НА СТЕРИЛЬНОСТЬ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ МЕДИЦИНСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ГНОЙНО-НЕКРОТИЧЕСКИХ РАН

**Зверева Владислава Васильевна**, студент 3-го курса факультета биотехнологии и промышленной экологии;  
**Ванюшенкова Анна Алексеевна**, студент 4-го курса факультета биотехнологии и промышленной экологии;  
**Белов Алексей Алексеевич**, д.т.н., профессор кафедры биотехнологии, \*E-mail: ABelov2004@yandex.ru  
Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия  
125480, Москва, ул. Героев Панфиловцев, д. 20

*Рассмотрено возможное обсеменение различных целлюлозных материалов, используемых при создании комплексных препаратов для ранозаживления. Было установлено, что изученные материалы подвержены обсеменению чужеродной микрофлорой. Установлено, что иммобилизация хитозана незначительно способствует снижению роста микроорганизмов.*

**Ключевые слова:** хитозан, диальдегидцеллюлоза, материалы для ранозаживления.

## STERILITY TEST OF CELLULOSE BASED MEDICAL MATERIALS FOR TREATMENT OF PURULO-NECROTIC WOUNDS

Zvereva V.V., Vaniushenkova A.A., Belov A.A.

D.I. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia.

*Possible contamination of various cellulosic materials used in the creation of complex coating for wound healing is considered. It was found that the studied materials are susceptible to seeding by foreign microflora. It was established that the immobilization of chitosan slightly influences to a decrease in the microorganisms' growth.*

**Keywords:** chitosan, dialdehyde cellulose, materials for wound healing.

На современном этапе развития терапии гнойно-некротических ран различной этиологии все еще остро стоит вопрос вторичной контаминации раневого канала. Даже после иссечения наркотизированных участков эпителия, ведение ранения может быть осложнено возможностью попадания патогенной микрофлоры в физиологические жидкости, контактирующие с раневой поверхностью; данное явление наблюдается при недостаточной реализации барьерной функции применяемого перевязочного материала, в таком случае в область раны попадает, так называемая, больничная инфекция. Помимо вышеописанного, контаминация раны может произойти при недостаточности стерилизации комплексного препарата для ранозаживления.

Безусловно, первое место в медицинской практике остается за материалами на основе целлюлозы. Однако, как известно [1], нативная целлюлоза нуждается в активации, т.к. ее реакционной способности недостаточно для успешной иммобилизации различных терапевтических агентов (ТА) на ее матрицу, т.е. она должна быть подвержена модификациям. Ранее [1,2], нами был обоснован выбор перйодат окисленной целлюлозы (ДАЦ) с иммобилизованным на ней хитозаном (Хт) в качестве матрицы для иммобилизации ТА.

Для препаратов, предназначенных для медицинской эксплуатации, распространенным является стерилизация посредством облучения. Как показывает многолетняя практика использования излучения для стерилизации, доза 25 кГр

обеспечивает достаточный для безопасного применения уровень микробиологической чистоты. Именно эта доза является типичной для стерилизации изделий самого разного состава медицинского назначения, хотя в ряде случаев допустимы меньшие дозы, а иногда, наоборот, требуются большие [3]. Однако, данная доза может внести изменения в биологическую активность комплексного препарата, содержащего лабильные компоненты. Поэтому целью наших исследований стало изучение возможности создания ранозаживляющей композиции без этапа стерилизации облучением, а также изучение источников контаминации ее компонентов.

Были проведены испытания на стерильность [4], осуществляемые посредством метода прямого посева. Для испытаний были отобраны как образцы, исследуемых нами целлюлозных материалов, так и некоторые из иммобилизованных ТА. От каждого носителя отрезали полоску размером 1x4 см, согласно ОФС.1.2.4.0003.15 Стерильность, разделяли ее пополам и помещали в 100 мл жидкой среды Сабуро. Эксперимент проводился с соблюдением правил асептики.

Материал считают удовлетворяющим требованиям испытания на стерильность при отсутствии роста микроорганизмов. При обнаружении хотя бы в одной пробе роста микроорганизмов испытание проводят повторно на таком же количестве проб, что и в первый раз. В случае отсутствия роста микроорганизмов при повторном посеве материал считают удовлетворяющим требованиям испытания на

стерильность. При наличии такой же микрофлоры, что и в первом посеве, материал считают непригодным к реализации. Если наблюдается рост микроорганизмов другого вида, испытание повторяют с тем же количеством материала. При отсутствии роста микроорганизмов после инкубации в течение 14 дней материал считают удовлетворяющим требованиям испытаний на стерильность. При наличии роста хотя бы в одной пробе, материал считают непригодным к

применению [4]. Полученные результаты представлены в таблице 1.

При наблюдении помутнений среды, характерном при микробной контаминации, проводился высев на твердые среды с последующим микропированием. Результаты полученных исследований представлены в таблице 2. На рис. 1 и 2 представлен пример микроскопии препарата ДАЦ (1,2)<sub>(2019)</sub>.

**Таблица 1. Обсемененность медицинских материалов для ранозаживления на основе модифицированной целлюлозы**

Сутки	0	1	4	6	7	8	11	13	14
среда (контроль)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ХТ р-р (0,5%)	-	-	+	+	+	+	+	+	+
	-	-	+	+	+	+	+	+	+
Целлюлоза	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ДАЦ (0,28) <sub>(2015)</sub> **	-	-	+	+	+	+	+	+	+
	-	-	-	+	+	+	+	+	+
ДАЦ (0,28) <sub>(2019)</sub>	-	-	+	+	+	+	+	+	+
	-	-	+	+	+	+	+	+	+
ДАЦ (1,2) <sub>(2019)</sub>	-	-	+	+	+	+	+	+	+
	-	-	+	+	+	+	+	+	+
ДАЦ (0,28)-ХТ <sub>(2019)</sub>	-	-	+	+	+	+	+	+	+
	-	-	-	+	+	+	+	+	+
ДАЦ (1,2)-ХТ <sub>(2019)</sub>	-	-	+	+	+	+	+	+	+
	-	-	+	+	+	+	+	+	+

\*\*В скобках указано значение количества альдегидных групп на носителе, определенное по модификации метода Miller (значения указаны в мМ/г).

**Таблица 2. Результаты микроскопии препаратов медицинских материалов для ранозаживления на основе модифицированной целлюлозы**

Препарат Увеличение	ХТ р-р (0,5%)	Целлюлоза	ДАЦ (0,28) <sub>(2015)</sub>	ДАЦ (0,28) <sub>(2019)</sub>	ДАЦ (1,2) (2019)	ДАЦ (0,28)-ХТ (2019)	ДАЦ (1,2)- ХТ (2019)
10X40	Гриб (гифы, мицелия нет, спор нет)	-	-	Гриб (гифы, мицелий, спор нет)	Гриб (гифы, мицелия нет, спор нет)	-	-
10X100	-	-	Бактерии (палочки, Г+; кокки, Г+)	Бактерии (палочки, Г+; кокки, Г+)	Бактерии (палочки, Г-)	Бактерии (палочки, Г+; кокки, Г+)	Бактерии (палочки, Г+)

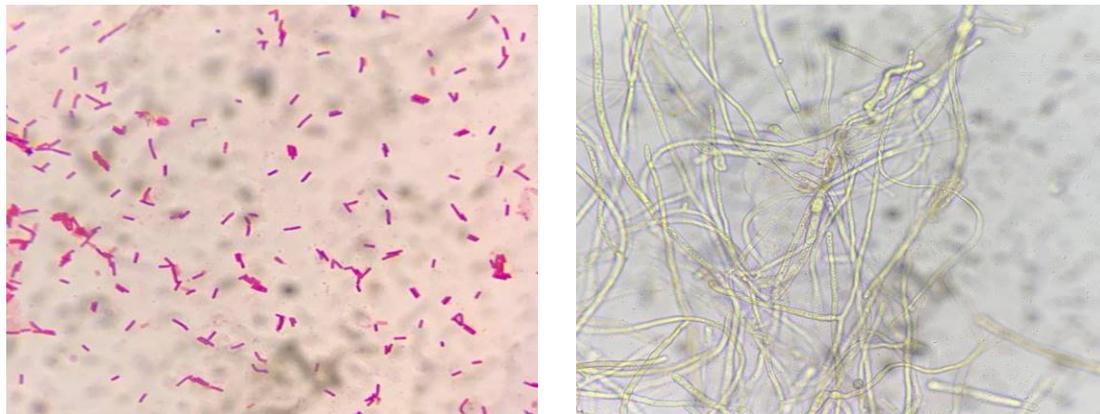


Рис. 1, 2. Микроморфология контаминационной флоры, обнаруженной при анализе ДАЦ (1,2) (2019), увеличение 400х и 1000х соответственно

На основе полученных данных можно сделать вывод, что изученные нами препараты не обладают достаточным биоцидным действием, чтобы ингибировать сорбированные из окружающей среды в процессе изготовления покоящиеся формы микроорганизмов.

Иммобилизация хитозана способствует снижению роста микроорганизмов, однако, не подавляет его полностью. Из этого можно сделать вывод, что опустить стадию стерилизации облучением при производстве лекарственных композиций на основе изученных целлюлозных материалов не представляется возможным.

#### Список литературы

- [1] Белов А.А. Разработка промышленных технологий получения новых медицинских материалов на основе модифицированных волокнообразующих полимеров, содержащих биологически активные белковые вещества //Дисс. на соис. уч. степ. докт. техн. наук М., РХТУ. 2009 385с.
- [2] Гидролитическая деструкция перевязочных материалов на основе диальдегидцеллюлозы / А. А. Ванюшенкова, Э. Э. Досадина, С. Н. Иванова и др. // Бутлеровские сообщения. — 2019. — Т. 59, № 8. — С. 47–59.
- [3] Новые текстильные перевязочные материалы на основе биodeградируемых полимеров, содержащих протеиназы, для лечения ран и ожогов. / Белов А.А., Ванюшенкова А.А., Досадина Э.Э., Ханафина А.А. // Раны и раневые инфекции. Журнал им. проф. Б.М. Костюченка. 2018 Т.5(1). С.16-26.
- [4] ГОСТ 51148-98 «Изделия медицинские. Требования к образцам и документации, представляемым на токсикологические, санитарно-химические испытания, испытания на стерильность и пирогенность»

УДК 661.183.2

Найнг З.Е., Нистратов А.В., Клушин В.Н.

## ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КАРБОНИЗАТОВ ИСКОПАЕМОГО УГЛЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ТИДЖИТ»

Найнг Зо Е, к.т.н., докторант кафедры промышленной экологии; e-mail: zawye7@mail.ru

Нистратов Алексей Викторович, к.т.н., доцент кафедры промышленной экологии;

Клушин Виталий Николаевич, д.т.н., профессор кафедры промышленной экологии,

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва, Миусская площадь д. 9, 125047, Россия

*Для национальной экономики Республики Союз Мьянма актуальна оценка возможности использования ископаемых углей отечественных месторождений для производства углеродных адсорбентов. Работа посвящена ориентированной на такое производство оценке рациональных условий осуществления пиролиза угля месторождения «Тиджит».*

**Ключевые слова:** ископаемый уголь, пиролиз, структурно-адсорбционные свойства карбонизатов

## STUDYING OF CHARACTERISTICS OF FOSSIL COAL CARBONATES FROM «TIDGIT»

Zaw Ye Naing, Nistratov Aleksey Viktorovich, Klushin Vitaly Nikolaevich

D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Miusskaya ploschad 9, 125047, Moscow, Russia

*For the national economy of The Republic of The Union of Myanmar it is essential to evaluate the possibilities of use of fossil coal from local fields, in particular for the production of carbon absorbents. The work is focused at evaluation of suitable conditions of pyrolysis of coal from "Tidgit" field for the named processing.*

**Keywords:** fossil coal, pyrolysis, properties of carbonates

Угольные месторождения Мьянмы многочисленны, но в их большинстве изучены весьма слабо [1]. Согласно [2] в стране разведано 16 месторождений с общими запасами угля 258 млн. т, из них доказанные запасы составляют 4,62 млн. т. В настоящее время теплоэнергетика [3] является основным направлением использования добываемых в стране ископаемых углей.

Наряду с этим согласно имеющимся оценкам [4-9] вероятно возможность успешного использования ряда ископаемых углей Мьянмы для производства активных углей. Потенциал такого производства по целому ряду причин практически не задействован в настоящее время, хотя общий рост экономики страны и увеличивающиеся темпы промышленного производства предполагают прогрессирующую тенденцию использования данного вида продукции.

С целью разработки основ технологии активных углей на базе названного сырья в ранее выполненных исследованиях [10] установлены целесообразные области температурного воздействия на его представителей в виде образцов ископаемых углей месторождений «Калейва» и «Тиджит» при их пиролизе в примерных границах от 600 до 900 °С.

Изучение рациональных условий переработки путем пиролиза представительного образца ископаемого угля месторождений «Тиджит» (в экспериментах использована фракция его зерен размером 3-5 мм) выполнено с привлечением установок лабораторных масштабов в области варьирования скоростей нагревания сырья 5-20 °С/мин, предельных температур – 650-850 °С и времени выдержки при этих температурах – 30-90 мин. Оцененные свойства карбонизированных продуктов (в виде величин выхода, суммарной пористости по воде ( $V_{\Sigma}$ ), объемов сорбирующих пор ( $V_s$ ) по парам воды, тетраоксида углерода и бензола, а также значений поглощения йода ( $J_2$ ) и красителя метиленового голубого (МГ) из их растворов) в зависимости от предельной температуры пиролиза при прочих идентичных условиях этого процесса характеризуют сведения, представленные в таблице 1.

Данные таблицы 1 убедительно свидетельствуют о целесообразности дальнейшего изучения пиролиза с названной целью при предельной температуре 800 °С, в связи с чем исследование влияния на результативность процесса интенсивности нагревания при одинаковой длительности изотермической выдержки (таблица 2) выполнено именно при этой конечной температуре.

**Таблица 1. Технические характеристики карбонизатов (скорость нагревания 15 °С/мин, длительность изотермической выдержки 60 мин)**

Температура, °С	$V_{SH_2O}$ , см <sup>3</sup> /г	$V_{SCCl_4}$ , см <sup>3</sup> /г	$V_{SC_6H_6}$ , см <sup>3</sup> /г	МГ, мг/г	$J_2$ , мг/г	$V_{\Sigma}$ , см <sup>3</sup> /г	Выход (%)
650	0,11	0,05	0,03	249	298	0,16	48
700	0,10	0,07	0,05	251	310	0,17	43
750	0,10	0,09	0,05	253	310	0,21	40
800	0,12	0,08	0,07	260	311	0,23	39
850	0,11	0,05	0,03	257	309	0,24	36

Таблица 2. Технические характеристики карбонизатов (предельная температура 800 °С, длительность изотермической выдержки 60 мин)

Скорость нагревания, °С/мин	Vs H <sub>2</sub> O, см <sup>3</sup> /г	Vs CCl <sub>4</sub> , см <sup>3</sup> /г	Vs C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> , см <sup>3</sup> /г	МГ, мг/г	J <sub>2</sub> , мг/г	V <sub>Σ</sub> , см <sup>3</sup> /г	Выход, %
5	0,11	0,07	0,06	235	308	0,24	47
10	0,10	0,06	0,07	258	310	0,22	43
15	0,12	0,08	0,07	260	311	0,23	39
20	0,10	0,08	0,05	261	294	0,18	38

Анализ данных таблицы 2 свидетельствует, что в названных условиях термической обработки наиболее целесообразен пиролиз сырья с интенсивностью нагревания 15 °С/мин. Исходя из этого, оценка воздействия на показатели целевых

продуктов изучаемого процесса длительности изотермической выдержки осуществлена в условиях нагревания сырья с этой интенсивностью до 800 °С. Полученные результаты этой экспериментальной серии сведены в таблицу 3.

Таблица 3. Технические характеристики карбонизатов (скорость нагревания 15 °С/мин, предельная температура 800 °С)

Длительность выдержки, мин	Vs H <sub>2</sub> O, см <sup>3</sup> /г	Vs CCl <sub>4</sub> , см <sup>3</sup> /г	Vs C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> , см <sup>3</sup> /г	МГ, мг/г	J <sub>2</sub> , мг/г	V <sub>Σ</sub> , см <sup>3</sup> /г	Выход, %
30	0,11	0,09	0,06	258	307	0,14	43
60	0,12	0,08	0,07	260	311	0,23	39
90	0,10	0,06	0,08	260	309	0,19	38

Сопоставление данных таблицы 3 свидетельствует о наибольшей целесообразности выдерживания целевого продукта пиролиза исследуемого ископаемого угля при температуре 800 °С в течение приблизительно 60 мин.

Таким образом, по совокупности сведений, охарактеризованных в таблицах 1-3, рациональными условиями пиролиза данного сырьевого материала, обеспечивающими целесообразное сочетание выхода и структурно-адсорбционных показателей получаемого карбонизата, следует полагать величины интенсивности нагревания, конечной температуры и изотермической выдержки, близкие 15 °С/мин, 800 °С и 60 мин, соответственно.

В таблице 4 сопоставлены рассматриваемые характеристики карбонизатов, полученных в близких указанным выше условиях пиролиза отдельных компонентов шихты для коксования АО «Москокс» [11], на базе которой получены активные угли достаточно высокого качества, продемонстрировавшие удовлетворяющую требованиям производственной практики способность к глубокой очистке многокомпонентных стоков с территории коксохимического производства указанного предприятия от загрязняющих их органических примесей [12, 13], и охарактеризованного выше целевого продукта пиролиза образца ископаемого угля месторождения «Тиджит».

Таблица 4. Показатели выхода и структурно-адсорбционных свойств сопоставляемых карбонизатов

Концентрат ископаемого угля	Vs H <sub>2</sub> O, см <sup>3</sup> /г	Vs CCl <sub>4</sub> , см <sup>3</sup> /г	Vs C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> , см <sup>3</sup> /г	МГ, мг/г	J <sub>2</sub> , мг/г	V <sub>Σ</sub> , см <sup>3</sup> /г	Выход, %
Тиджит	0,12	0,08	0,07	260	311	0,23	39
КО+КС ОФ «Томусинская»	0,12	0,13	0,04	20	29	0,51	83
ГЖО ЦОФ «Кузбасская»	0,04	0,02	0,07	10	38	0,45	80
ОС+КС ЦОФ «Сибирь»	0,05	0,02	0,04	3	45	0,47	81

Сравнение данных таблицы 4 позволяет констатировать повышенные по сравнению с карбонизатами угольных концентратов российских обогатительных фабрик доли сорбирующих пор и величины поглощения  $J_2$  и МГ карбонизата угля месторождения «Тиджит», что свидетельствует о потенциальной возможности получения его последующей переработки достаточно качественных активных углей.

#### Список литературы

1. Sivanappan Kumar. Low Carbon Energy Systems and Indicator Framework for Cambodia, Lao PDR and Myanmar/ Investing on Low-Carbon Energy Systems/ Eds: Anbumozhi, V., Kalirajan, K., Kimura, F., Yao, X.. 2016, p. 470.
2. Сырьевой комплекс зарубежных стран. Мьянма [Электронный ресурс], режим доступа: <http://www.mineral.ru/facts/world/116/145/index.html> (дата обращения: 15.02.2019).
3. How Coal can be used as a Fossil Fuel. [Электронный ресурс], режим доступа: <https://www.conserve-energy-future.com/coalasfossilfuel.php> (дата обращения: 07.01.2020).
4. Kelemen S.R., Freund H., Mims C.A. The interaction of KOH with clean and oxidized carbon surface // Journal of Catalysis, 1986, V. 97, № 1, pp. 228–239.
5. Verheyen V., Rathbone R., Jagtoyen M., Derbyshire F. Activated extrudates by oxidation and KOH activation of bituminous coal // Carbon, 1995, V. 33, № 6, pp. 763–772.
6. Lillo-Rodenas M.A., Cazorla-Amoros D., Linares-Solano A. Understanding chemical reactions between carbons and NaOH and KOH. An insight into the chemical activation mechanism // Carbon, 2003, V. 41, № 2, pp. 267–275.
7. Raymundo-Pinero E., Azais P., Cacciaguerra T., Cazorla-Amoros D., Linares-Solano A., Beguin F. KOH and NaOH activation mechanisms of multiwalled carbon nanotubes with different structural organization // Carbon, 2005, V. 43, № 4, pp. 786–795.
8. Ворсина Е.В., Москаленко Т.В., Михеев В.А. Получение углеродных сорбентов химической модификацией бурого угля Харанорского месторождения // Современные проблемы науки и образования. 2015, №. 2-3, с. 55-55.
9. Найнг З.Е., Клушин В. Н. Оценка перспективности использования ископаемых углей месторождений Калева и Тейчик в качестве сырья для производства активных углей // Международная конференция Химическая технология функциональных наноматериалов, М: РХТУ им. Д.И. Менделеева Москва, 2017, с. 102-104.
10. Найнг Зо Е., Клушин В.Н. Особенности термического и термоокислительного распада ископаемого угля месторождения Тейчик // Успехи в химии и химической технологии, М: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2017, том 31, № 9, с. 34-36.
11. Зубахин Н.П., Клушин В.Н., Дмитриева Д.А., Зенькова Е.В. Оценка концентратов ископаемых углей и полученных на их основе углеродных материалов как средств очистки от нефтепродуктов сточных вод с территории коксохимического производства // Кокс и химия, 2011, № 4, с. 39-42.
12. Клушин В.Н., Зубахин Н.П., Старостин К.Г. и др. Перспективные решения в области переработки каменноугольного сырья и производственных отходов на активные угли // Материалы X Международной научно-практич. конференции «Рециклинг, переработка отходов и чистые технологии», М.: ФГУП «Институт «Гинцветмет», 30.10.2014, с. 26-30.
13. Zubakhin N.P., Klushin V.N., Starostin K.G., Nistratov A.V. Purification of Coke-Plant Waste by Carbon Adsorbents // Coke and Chemistry, 2015, vol. 58, No, 2, pp. 75-78.

УДК 58.071

Ивлиева В.Н., Шагаев А.А., Горюнова О.Б., Марквичёв Н.С.

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ВЫСУШИВАНИЯ КЛЕТОК БАКТЕРИЙ РОДА *RHIZOBIUM* БЕЗ ПОТЕРИ ИМИ СВОИХ СВОЙСТВ

**Ивлиева Василиса Николаевна**, магистрант 1-го курса факультета биотехнологии и промышленной экологии, email: asilisav.d@yandex.ru;

**Шагаев Антон Александрович**, аспирант кафедры биотехнологии РХТУ им. Д.И. Менделеева;

**Горюнова Ольга Борисовна**, к.т.н., генеральный директор ООО «БИОМ-ПРО»;

**Марквичёв Николай Семёнович**, к.т.н., доцент кафедры биотехнологии РХТУ им. Д.И. Менделеева;

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия

125480, Москва, ул. Героев Панфиловцев, д. 20.

*Изучена возможность получения сухой формы клеток бактерий рода *Rhizobium* без потери свойств и с сохранением высокой концентрации клеток. Так же исследована способность к образованию клубеньков на корнях растений сои после обработки высушенными клетками *Bradyrhizobium japonicum*.*

**Ключевые слова:** ризобии; лиофильная сушка; вирулентность; симбиотическая азотфиксация

## STUDY OF THE POSSIBILITY OF DRYING CELLS BACTERIA OF THE GENUS *RHIZOBIUM* WITHOUT LOSS OF THEIR PROPERTIES

Ivlieva V.N.\*, Shagaev A.A., Goryunova O.B., Markvichev N.S.

D.I. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia. \*email: asilisav.d@yandex.ru

*The possibility of obtaining a dry form of cells of bacteria of the genus *Rhizobium* without loss of properties and while maintaining a high concentration of cells was studied. The ability to form nodules on the roots of soybean plants after treatment with dried *Bradyrhizobium japonicum* cells was also investigated.*

**Key words:** rhizobia; freeze drying; virulence; symbiotic nitrogen fixation

Фиксация азота из атмосферы является одним из важнейших процессов в естественных биоценозах поскольку обеспечивает растения доступной формой азота. Проблема биологической азотфиксации относится к числу основных проблем сельскохозяйственной и биологической науки [1,2]. Процесс связывания и усваивания азота микроорганизмами имеет большое значение и находит широко практическое применение в производстве биоудобрений, в то время как производство химических азотных удобрений требует больших затрат энергии, ресурсов, и они могут быть вредны с экологической точки зрения. Интерес к азотфиксирующим бактериям также объясняется возможностью повышения урожайности растений. Наиболее эффективными азотфиксаторами являются роды бактерий *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Mezorhizobium*, *Sinorhizobium*, *Azorhizobium* (обобщенно эти бактерии принято называть ризобиями), вступающие в симбиоз с высшими растениями. Особенность симбиоза заключается в том, что на корнях бобовых растений образуются клубеньки, посредством которых происходит фиксация атмосферного азота в наиболее усваиваемую для растения форму [2].

Всестороннее изучение проблемы азотфиксации привело к необходимости разработки новых эффективных биологических препаратов. Создание и применение биопрепаратов на основе азотфиксирующих микроорганизмов — наиболее эффективный способ повышения продуктивности растений и качества урожая, который позволяет сохранять естественное плодородие почв и экологическое равновесие окружающей среды. Их использование дает возможность регулировать

численность и активность полезной микрофлоры в ризосфере возделываемых культур, а также обеспечивать растения азотом, фиксированным из атмосферы [3,4].

В настоящее время биопрепараты на основе ризобий представлены в жидкой форме и это ограничивает их широкое применение, поскольку имеет ряд недостатков. Во-первых, предпосевная обработка семян производится заранее, а это в свою очередь увеличивает вероятность развития посторонней микрофлоры. Во-вторых, жидкая форма препаратов имеет маленький срок хранения. Помимо этого, существует проблема транспортировки таких биопрепаратов, в то время как сухая форма является более выгодной и удобной.

Данная работа посвящена изучению возможности получения сухой формы клеток бактерий рода *Rhizobium* и сохранения способности образовывать клубеньки на корнях растений (вирулентность).

В качестве объектов исследования были использованы штаммы *Rhizobium lupini* B1069, *Rhizobium leguminosarum* B1111, *Mesorhizobium ciceri* B1112, *Bradyrhizobium japonicum* B1118, предоставленные коллекцией кафедры биотехнологии РХТУ им. Д. И. Менделеева.

Первым этапом работы было изучение возможности получения сухой формы клеток. Для этого микроорганизмы выращивали глубинным способом в аэробных условиях при температуре 28 °C и 160 об/мин на маннитно-дрожжевой среде следующего состава (г/л): маннит – 10; дрожжевой экстракт – 1; MgSO<sub>4</sub>\*7H<sub>2</sub>O – 0,2; NaCl – 0,15; K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> – 0,5. Продолжительность культивирования для штаммов штаммы *Rhizobium lupini* B1069,

*Rhizobium leguminosarum* B1111, *Mesorhizobium ciceri* B1112 – 48 часов, для *Bradyrhizobium japonicum* B1118 – 120 часов. По окончании культивирования биомассу отделяли от культуральной жидкости путем центрифугирования при 7200 об/мин в течение 15 минут. После центрифугирования фугат имел прозрачный цвет и при помощи метода Коха было установлено отсутствие в нем жизнеспособных клеток. Полученный осадок (паста) был высушен на

лиофильной сушке без использования протектора, так как предполагалось, что продуцируемый бактериями полисахариды могут выступать в качестве защитного агента. На данном этапе определялись следующие характеристики: кол-во жизнеспособных клеток (КОЕ) после завершения культивирования, в пасте и в сухой форме; массы осадков до и после лиофильной сушки. Полученные результаты представлены в табл. 1.

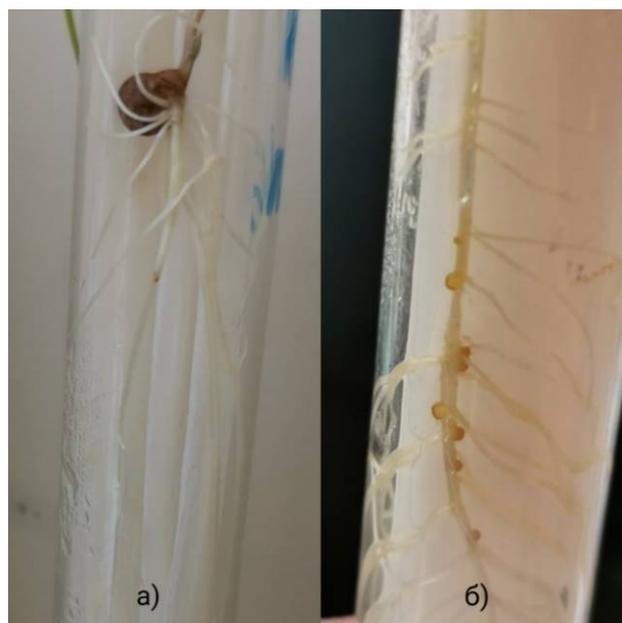
**Таблица 1. Основные характеристики культивирования и получения сухой формы клеток**

Характеристика		<i>Rhizobium lupini</i> B1069	<i>Rhizobium leguminosarum</i> B1111	<i>Mesorhizobium ciceri</i> B1112	<i>Bradyrhizobium japonicum</i> B1118
Кол-во жизнеспособных клеток, КОЕ/мл	На конец культивирования	$1,5 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^9$	$1,1 \cdot 10^9$	$2,8 \cdot 10^8$
	После центрифугирования в осадке (пасте)	$4 \cdot 10^{10}$	$7 \cdot 10^{10}$	$5,8 \cdot 10^{10}$	$1,3 \cdot 10^9$
	В сухой форме	$1,4 \cdot 10^{11}$	$2,45 \cdot 10^{11}$	$1,9 \cdot 10^{11}$	$1 \cdot 10^{10}$

Результаты описанного выше эксперимента показали, что для получения сухой формы клеток возможно использовать лиофильную сушку, так как сохраняется концентрация жизнеспособных клеток. Следующим этапом исследования было определение способности образовывать клубеньки на корнях растения, которые предварительно были обработаны сухой формой клеток.

Для проведения эксперимента были выбраны семена сои, поскольку с каждым годом спрос на эту культуру увеличивается, следовательно, возрастает посевная площадь и усиливается интерес к эффективным и экологически безопасным препаратам.

Эффективность сухой формы клеток штамма *Bradyrhizobium japonicum* B1118 по способности образовывать клубеньки определялась в соответствии с методикой, описанной в патенте № 4205849/30-13 [5]. В качестве контроля использовались семена, обработанные стерильной водой. По истечению 30 суток производился подсчет клубеньков на корнях растений: на корнях контрольных растений клубеньков не было обнаружено, на обработанных растениях кол-во клубеньков в среднем составило 6 клубеньков/семя (рис. 1).



**Рисунок 1. Корневая система сои на 30 сутки выращивания: контроль (а) и обработка сухими клетками (б)**

На основе результатов, описанных выше, можно сделать следующие выводы. Для получения сухой формы клеток клубеньковых бактерий рода *Rhizobium* возможно использование лиофильной сушки, при этом микроорганизмы не теряют свою жизнеспособность. Помимо этого сохраняется важное свойство микроорганизмов – фиксация атмосферного азота из атмосферы, что подтверждает

образование клубеньков на корневой системе обработанных растений. Таким образом, получение сухой формы препарата с заданными свойствами является возможной и необходимо проводить дальнейшие исследования по оптимизации условий сушки и изучению свойств микробного полисахарида, который теоретически выступает в роли протектора.

#### Список литературы

1. Сытников Д.М. Биотехнология микроорганизмов-азотфиксаторов и перспективы применения препаратов на их основе // биотехнология. - 2012. Т.5. - №4. - С. 34–45.
2. Уранян Г.Р. Биопрепараты на основе *Bradyrhizobium japonicum* и проблемы их применения // Метеорологический вестник. - 2018. - Т.10. - №5. - С.41-49.
3. Тильба В.А. Вирулентность клубеньковых бактерий сои и масштабы усвоения симбиотического азота в почвах Приамурья // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. – 2016. – Вып. 4 (168). – С. 61–66.
4. Сидорова О.И., Герасимюк Е.Ю., Дмитриева Е.Н., Марквичёв Н.С. Исследование стабильности и активности образования клубеньков бактериями *Bradyrhizobium japonicum* в свободном и иммобилизованном состоянии при хранении на семенах сои // Успехи в химии и химической технологии. – 2012. – Т. 26. - №. 10. – С. 109-111.
5. Способ первичного отбора эффективных штаммов клубеньковых бактерий сои / В.А.Тильба, С.А.Бегун, Е.В.Садовская; Всероссийский научно-исследовательский институт сои. – № 4205849/30-13; заявл. 04.03.87; опубл. 30.05.89, Бюл. № 20.

УДК 632.981.11 + 632.937.1.01/07

Минич М.В., Бехбудзада Н.Б., Журавлёва А.С., Шагаев А.А., Горюнова О.Б., Марквичёв Н.С.

## ФОРМИРОВАНИЕ БИОЦЕНОЗА В ПРИКОРНЕВОЙ ЗОНЕ ОГУРЦА ПУТЁМ ВНЕСЕНИЯ СУХИХ МИКРООРГАНИЗМОВ В МИНЕРАЛЬНУЮ ВАТУ

**Минич Мария Владимировна**, магистр 1 курса факультета биотехнологии и промышленной экологии, e-mail: [mminich8@gmail.com](mailto:mminich8@gmail.com);

**Журавлёва Александра Сергеевна**, студентка 4 курса факультета биотехнологии и промышленной экологии

**Бехбудзаде Нурлан Башир оглы**, аспирант 3 курса факультета биотехнологии и промышленной экологии

**Шагаев Антон Александрович**, аспирант 2 курса факультета биотехнологии и промышленной экологии

**Горюнова Ольга Борисовна**, к.т.н., генеральный директор ООО «БИОМ-ПРО»

**Марквичёв Николай Семёнович**, к.т.н., доцент кафедры биотехнологии;

Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева,

125480, Москва, ул. Героев Панфиловцев, д. 20

*В данной работе представлены результаты по внесению сухих форм *Lactobacillus plantarum*, *Trichoderma viride*, *Pseudomonas fluorescens* в минеральную вату с целью создания биоценоза в прикорневой зоне огурца. Результаты показали, что *T. viride*, *Ps. fluorescens* распространяются по всему субстрату и оставались в нём в течение всего эксперимента. Распространение *L. plantarum* не произошло, а концентрация снизилась. Посторонняя фитопатогенная микрофлора была обнаружена в крайне низких концентрациях.*

**Ключевые слова:** Экссудаты, микроорганизмы, биоценоз, минеральный субстрат,

## THE FORMATION OF BIOCECENOSIS IN THE ROOT AREA OF CUCUMBERS BY INTRODUCING DRY MICROORGANISMS IN MINERAL WOOL

Minich M.V., Bekhbudzada N.B., Zhuravlyova A.S., Shagaev A.A., Goryunova O.B., Markvichev N.S.

D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

*This paper deals with the introduction of dry forms of *Lactobacillus plantarum*, *Trichoderma viride*, *Pseudomonas fluorescens* to mineral wool in order to create a biocenosis in the root zone of cucumber. The results showed that *T. viride*, *Ps. fluorescens* spread throughout the substrate and remained in it through the whole experiment, while *L. plantarum* did not spread and its concentration fell. Extraneous phytopathogenic microflora was found in extremely low concentrations.*

**Keywords:** Exudates, microorganisms, biocenosis, mineral wool

Известно, что растения в ризосферу выделяют особые вещества — экссудаты. Для каждого вида растений и условий его выращивания их состав варьируются, но в большинстве своём они представляют различные продукты метаболизма растений: органические кислоты (лимонная, янтарная, фумаровая), дисахариды, глюкоза, фруктоза, малые количества аминокислот[1]. Количество выделяемых экссудатов также может различаться, однако может достигать 20% от производимых растением органических веществ.

Некоторые исследования показывают, что экссудаты не всегда полезны для самих растений. Исследования показали, что рост огурца ингибировался его собственными экстрактами корней и корневыми экссудатами, но улучшался при удалении этих веществ из ризосферы[2], а обработка листьев огурца экссудатами привело к уменьшению их проводимости[3]. Зачем же тогда растениям тратить свои ресурсы и выделять в свою ризосферу подобные вещества?

Ответ заключается в микроорганизмах, растущих в почве. Экссудаты являются прекрасным субстратом для потребления, причём, их состав и концентрация напрямую влияет на структуру микробных сообществ прикорневой зоны.[4] В свою очередь микроорганизмы при потреблении экссудатов способны оказывать помощь растению:

широко известен симбиоз клубеньковых бактерий и бобовых культур, где растений снабжают бактерий питательными веществами, а микроорганизмы фиксируют молекулярный азот, обогащая им почву. Также микроорганизмы могут образовывать соединения, стимулирующие рост растений, такие как индолилуксусная кислота. Стоит отметить, что потреблять экссудаты способны не только «положительные» или «нейтральные» для растения микроорганизмы, но также и фитопатогены. Экссудация позволяет растениям оберегать себя от действия фитопатогенной микрофлоры, которая не будет тратить свои ресурсы на атаку растения, пока есть более доступный источник питания. Однако в моменты стрессовых ситуаций растение перестаёт выделять экссудаты, из-за чего фитопатогены начинают атаковать растение.

В настоящее время в теплицах ушли от использования обычной земли, а применяют маты на основе минеральной ваты. Особенно хороша минеральная вата за счёт своих свойств: прекрасное впитывание воды, неорганическая основа, возможность многократного использования и стерильность. Однако при росте растения в настоящих условиях полную стерильность поддерживать невозможно, ризосферная микрофлора при выделении экссудатов непременно будет развиваться, потому, если не контролировать

процесс, то это может привести к появлению и фитопатогенов.

Решить эту проблему возможно, заранее создав биоценоз в субстрате на стадии производства мата путём внесения в него микроорганизмов, которые необходимы человеку. Ранее была разработана технология внесения микроорганизмов в минеральные маты.[5]

Целью нашей работы было изучить возможность влияния на создание биоценоза в прикорневой зоне огурца путём внесения сухих микроорганизмов в минеральную вату на стадии производства субстрата.

На основании проанализированной литературы[6], а также данных о применимых в сельском хозяйстве микроорганизмах, были выбраны следующие объекты исследования: *Lactobacillus plantarum*, *Trichoderma viride*, *Pseudomonas fluorescens*. Данные сухие микроорганизмы были внесены в мат фирмы Grodan на различную глубину: *P. fluorescens* вносились на 2 см сверху, *T. viride* в середину мата, *L. plantarum* — на 2 см снизу. Далее маты напитывались минеральным раствором и сверху помещали двухнедельную рассаду гибрида огурца сорта Атлет, выращенную в минеральный кубиках, по 3 на один мат. Эксперимент проводился на экспериментальном участке Владимирском тепличном комбинате. В течение 5 недель маты разрезали как показано на рисунке 1, с разных точек отбирали пробы и проводили микробиологический анализ. Полученные образцы оценивали качественно, выкладывая на агаризованную питательную среду в чашки Петри. Использовали питательные среды Чапек с антибиотиком, Кинг, L-агар с нистатином.



Рисунок 1 Мат с огурцом в разрезе

В эксперименте изучали распределение внесённой микрофлоры во времени, а также фиксировали проявление посторонней микрофлоры, в том числе патогенной.

Результаты эксперимента приведены на рисунках 2. Крестиками на графиках обозначено, что была обнаружена посторонняя фитопатогенная микрофлора, в частности, *Fusarium sp.*

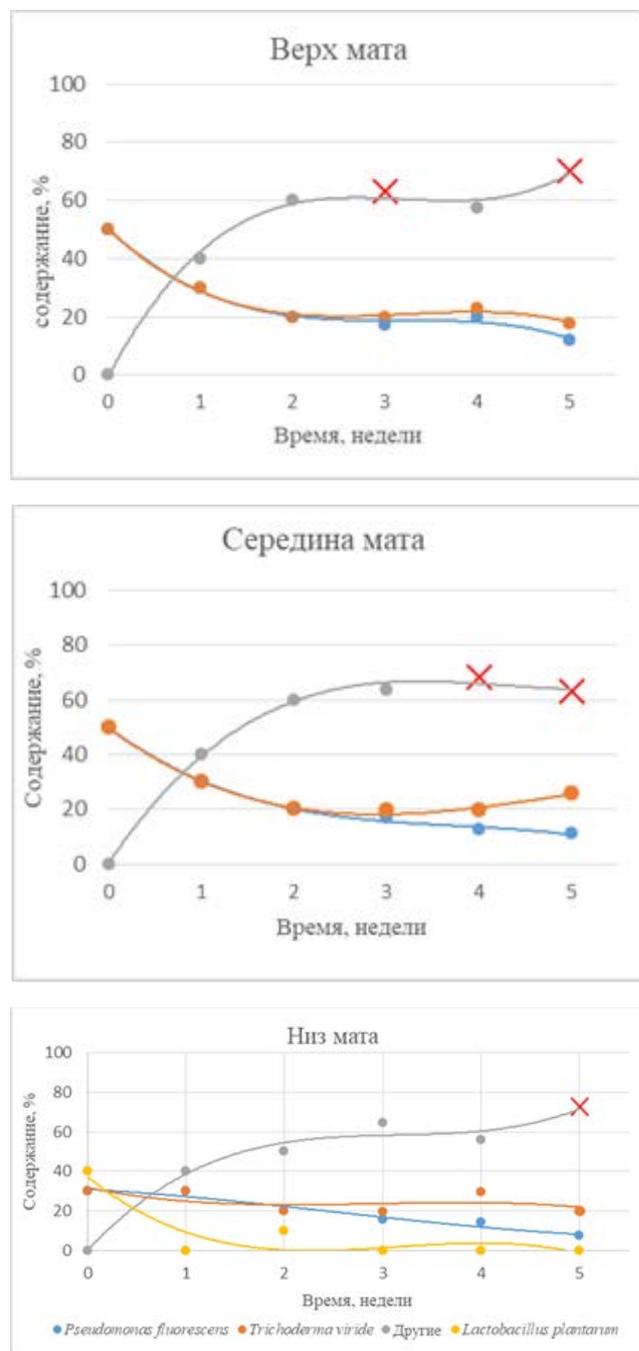


Рисунок 2 Графики зависимости процентного содержания микрофлоры прикорневой зоны огурца во времени в разных частях мата

Как видно на графиках, *Trichoderma viride* и *Pseudomonas* с первой недели начали распространяться на весь объём мата, причём, содержание *T. viride* не опускалось ниже 20% от общей микрофлоры ризосферы, процент *Ps.*

*fluorescens* к третьей неделе начал снижаться. Молочнокислые микроорганизмы были обнаружены только в нижней части мата и течении эксперимента имели низкий процент содержания. С третьей недели в различных частях были обнаружены фитопатогенные микроорганизмы *Fusarium sp.*, однако в единичных количествах, а на корневой системе растения они не были обнаружены.

Таким образом можно сделать вывод, что там удалось повлиять на образование биоценоза в ризосфере огурца путём внесения микроорганизмов в минеральную вату, а также поддержать этот биоценоз на протяжении всего эксперимента.

#### Список литературы

1. Кравченко Л.В. видовые особенности состава корневых выделений растений и его изменение в ризосфере под влиянием почвенной микрофлоры / Кравченко Л.В., Шапошников А.И., Макарова Н.М., Азарова Т.С., Львова К.А., Костюк И.И., Тихонович И.А. // Сельскохозяйственная биология – 2011. – № 3 – С.71–75.
2. Asao T. Decrease of yield of cucumber by non-renewal of the nutrient hydroponic solution and its

reversal by supplementation of activated charcoal / Asao T., Umeyama M., Ohta K., Hosoki T., Ito N., Ueda H. // Journal of the Japanese Society for Horticultural Science – 1998. – Т. 67 – № 1 – С.99–105.

3. Yu J.Q. Effects of root exudates and aqueous root extracts of cucumber (*Cucumis sativus*) and allelochemicals, on photosynthesis and antioxidant enzymes in cucumber / Yu J.Q., Ye S.F., Zhang M.F., Hu W.H. // Biochemical Systematics and Ecology – 2003. – Т. 31 – № 2 – С.129–139.

4. Broeckling C.D. Root exudates regulate soil fungal community composition and diversity / Broeckling C.D., Broz A.K., Bergelson J., Manter D.K., Vivanco J.M. // Applied and Environmental Microbiology – 2008. – Т. 74 – № 3 – С.738–744.

5. Патент RU 155135 U1 МПК7 H A01G 31/02. Мат для гидропоники. Горюнова О. Б., Марквичев Н. С.; заявитель и патентообладатель Горюнова О. Б., Марквичев Н. С. Опубликовано: 2015.09.20

6. Минич М.В. Исследование влияния обработки семян пшеницы суспензией *Lactobacillus plantarum* / Минич М.В., Бехбудзада Н.Б., Шагаев А.А., Марквичев Н.С. – 2019. – Т. 5.

УДК 669.793, 542.06

Зайцева А.Д., Мискичекова З. К., Кузин Е.Н., Кручинина Н.Е., Галактионов С.С., Краснощеков А.Н.

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТВЕРДЫХ ЭКСТРАГЕНТОВ НА ОСНОВЕ Д2ЭГФК/ТБФ В ПРОЦЕССАХ ИЗВЛЕЧЕНИЯ СКАНДИЯ ИЗ СЕРНОКИСЛОТНЫХ РАСТВОРОВ ВСКРЫТИЯ ДИОПСИДА

**Зайцева Александра Дмитриевна** – студент 1 курса магистратуры кафедры промышленной экологии, [zayceva.aleksandra@gmail.com](mailto:zayceva.aleksandra@gmail.com);

**Мискичекова Зоя Константиновна**, студентка 4 курса факультета биотехнологии и промышленной экологии [zk.miskichekova@gmail.com](mailto:zk.miskichekova@gmail.com)

**Кузин Евгений Николаевич** к.т.н., доцент кафедры промышленной экологии [e.n.kuzin@mail.ru](mailto:e.n.kuzin@mail.ru);

**Кручинина Наталия Евгеньевна** – д.т.н., зав. каф. Промышленной экологии [krutch@muctr.ru](mailto:krutch@muctr.ru)

**Галактионов Сергей Сергеевич** [smeta85@yandex.ru](mailto:smeta85@yandex.ru)

**Краснощеков Александр Николаевич** [Krasnoshekov81@mail.ru](mailto:Krasnoshekov81@mail.ru).

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия 125480, Москва, ул. Героев Панфиловцев, д. 20

*Извлечение скандия – сложный и многостадийный процесс. Известно множество технологических схем получения скандия из минерального сырья. Один из таких источников – экстракция Sc из растворов сернокислотного вскрытия диопсида. Обычно в качестве экстрагентов используют растворы Ди(2-этилгексил) фосфорной кислоты и трибутилфосфата, но ввиду низкого содержания скандия в растворах, применение жидкостной экстракции представляется экономически невыгодным. В рамках выполненной работы была проведена оценка возможности использования твердых экстрагентов на основе смеси Ди (2-этилгексил) фосфорной кислоты и трибутилфосфата в вышеописанном процессе. Предложена технология реэкстракции скандия с использованием раствора бифторида аммония с добавкой сульфата аммония.*

*Ключевые слова:* диопсид, скандий, экстракция, твердый экстрагент

## EVALUATION OF OPPORTUNITY OF USING SOLID EXTRACTORS BASED ON D2EGFK / TBF IN THE PROCESSES OF EXTRACTION OF SCANDIUM FROM SULFURIC ACID SOLUTIONS OF DIOPSIDE PROCESSING

Zaytseva A. D., Miskichekova Z.K., Kuzin E.N., Kruchinina N.E., Galaktionov S.S., Krasnoshekov A.N.

D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

*Scandium extraction is a difficult and multi-stage process. There are many technological schemes for producing scandium from mineral raw materials. One of such sources is solutions of sulfuric acid opening of diopside, which are used and can be used to produce magnesium and magnesium-containing fertilizers. Typically, solutions of Di (2-ethylhexyl) phosphoric acid and tributyl phosphate in kerosene are used as extractant, but due to the low content of scandium in solutions, the use of liquid extraction is not economically viable. In the framework of the work performed, the possibility of using solid extractants based on a mixture of Di (2-ethylhexyl) phosphoric acid and tributyl phosphate in the above process was evaluated. A technology for scandium reextraction using a solution of ammonium bifluoride with the addition of ammonium sulfate is proposed.*

**Keywords:** diopside, scandium, extraction, solid extractants

### Введение

Вместе с ростом промышленного производства увеличивается спрос на редкие и рассеянные металлы, обладающие специальными свойствами. В качестве примера можно выделить скандий – рассеянный элемент, добавка которого в количестве менее 1 % позволяет значительно повысить эксплуатационные характеристики алюминиевых сплавов.

Извлечение скандия представляет собой сложную задачу. Одной из причин, обуславливающих сложность процесса является низкое содержание металла в добываемой руде. Одним из вариантов снижения стоимости производства является комплексное использование

сырья с получением вторичных крупнотоннажных продуктов, имеющих рыночную стоимость.

Скандий содержится в более чем 200 минералах, но при этом лишь 5 из них можно признать перспективными с точки зрения комплексного использования. Одними из основных источников скандия являются урановые и титановые руды [1], а также бокситы, содержание скандия в которых может достигать 0,012 % по Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [2].

Скандий нашел широкое применение различных сферах нашей жизни. Так наибольшая потребность в скандии характерна для следующих отраслей промышленности [3]:

- Ракето- и самолетостроение - производство специальных алюминиевых сплавов.

- Металлургия - применяется при производстве тугоплавких сплавов.
- Микроэлектроника - при производстве элементов памяти для компьютерной техники.
- Медицина – в процессах лечения злокачественных опухолей

На сегодняшний день существует достаточно много вариантов получения скандия. В основе процесса лежит операция экстракционного и сорбционного извлечения металла из кислых растворов [4-6]. Затем в зависимости от процесса извлечения следует рекстракция или десорбцию скандия и сопутствующих элементов с последующим разделением и перечисткой [7].

В качестве наиболее распространенного способа извлечения скандия из растворов используют жидкостную экстракцию смесью Ди(2-этилгексил)фосфорной кислоты и трибутилфосфата (далее Д2ЭГФК/ТБФ) в керосине. Основным недостатком данной схемы является необходимость применения легко воспламеняющихся жидкостей и существенные потери экстрагента, что оказывает влияние на стоимость конечного продукта.

#### Экспериментальная часть

Основной целью данного исследования явилась оценка возможности применения твердых экстрагентов на основе смеси Д2ЭГФК/ТБФ (далее ТВЭКС) (производство АО «Аксион-Редкие и драгоценные металлы») для извлечения скандия из сернокислых растворов вскрытия диопсида.

Исходные рабочие растворы, в которых содержался скандий, получали путем обработки измельченного диопсида раствором серной кислоты при температуре 70-80 °С в течение 6 часов. Полученную пульпу фильтровали для того, чтобы отделить непрореагировавшую руду, кремнезем и гипс. Раствор, содержащий 12-20 мг/л скандия, поступал на экстракцию. Химический состав раствора представлен в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав полученных растворов

Металл	Sc, мг/л	Ti, г/л	Ca, г/л	Fe, г/л	Mg, г/л	Al, г/л
Содержание	12,1	0,6 5	0,4 2	17, 1	15,9	6,15

На первом этапе экспериментов была определена емкость ТВЭК по отношению к ионам скандия. Для растворов с концентрацией скандия 1000 мг/л полная обменная емкость ТВЭКС составила 17,9 г(Sc)/л ТВЭКС.

Для растворов (таблица 1) со сложным солевым фоном (общая минерализация более 30 г/л по сумме Al, Ti, Fe, Mg и др.) и содержанием скандия 12 мг/л полная обменная емкость составила 2,01 г(Sc)/л ТВЭКС.

Наиболее важным параметром процесса является динамическая емкость ТВЭКС по скандию. На рисунке 1 представлены данные по изменению

концентрации скандия в растворе в зависимости от объема пропущенного раствора.

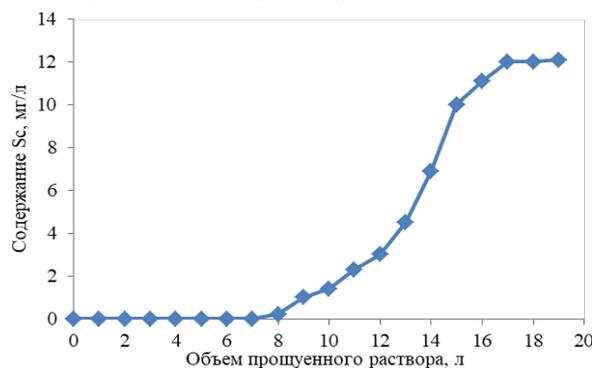


Рисунок 1. Экстракция скандия ТВЭКС из сернокислотного раствора вскрытия диопсида в динамических условиях

Из данных рисунка 1 видно, что использование твердых экстрагентов на основе смеси Д2ЭГФК/ТБФ позволяет эффективно извлекать соединения скандия из сернокислых растворов вскрытия диопсида. На основании полученных данных была рассчитана динамическая обменная емкость ТВЭКС, которая находилась в диапазоне 1,5-1,6 г(Sc)/л ТВЭКС.

Для последующей рекстракции скандия из ТВЭКС авторами была предложено использовать смесь на основе 8 %-ного раствора бифторида аммония [8] с добавкой сульфата аммония. На стадии предварительных экспериментов, проведенных на кафедре промышленной экологии РХТУ им. Д. И. Менделеева, данная смесь хорошо зарекомендовала себя в процессах рекстракции скандия из различных экстрагентов. Значение pH рекстрагирующего раствора составило 1,0 – 1,1, что не повлияло структуру и свойства ТВЭКС. Линейная скорость пропуска рекстрагирующего раствора составляла 2 м/ч. Результаты исследования эффективности рекстракции скандия с помощью раствора бифторида аммония с добавкой сульфата аммония представлены на рисунке 2.

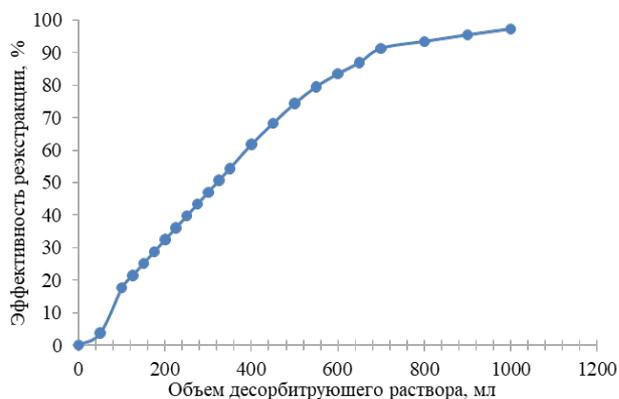


Рисунок 2. Рекстракция скандия раствором бифторида аммония с добавкой сульфата аммония

По полученным данным, представленным на рисунке 2 можно сделать вывод о том, что использование раствора бифторида аммония (с

добавкой сульфата аммония) позволяет реэкстрагировать соединения скандия из ТВЭКС с эффективностью до 90 %.

### Заключение

В результате проведенного эксперимента получены данные по статической и динамической обменной емкости (соответственно 2,01 г(Sc)/л и 1,6 г(Sc)/л) твердых экстрагентов на основе смеси Д2ЭГФК/ТБФ. Установлено, что в качестве реэкстрагирующего агента может быть использован 8 %-ный водный раствор бифторида аммония с добавкой сульфата аммония, при этом степень десорбции достигает 80 – 90 % при линейной скорости реэкстракции 2 м/ч.

### Список литературы

1. Коршунов Б.Г., Резник А.М., Семенов С.А. Скандий. М: Металлургия, 1987. 184 с.
2. Пягай И.Н., Кожевников В.Л., Пасечник Л.А., Скачков В.М. Переработка отвального шлама глиноземного производства с извлечением скандиевого концентрата// Записки Горного института. – 2016. – Т.218. – С. 225-232.
3. RareMetal Co. [Электронный ресурс] URL: <https://raremetal.ru/21-sc-skandij/> (дата обращения 21.04.2020).
4. Немцев А. С., Сибилев А. С., Смирнов А. В., Нечаев А. В., Шестаков С. В. Особенности извлечения скандия из гидролизных стоков титанового производства // Труды Кольского научного центра РАН. Химия и материаловедение, 2018 (9), №1. С. 332-336.
5. Stepanov S.I., P'eiKh., Boyarintsev A.V., Giganov V.G., Chekmarev A.M., Aung M.M. Use of Machining to Increase the Recovery of Scandium from refractory Silicate Raw Material // Theoretical Foundations of Chemical Engineering, 2018. -Vol . 52. No. 5.P. 973–977.
6. Smirnov, A. L., Titova, S. M., Rychkov, V. N., Bunkov, G. M., Semenishchev, V. S., Kirillov, E. V., ... Svirsky, I. A. Study of scandium and thorium sorption from uranium leach liquors. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 2017. - № 312(2). – P. 277–283.
7. Химия и технология редких и рассеянных элементов, ч.2. Под ред. К.А. Большакова. Учеб. Пособие для вузов. Изд. 2-е, перераб.и доп. - М.: Высшая школа, 1976. - 360 с.
8. Семенов С,А., Резник А,М., Юрченко Л,Д, Экстракционное извлечение скандия при комплексной переработке различных видов сырья // Цветные металлы. – 1983. – №12. – С. 43-47.

УДК 620.952

Шуклина А.П., Шуклина В.П., Ермоленко Б.В.

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ТОПЛИВНОГО, ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО И ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛОВ ТВЕРДОГО БИОТОПЛИВА ИЗ РАСТИТЕЛЬНЫХ И ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ

**Шуклина Анастасия Петровна**, студент 2 курса магистратуры факультета биотехнологии и промышленной экологии, email: [a.schuklina2015@yandex.ru](mailto:a.schuklina2015@yandex.ru)**Шуклина Валерия Петровна**, студент 2 курса магистратуры факультета биотехнологии и промышленной экологии**Ермоленко Борис Викторович**, к.т.н., доцент кафедры промышленной экологии Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия.

*Создание и эксплуатация биоэнергетических установок в качестве генерирующих объектов в системе малой распределённой энергетики позволит рационально использовать региональные особенности ресурсной базы. Такой подход обеспечит снижение экологической напряжённости за счет утилизации отходов и снижения вредных выбросов от энергетических установок, работающих на газе, угле или мазуте, а также формированию надёжной системы энергетической безопасности. Оценено количество образующихся на территории Российской Федерации растительных и древесных отходов с дифференциацией по субъектам Российской Федерации, федеральным округам и России в целом. Разработана методика оценки топливного, электроэнергетического и теплоэнергетического потенциалов твёрдого биотоплива из растительных и древесных отходов.*

**Ключевые слова:** растительные отходы, древесные отходы, твердое биотопливо, щепы, древесные пеллеты, биоуголь, агропеллеты, топливный потенциал, электроэнергетический потенциал, теплоэнергетический потенциал

## DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR EVALUATING THE FUEL, ELECTRIC POWER AND HEAT POWER POTENTIALS OF SOLID BIOFUEL FROM PLANT AND WOOD WASTE

Shuklina A.P., Shuklina V.P., Ermolenko B.V

D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

*The creation and operation of bioenergy installations as generating facilities in the system of small distributed energy will allow rational use of regional features of the resource base. This approach will reduce environmental stress by recycling waste and reducing harmful emissions from power plants running on gas, coal or fuel oil, as well as the formation of a reliable energy security system. The amount of plant and wood waste generated on the territory of the Russian Federation with differentiation by the subjects of the Russian Federation, Federal districts and Russia as a whole is estimated. A method for evaluating the fuel, electric power, and heat-power potentials of solid biofuels from plant and wood waste has been developed.*

**Keywords:** plant waste, wood waste, solid biofuels, wood chips, wood pellets, biocoal, agropellets, fuel potential, electric power potential, heat power potential

**Методика оценки топливного потенциала твердого биотоплива из растительных и древесных отходов.** Исходной информацией для оценки топливного потенциала твердого биотоплива из растительных и древесных отходов является информация о валовом сборе сельскохозяйственных культур и объеме заготовленной древесины, и доле образующихся отходов.

Количество отходов сельскохозяйственных культур  $M_{c/x}$  (тыс. т) рассчитывается по формуле (1):

$$M_{c/x} = BC_{c/x} \cdot \varphi_{c/x}, \quad (1)$$

где  $BC_{c/x}$  – валовый сбор сельскохозяйственных культур, тыс. т;

$\varphi_{c/x}$  – доля отходов сельскохозяйственных культур.

Доля отходов сельскохозяйственных культур принимается для гречихи, овса, просо, пшеницы

озимой и яровой, риса, ржи озимой и яровой, тритикале, ячменя озимого и ярового – 0,85; кукурузы на зерно – 1,2; подсолнечника – 1,9; рапса – 1,8; сахарной свеклы – 0,12; сои – 1,3 [1].

Количество отходов лесозаготовки  $M_{л}$  (тыс. т) рассчитывается по формуле (2):

$$M_{л} = V_{зд} \cdot \varphi_{л}, \quad (2)$$

где  $V_{зд}$  – объем заготовленной древесины, тыс. т;

$\varphi_{л}$  – доля отходов лесозаготовки.

На лесозаготовках в отходы уходит более 32 % вырубленного леса [2].

На рисунке 1 можно ознакомиться с распределением технического теплоэнергетического потенциала отходов лесопромышленного комплекса по территориям субъектов Российской Федерации.

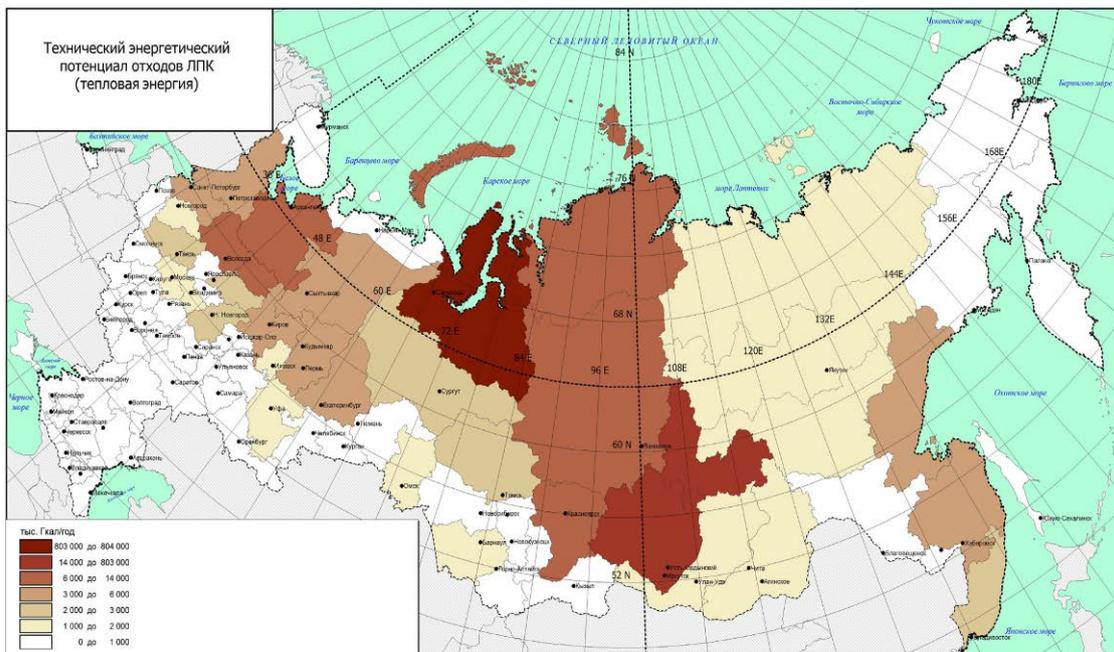


Рис. 1. Технический теплоэнергетический потенциал отходов лесопромышленного комплекса.

Количество отходов деревообработки  $M_d$  (тыс. т) рассчитываются по формуле (3):

$$M_d = V_{зд} \cdot \phi_d, \quad (3)$$

где  $\phi_d$  – доля отходов деревообработки.

Множество деревообрабатывающих предприятий после выполнения работ оставляют около 25 – 40 % отходного древесного материала [2].

Общее количество отходов лесозаготовки и деревообработки  $M_{общ\ д}$  (тыс. т) рассчитывается по формуле (4):

$$M_{общ\ д} = M_{л} + M_d. \quad (4)$$

Ограничения на объем текста статьи не позволяют представить информацию о количестве

отходов лесозаготовки и деревообработки и отходов сельскохозяйственных культур по субъектам Российской Федерации.

На диаграмме (рис. 1) приведены результаты расчетов количества отходов лесозаготовки и деревообработки и отходов сельскохозяйственных культур по федеральным округам Российской Федерации за 2019 год. Официальные статистические показатели: объем заготовленной древесины и валовый сбор сельскохозяйственных культур были взяты на официальном сайте Единой межведомственной информационно-статистической системе (ЕМИСС).

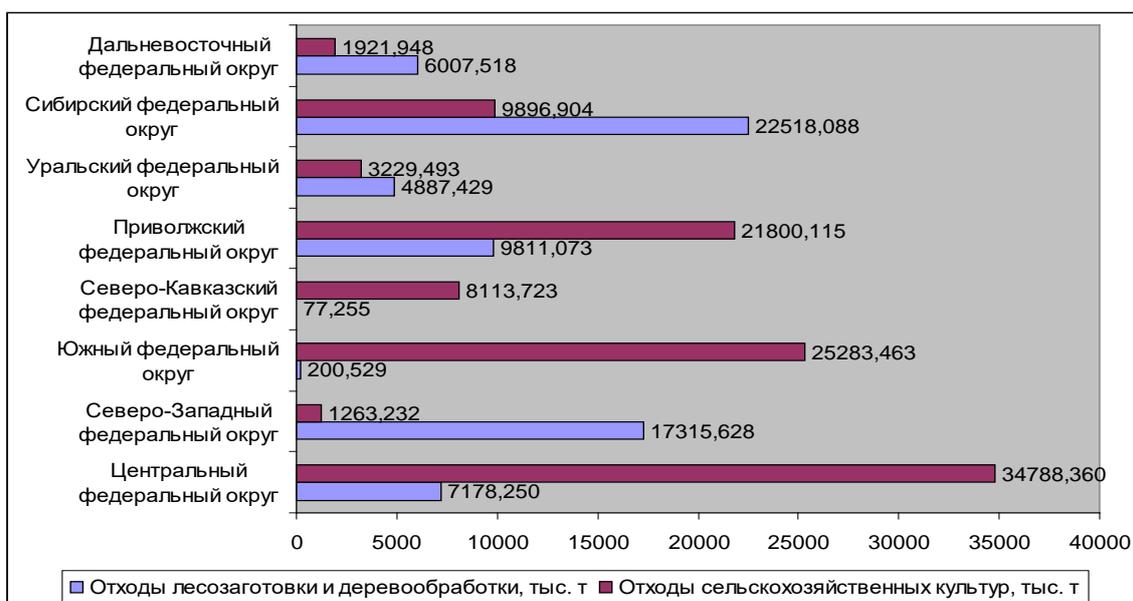


Рис. 2. Количество отходов лесозаготовки и деревообработки и отходов сельскохозяйственных культур по федеральным округам Российской Федерации за 2019 год.

Для оценки топливного потенциала твердого биотоплива из отходов сельскохозяйственных культур и древесных отходов необходимо знать энергосодержание топлива  $\mathcal{E}$  в т.у.т./т, которое рассчитывается по формуле (5):

$$\mathcal{E} = \frac{Q_{н.н}^r}{Q_{н.у}^r}, \quad (5)$$

где  $Q_{н.н}^r$  – теплотворная способность натурального топлива, МДж/кг (ккал/кг);

$Q_{н.у}^r$  – теплотворная способность тонны условного топлива (т.у.т.), МДж/кг (ккал/кг).

Т.у.т. – единица измерения энергии, равная  $2,93 \cdot 10^{10}$  Дж, которая определяется как количество энергии, выделяющееся при сгорании 1 тонны топлива с теплотворной способностью 7000 ккал/кг,

что соответствует типичной теплотворной способности каменного угля.

Топливный потенциал агропеллет из отходов сельскохозяйственных культур  $P_{в а}$  рассчитывается по формуле (6); щепы, древесных пеллет, биоугля из древесных отходов  $P_{в д}$  по формуле (7) в тыс. т.у.т.:

$$P_{в а} = M_{с/х} \cdot \mathcal{E} \quad (6) \quad \text{и} \quad P_{в д} = M_{общ д} \cdot \mathcal{E}. \quad (7)$$

В таблице 1 приведены теплотворная способность натурального топлива  $Q_{н.н}^r$  и энергосодержание топлива  $\mathcal{E}$ .

Аналогично на диаграмме (рис. 3) представлены результаты расчетов топливного потенциала твердого биотоплива из древесных и растительных отходов только по федеральным округам Российской Федерации

Таблица 1. Теплотворная способность натурального топлива  $Q_{н.н}^r$  и энергосодержание топлива  $\mathcal{E}$

Натуральное топливо	Теплотворная способность натурального топлива $Q_{н.н}^r$ , МДж/кг	Энергосодержание топлива $\mathcal{E}$ , т.у.т./т
Агропеллеты из отходов с/х культур (гречихи)	15	0,5119
Агропеллеты из отходов с/х культур (кукурузы на зерно)	14,65	0,5
Агропеллеты из отходов с/х культур (овса)	14,65	0,5
Агропеллеты из отходов с/х (подсолнечника)	18,09	0,6174
Агропеллеты из отходов с/х культур (просо)	15	0,5119
Агропеллеты из отходов с/х культур (пшеницы озимой и яровой)	15	0,5119
Агропеллеты из отходов с/х (рапса)	15,24	0,5201
Агропеллеты из отходов с/х культур (риса)	14,65	0,5
Агропеллеты из отходов с/х культур (ржи озимой и яровой)	14,65	0,5
Агропеллеты из отходов с/х культур (сахарной свеклы)	8,37	0,2857
Агропеллеты из отходов с/х культур (сои)	15,3	0,5222
Агропеллеты из отходов с/х культур (тритикале)	14,1	0,4812
Агропеллеты из отходов с/х культур (ячменя озимого и ярового)	14,65	0,5
Щепа	12,35	0,4215
Древесные пеллеты	15,89	0,5423
Биоуголь	20,8	0,7099

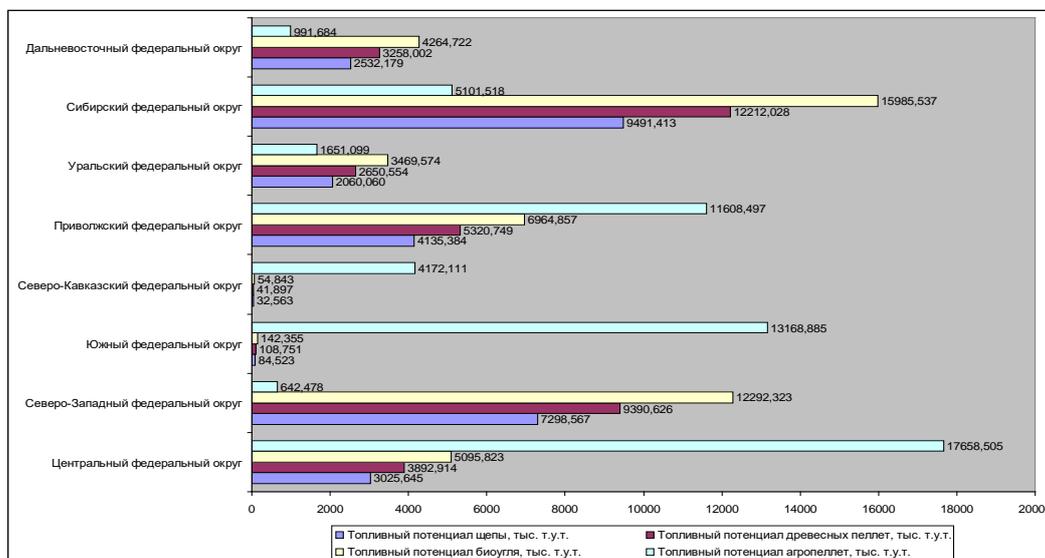


Рис. 3. Топливный потенциал твердых видов биотоплива из древесных и растительных отходов по федеральным округам Российской Федерации.

**Методика оценки технического энергетического потенциала твердого биотоплива из растительных и древесных отходов.** Технический *электроэнергетический* потенциал агропеллет  $P_{таэ/э}$  в млн. кВт·ч рассчитывается по формуле (8):

$$P_{таэ/э} = 8141 \cdot P_{ва} \cdot \eta_{тэс} \cdot (1 - \varphi_{э/э}) / 1000, (8)$$

где 8141 – перевод 1 т.у.т. в кВт·ч;

$\eta_{тэс}$  – коэффициент преобразования в электроэнергию мини-ТЭС с прямым сжиганием биомассы, принимается равным 0,25;

$\varphi_{э/э}$  – доля электроэнергии на собственные нужды, принимается равной 0,05.

Технический *теплоэнергетический* потенциал агропеллет  $P_{та т/э}$  в млн. Гкал рассчитывается по формуле (9):

$$P_{та т/э} = 7 \cdot P_{ва} \cdot \eta_{тэс} \cdot (1 - \varphi_{т/э}) / 1000, (9)$$

где 7 – перевод 1 т.у.т. в Гкал;

$\eta_{тэс}$  – коэффициент преобразования в тепловую энергию мини-ТЭС с прямым сжиганием биомассы, принимается равным 0,75;

$\varphi_{т/э}$  – доля тепловой энергии на собственные нужды, принимается равной 0,05.

Технический *электроэнергетический* потенциал щепы, древесных пеллет, биоугля  $P_{дэ/э}$  в млн. кВт·ч рассчитывается по формуле (10):

$$P_{дэ/э} = 8141 \cdot P_{вд} \cdot \eta_{тэц} \cdot (1 - \varphi_{э/э}) / 1000, (10)$$

где  $\eta_{э/э}$  тэц – коэффициент преобразования в электроэнергию мини-ТЭС, принимается равным 0,35.



Рис. 4. Древесные отходы и биотопливо из них.

Технический *теплоэнергетический* потенциал щепы, древесных пеллет, биоугля  $P_{д т/э}$  в млн. Гкал рассчитывается по формуле (11):

$$P_{д т/э} = 7 \cdot P_{вд} \cdot \eta_{тэц} \cdot (1 - \varphi_{т/э}) / 1000, (11)$$

где  $\eta_{т/э}$  тэц – коэффициент преобразования в тепловую энергию котельной или мини-ТЭС, принимается равным 0,8.

Также были рассчитаны электро- и теплоэнергетический потенциалы твердого биотоплива из древесных и растительных отходов по субъектам Российской Федерации, федеральным округам и России в целом.

С целью максимально эффективного использования природных энергетических ресурсов и потенциала энергетического сектора было оценено количество образующихся на территории Российской Федерации растительных и древесных отходов с дифференциацией по субъектам Российской Федерации, федеральным округам и России в целом. Оценка энергетического потенциала твердого биотоплива может быть использована при разработке программ развития региональной энергетики на базе ВИЭ и эколого-экономического обоснования принимаемых инвестиционных решений.

Оценка количества образующихся на территории Российской Федерации растительных и древесных отходов с дифференциацией по субъектам Российской Федерации, федеральным округам и России в целом, а также расчеты топливного, электроэнергетического и теплоэнергетического потенциалов были реализованы на базе электронных таблиц Excel.

### Список литературы

1. Касьянов, А.С. Энергетический потенциал соломы как биотоплива / А.С. Касьянов // Инженерный вестник Дона. – 2014. – Т. 28, № 1. – С. 27-30.
2. Переработка отходов лесопиления, классификация отходов и видов переработки [Электронный ресурс]. – URL: <https://greenomak.ru/ekologicheskie-problemy/pererabotka-othodov-lesopileniya-klassifikatsiya-othodov-i-vidov-pererabotki.html> (Дата обращения: 21.02.2020).
3. Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС) [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fedstat.ru/>.

УДК 620.91

Шуклина В.П., Шуклина А.П., Ермоленко Б.В.

## ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ, ТОПЛИВНОГО, ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО, ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО, РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕГО, ЭКОЛОГИЧЕСКОГО И ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛОВ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

**Шуклина Валерия Петровна**, студент 2 курса магистратуры факультета биотехнологии и промышленной экологии, email: [shuclina.valerya@yandex.ru](mailto:shuclina.valerya@yandex.ru)

**Шуклина Анастасия Петровна**, студент 2 курса магистратуры факультета биотехнологии и промышленной экологии

**Ермоленко Борис Викторович**, к.т.н., доцент кафедры промышленной экологии Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия.

*Разработана структура информационно-вычислительной системы (ИВС) и алгоритмы оценки топливного, электроэнергетического, теплоэнергетического, ресурсосберегающего, экологического и эколого-экономического потенциалов солнечной энергии. Проведены расчёты потенциалов замещения газообразного, жидкого и твёрдого углеводородного топлива энергией солнца на всей территории Российской Федерации с шагом 1 градус по широте и долготе. Информационно-вычислительная система реализована на базе электронных таблиц Excel.*

**Ключевые слова:** информационно-вычислительная система, солнечная энергетика, потенциал, топливный, электроэнергетический, теплоэнергетический, ресурсосберегающий, экологический, эколого-экономический

## INFORMATION AND COMPUTING SYSTEM FOR EVALUATION THE FUEL, ELECTRIC POWER, HEAT POWER, RESOURCE-SAVING, ECOLOGICAL AND ECOLOGICAL- ECONOMIC POTENTIALS OF SOLAR ENERGY

Shuklina V.P., Shuklina A.P., Ermolenko B.V

D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

*The structure of the information and computing system (ICS) and algorithms for evaluating the fuel, electricity, heat, resource-saving, environmental and eco-economic potentials of solar energy were developed. Calculations of the potentials for replacing gaseous, liquid and solid hydrocarbon fuels with solar energy throughout the Russian Federation with a step of 1 degree in latitude and longitude were performed. The information and computing system is implemented on the basis of Excel spreadsheets.*

**Keywords:** information and computing system, solar power, potential, fuel, electric power, heat power, resource saving, ecological, economic, ecological and economic

В соответствии с энергетической стратегией Российской Федерации, необходимо максимально эффективно использовать природные энергоресурсы и потенциал энергосектора в целях устойчивого развития экономики, улучшения уровня жизни населения страны и содействия укреплению её внешних экономических связей.

Одним из основных стратегических ориентиров энергополитики является безопасность энергетики для окружающей среды. Экологическая безопасность может быть достигнута в результате постепенного снижения нагрузки ТЭК на окружающую среду и климат путём сокращения выбросов (сбросов) загрязняющих веществ в природную среду и эмиссии парниковых газов. Для реализации экологической безопасности функционирования энергосектора требуется внедрение и увеличение использования экологически чистых энергетически эффективных и ресурсосберегающих технологий на основе ВИЭ.

Среди ВИЭ лидирующее положение занимает солнечная энергетика. Солнце – неиссякаемый, экологически чистый и дешёвый энергоисточник. По оценкам специалистов,

количество энергии солнца, поступающей на земную поверхность в течение порядка семи дней, превосходит энергию общемировых запасов газа, нефти, угля и урана. По данным Института Энергетической стратегии, теоретический потенциал энергии солнца в стране оценивается в 2300 миллиард т.у.т., а натуральная оценка ресурсосбережения в 12,5 миллион т.у.т. Количество энергии солнца, достигающей земной поверхности Российской Федерации в течение трёх дней, превосходит энергию всей годовой выработки электрической энергии в России.

При разработке региональных программ развития возобновляемой энергетики на основе энергии солнца, в первую очередь, необходима информация о величине электроэнергетического потенциала энергии солнца в конкретной точке рассматриваемой территориально-административной единицы. Данная информация позволит провести оценку топливного, теплоэнергетического, ресурсосберегающего и экологического потенциалов солнечной энергии, то есть провести эколого-экономическое обоснование эффективности применения солнечной энергетики на территории

Российской Федерации с целью привлечения средств инвестора. В связи с необходимостью в формировании информационной базы была разработана информационно-вычислительная система (ИВС) для расчёта перечисленных выше потенциалов.

Первым и самым важным этапом при определении электроэнергетического потенциала является оценка солнечных энергетических ресурсов. Поскольку, лишь точная оценка доступного ресурса даёт принять правильное техническое или экономическое решение. Одним из простых и легкодоступных способов получения данных о размере валового ресурса солнечной энергии являются данные о распределении ресурсов

солнечной энергии базы данных ведомства NASA. Данная база создавалась на основе спутниковых измерений радиационного баланса поверхности Земли. По их результатам с применением различного рода моделей распределения солнечного излучения в атмосфере и с учётом характера отражения излучения от поверхности Земли, уровня облачности, загрязнения атмосферы взвешенными частицами и прочих факторов определены значения месячных сумм солнечной радиации, падающей на горизонтальную поверхность для сетки  $1^\circ \times 1^\circ$ , покрывающей весь земной шар, в т.ч. и территорию России [1, 2]. Карта соответствующих среднегодовых значений солнечной радиации представлена на рисунке 1.

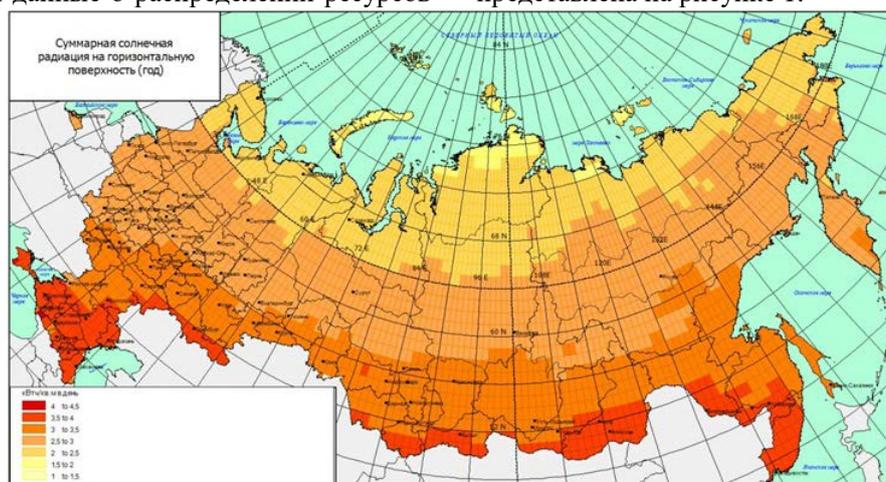


Рис. 1. Солнечная радиация на горизонтальную поверхность, кВт·ч/(м<sup>2</sup>·день).

Применение математических моделей дало возможность оценить уровень солнечной радиации не только на горизонтальную, но и на вертикальную поверхность, а также на плоскости с углами наклона равными широте данной местности, на 15 градусов меньшими и большими широты, на оптимально ориентированную плоскость и плоскость, следящую за солнцем (кВт·ч/(м<sup>2</sup>·день).

**Оценка валового природного энергетического ресурса солнечной энергии на территории Российской Федерации.** Для того, чтобы определить энергетический ресурс солнечной энергии, необходимо оценить среднее количество солнечной радиации  $\tilde{W}_{солн.рад.}$  в кВт·ч, падающей на 1 квадратный метр территории в течение года. Владея этой информацией, легко перейти к оценке валового природного электроэнергетического ресурса солнечной энергии, измеряемого в млн. кВт·ч/год. В нашем случае необходимо провести оценку валового природного энергетического ресурса солнечной энергии в конкретной точке рассматриваемой территориально-административной единицы, поэтому валовый природный электроэнергетический ресурс принимается равным годовой сумме солнечного излучения:

$$W_{солн.эл.рес.}^{вал.эл.рес.} = \tilde{W}_{солн.рад.}$$

Учитывая, что коэффициент перевода 1 кВт·час энергии в Гкал равняется  $k^{эл.-тепл.} = 0,0008598$

Гкал/кВт·час, можно легко перейти от валового электроэнергетического ресурса к валовому природному теплоэнергетическому ресурсу по формуле (1):

$$W_{солн.ж}^{вал.тепл.рес.} = k^{эл.-тепл.} \cdot W_{солн.ж}^{вал.эл.рес.} \quad (1)$$

Переход от электроэнергетического ресурса к топливному электроэнергетическому осуществляется с использованием коэффициента перерасчета электроэнергии в тонны условного топлива  $k^{эл.-тум.} = 0,3445$  т.у.т./тыс.кВт·час по угольному эквиваленту, необходимые для производства электрической энергии на тепловых электрических станциях, (млн. т.у.т./год) по формуле (2):

$$M_{солн.ж}^{вал.топл.эл.рес.} = 10^{-3} \cdot k^{эл.-тум.} \cdot W_{солн.ж}^{вал.эл.рес.} \quad (2)$$

Размеры топливного природного теплоэнергетического ресурса оцениваются с использованием коэффициент перерасчета тепловой энергии в тонны условного топлива  $k^{тепл.-тум.} = 0,1486$  т.у.т./Гкал по формуле (3):

$$M_{солн.ж}^{вал.топл.тепл.рес.} = k^{топл.-тум.} \cdot W_{солн.ж}^{вал.тепл.рес.} \quad (3)$$

**Оценка валового технического энергетического потенциала солнечной энергии на территории Российской Федерации.** При разработке программ развития возобновляемой энергетики важно иметь информацию о величине

валового технического потенциала солнечной энергии на территории Российской Федерации. *Валовый технический потенциал* солнечной энергии – это часть валового электроэнергетического или теплоэнергетического ресурса солнечной энергии, определяемая исходя из существующих технических возможностей преобразования энергии солнца в электрическую или тепловую энергию с учетом размеров пригодной для этих целей территории. Технические возможности преобразователя энергии характеризуются их коэффициентами полезного действия.

При оценке валового технического потенциала *солнечной электроэнергетики (электроэнергетического потенциала)* используются показатели существующих в настоящее время (уровень 2019 года) фотоэлектрических элементов на кремниевой основе, обеспечивающих КПД<sub>ф-эл</sub> преобразования энергии первичного источника около 20 % (монокристаллические); около 15 % (поликристаллические) и около 9 % (аморфные) и бескремниевые – около 30 %.

Оценка валового технического потенциала *солнечной теплоэнергетики* базируется на среднемировых значениях КПД<sub>тепл</sub> преобразователей энергии солнца в тепловую энергию, т.е. на средних значениях КПД солнечных коллекторов. С учетом технического уровня современных солнечных коллекторов (уровень 2019 года) среднее значение коэффициента полезного действия преобразователей солнечной энергии в тепловую энергию КПД<sub>тепл</sub> составляет 80 %. В этом случае *валовый технический электроэнергетический потенциал* солнечного излучения может быть оценен по формуле (4):

$$W_{\text{солн.}j}^{\text{вал.тех.эл.пот.}} = \text{КПД}_{\text{ф-эл}} \cdot W_{\text{солн.}j}^{\text{вал.эл.рес.}} \quad (4)$$

*валовый теплоэнергетический потенциал* по формуле (5):

$$W_{\text{солн.}j}^{\text{вал.тех.тепл.пот.}} = \text{КПД}_{\text{тепл}} \cdot W_{\text{солн.}j}^{\text{вал.тепл.рес.}} \quad (5)$$

Валовый топливный технический энергетический потенциал оценивается отдельно для получения электрической и тепловой энергии аналогично соответствующему валовому природному ресурсу:

*валовый технический топливный электроэнергетический потенциал* определяется по формуле (6):

$$M_{\text{солн.}j}^{\text{вал.тех.топл.эл.пот.}} = 10^{-3} \cdot k_{\text{эл. – тут}} \cdot W_{\text{солн.}j}^{\text{вал.тех.эл.пот.}} \quad (6)$$

*валовый технический топливный теплоэнергетический потенциал* определяется по формуле (7):

$$M_{\text{солн.}j}^{\text{вал.тех.топл.тепл.пот.}} = 10^{-3} \cdot k_{\text{эл. – тут}} \cdot W_{\text{солн.}j}^{\text{вал.тех.тепл.пот.}} \quad (7)$$

Для обоснования эффективности инвестирования средств в развитие солнечной энергетики необходимо оценить и *потенциал*

*ресурсосбережения*. Он характеризует в натуральном выражении (т/год, 1000 м<sup>3</sup>/год) количество природного газа, топочного мазута, каменного или бурого угля, которое пришлось бы использовать на тепловых электрических станциях при получении энергии в количестве, соответствующем энергетическому потенциалу энергии солнца в месте размещения солнечной энергоустановки. Помимо натуральной оценки ресурсосбережения проводится и стоимостная оценка (руб./год), которая показывает количество сэкономленного топлива в результате использования энергии солнца.

На основе информации о количестве потребляемого углеводородного топлива в количестве соответствующем энергетическому потенциалу энергии солнца, проводится оценка *экологического потенциала*. Он характеризует величину предотвращаемых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (т/год) в результате использования энергии солнца для получения тепловой и электрической энергии вместо ископаемых видов топлива. Кроме этого проводится оценка предотвращенных выбросов в атмосферу в тоннах условного загрязняющего вещества – в тоннах СО-эквивалента и тоннах СО<sub>2</sub>-эквивалента.

Заключительным этапом при разработке информационно-вычислительной системы является оценка *эколого-экономического потенциала*, выраженного в стоимостной форме (руб./год), соответствующего величине предотвращенного эколого-экономического ущерба от загрязнения атмосферы в результате использования энергии солнца вместо природного газа, топочного мазута, каменного или бурого угля [1].

Разработанная информационно-вычислительная система для расчёта топливного, электроэнергетического, теплоэнергетического, ресурсосберегающего, экологического и эколого-экономического потенциалов замещения газообразного, жидкого и твёрдого углеводородного топлива энергией солнца на всей территории Российской Федерации с шагом 1 градус по широте и долготе реализована на базе электронных таблиц Excel. Информационно-вычислительная система может быть использована при разработке программ развития региональной энергетики на базе ВИЭ и эколого-экономического обоснования принимаемых инвестиционных решений.

### Список литературы

1. Ermolenko Boris V., Ermolenko Georgy V., Fetisova Yulia A., Proskuryakova Liliana N. Wind and solar PV technical potentials: Measurement methodology and assessments for Russia. Energy, Pergamon Press Ltd. (United Kingdom), том 137, № 10, С. 1001-10122.

2. NASA [Электронный ресурс]. – URL: <https://power.larc.nasa.gov/>.

УДК 544.478.1

Бровко Р.В., Григорьев М.Е.

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПРОЦЕСС ГИДРИРОВАНИЯ КСИЛОЗЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ Ru-СОДЕРЖАЩЕГО КАТАЛИЗАТОРА НА ОСНОВЕ СВЕРХСШИТОГО ПОЛИСТИРОЛА

**Бровко Роман Викторович**, магистр 2 года обучения на кафедре БХС

**Григорьев Максим Евгеньевич**, к.х.н., доцент кафедры БХС, e-mail: GE.Max2015@yandex.ru

Тверской государственной технической университет, Тверь, Россия

*В статье представлены данные о каталитической активности Ru-содержащего катализатора на основе сверхсшитого полистирола (3% Ru/СПС MN 100) в процессе гидрирования ксилозы до ксилита осуществленном в каталитическом реакторе проточного типа. Приведены данные по влиянию температуры на конверсию субстрата (ксилозы) и селективность процесса каталитического гидрирования. Установлено, что с повышением температуры проведения процесса происходит уменьшение селективности. Использованный в работе катализатор был охарактеризован с помощью метода низкотемпературной адсорбции азота.*

**Ключевые слова:** катализатор, рутений, сверхсшитый полистирол, ксилит, конверсия ксилозы, гидрирование, температурный фактор

## INFLUENCE OF THE TEMPERATURE ON XYLOSE HYDROGENATION USING Ru-CONTAINING CATALYST ON THE BASIS OF HYPER-CROSSLINKED POLYSTYRENE

Brovko Roman Viktorovich, master of student at the Department of Biotechnology, Chemistry and Standardization

Maxim Grigoriev, Ph. D., associate Professor of the BCS Department, e-mail: GE.Max2015@yandex.ru

Tver state technical University, Tver, Russia

*The data on catalytic activity of Ru-containing catalyst based on hyper-crosslinked polystyrene (3% Ru/HPS MN 100) in the process of xylose hydrogenation to xylitol, which was carried out in a flow-type catalytic reactor, are presented. The data on the influence of temperature on the substrate (xylose) conversion and selectivity of catalytic hydrogenation process are presented. It was found that the increase in the process temperature results to the decrease of selectivity. The catalyst used in this work was characterized by the method of low-temperature nitrogen physisorption.*

**Keywords:** catalyst, ruthenium, hyper-crosslinked polystyrene, xylitol, xylose conversion, hydrogenation, temperature factor

К промышленно значимым химическим процессам можно отнести каталитическое гидрирование, с помощью которого получают крупнотоннажные продукты. Одним из таких продуктов являются полиолы, получаемые на сегодняшний день каталитическим гидрированием различных углеводов [1 – 5]. Они широко используются в пищевой и химической отраслях промышленности. Полиолы, например ксилит, входят в состав пищевых продуктов, косметических изделий, из них синтезируют различные химические соединения (низкомолекулярные гликоли, нитросорбит, синтетические смолы и др.). В связи с этим, актуальным является изучение различных факторов, например температурного фактора, на процесс каталитического гидрирования, влияние их на конверсию субстрата и селективность, на свойства катализатора.

В данной работе был использован Ru-содержащий катализатор на основе сверхсшитого полистирола – полимера, содержащего аминокруппы (3% Ru/СПС MN 100). Аминокруппы сшитого полистирола способствуют большей гидрофильности полимера, что существенно при нанесении Ru-содержащего прекурсора и формирования каталитически активных металлосодержащих частиц. Применение рутения в качестве активного металла обусловлено его большей активностью и

стойкостью в реакционных средах с различным значением pH по сравнению с никелем.

Синтезированный 3% Ru/СПС MN 100 был использован для каталитического гидрирования ксилозы до целевого продукта – ксилита. Процесс проводился в трубчатом реакторе (реактор проточного типа) заполненном шарикообразными гранулами твердого катализатора в непрерывном режиме обогрева реактора осуществлялся теплоносителем подаваемым в рубашку реактора. Применение непрерывного режима проведения процесса каталитического гидрирования не только приближает сам процесс к его промышленному осуществлению, но и дает возможность исследовать различные характеристики катализатора, например подверженность к спеканию (физической дезактивации катализатора), возможность продолжительной работы катализатора без потери активности (стабильность катализатора), химическая «стойкость» каталитически активных металлосодержащих частиц к действию реакционной среды – отсутствие процесса личинга (химическая дезактивация катализатора). Немаловажную роль во всех этих процессах играет температурный режим проведения процесса гидрирования – температурный фактор.

В работе было исследовано влияние температурного фактора на конверсию субстрата –

ксилозы и селективность процесса, а также на адсорбционные характеристики катализатора 3% Ru/СПС MN 100. Эксперименты проводились при следующих условиях: начальная концентрация ксилозы 0,1 моль/л, давление на входе реактор около 20 бар, на выходе 10 бар, скорость потока водного раствора субстрата 1 мл/мин, расход водорода 10 млн/мин (млн – нормальные миллилитры), температура варьировали от 103 до 120 °С. Полученные результаты представлены в таблице 1.

**Таблица 1. Влияние температуры на конверсию субстрата и селективность процесса каталитического гидрирования ксилозы**

Температура, °С	Конверсия ксилозы, %	Селективность процесса, %
103	82	96
110	97	95
120	99	91

Как видно из таблицы 1, с повышением температуры происходит увеличение конверсии ксилозы, что характерно для большинства реакций гидрирования. Однако, повышение температура негативно сказывается на селективности процесса, что может быть связано с увеличением скорости побочных реакций [6].

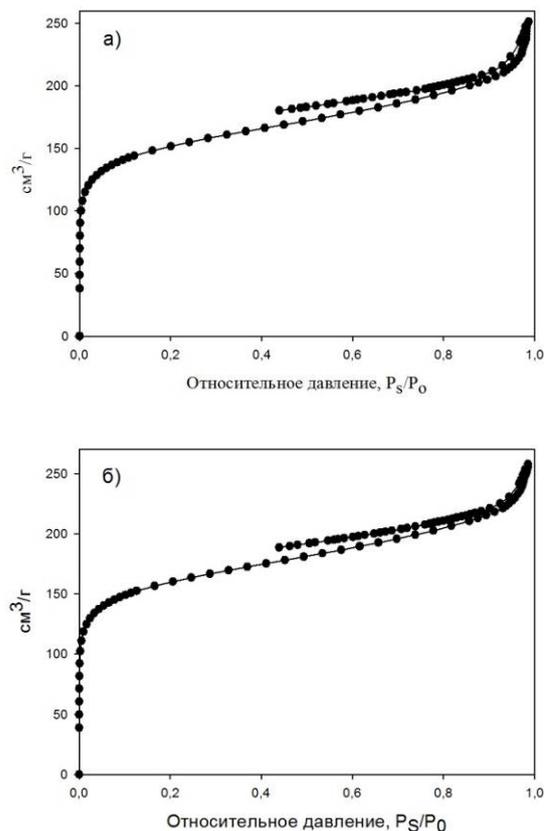
Температурный фактор оказывает влияние не только на сам процесс каталитического гидрирования ксилозы, но и на используемы Ru-содержащий катализатор. Для выяснения этого влияния на адсорбционные характеристики 3% Ru/СПС MN 100 был использован метод низкотемпературной адсорбции азота. Определение удельной поверхности и пористости осуществлялось на приборах:

1. Анализатор площади поверхности и распределения пор по размерам: BECMAN COULTER™ SA 3100™ (COULTER CORPORATION, Miami, Florida);

2. Прибор подготовки образцов: BECMAN COULTER™ SA-PREP™ (COULTER CORPORATION, Miami, Florida).

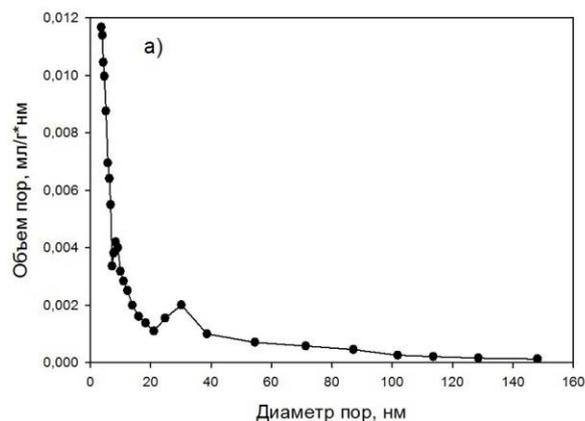
Образец помещается в кварцевую предварительно взвешенную кювету, которая устанавливается в прибор подготовки образца SA-PREP™. Параметры пробоподготовки: температура 120 °С; газ азот; время подготовки 60 мин. После завершения пробоподготовки кювета охлаждается и взвешивается, а затем переносится в аналитический порт прибора BECMAN COULTER™ SA 3100™.

В ходе анализа были получены изотермы исходного 3% Ru/СПС MN 100 и 3% Ru/СПС MN 100 после проведения эксперимента по варьированию температуры, которые представлены на рисунке 1.



**Рисунок 1. Изотермы адсорбции-десорбции азота исходного катализатора а) и после проведения эксперимента б)**

Как видно из рисунка 1 для изотерм обоих катализаторов характерно наличие петли гистерезиса. Изотермы относятся к IV типу, который типичен для неорганических оксидов и твердых тел с мезопористой структурой. Для изотерм IV типа наличие петли гистерезиса связано в основном с капиллярной конденсацией паров азота, при этом наличие мезопор приводит к увеличению адсорбции азота. С использованием метода низкотемпературной адсорбции азота была получена зависимость объема пор от их диаметра, которая представлена на рисунке 2.



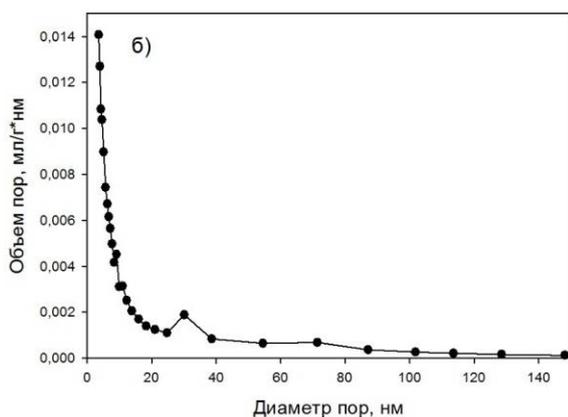


Рисунок 2. Зависимость объема пор от диаметра пор для исходного катализатора а) и после проведения эксперимента б)

Из рисунка 2 видно, после проведения экспериментов по варьированию температуры происходит незначительное увеличение объема пор от 0,012 до 0,014 мл/г·нм при неизменном диаметре пор (3,6 нм), что возможно объяснить процессом взаимодействия между собой Ru-содержащих частиц активной фазы катализатора, а также вымыванием непрореагировавшего прекурсора при синтезе катализатора или плохо удержанной в порах активной фазы, что может происходить при «приработке» катализатора. Естественно, что при этом должно происходить увеличение удельной площади поверхности катализатора.

Полученные значения удельной площади поверхности катализаторов представлены в таблице 2.

Таблица 2. Удельные площади поверхности исходного катализатора и после проведения эксперимента, а также удельная площадь поверхности микропор

Катализатор 3% Ru/СПС MN 100	Удельная площадь, м <sup>2</sup> /г		
	по модели Лэнгмюра	по модели БЭТ	микропор по модели t-Plot
исходный	595	527	408
после эксперимента	619	550	428

По представленным данным таблицы 2 видно, что удельная площадь поверхности катализатора после эксперимента, а также микропор увеличилась в среднем на 4 – 5% от значения исходного катализатора (увеличение объема пор на 16,7% при

диаметре 3,6 нм). Данные показатели позволяют предположить, что увеличение температуры проведения процесса гидрирования способствует незначительному улучшению адсорбционных характеристик катализатора 3% Ru/СПС MN 100.

В заключение следует отметить, что главной характеристикой катализатора все же является, не его адсорбционные свойства, а высокая активность и стабильность. На активность катализатора, конверсию субстрата и селективность процесса гидрирования влияет много факторов и в первую очередь температура. Если с увеличением температуры происходит снижение селективности процесса, то этого можно избежать путем увеличения давления, при котором проводится реакция (в разумных пределах). Не высокая температура в свою очередь способствует уменьшению процесса физической дезактивации катализатора, хотя и оказывает отрицательное воздействие на скорость большинства реакций гидрирования.

*Работа была выполнена в рамках проекта 19-08-00419 финансируемого РФФИ.*

#### Список литературы

1. Bär A. Sugaralcohols: xylitol // Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. – 2003. – P.34.
2. Mikkola J., Vainio H., Salmi T., Sjöholm R., Ollonqvist T., Vayrynen J. Deactivation kinetics of Mo-supported Raney Ni catalyst in the hydrogenation of xylose to xylitol // Applied Catalysis A: General. – 2000. – №196. – P.143-155.
3. Zhang J., Wu S., Liu Y., Li B. Hydrogenation of glucose over reduced Ni/Cu/Al hydrotalcite precursors // Catalysis Communications. – 2013. – P. 23-26.
4. Víctor Alberto Sifontes Herrera Hydrogenation of L-arabinose, D-galactose, D-maltose and L-rhamnose // Laboratory of Industrial Chemistry and Reaction Engineering Åbo Akademi University. – 2012. – P.97.
5. Haibin Jiang, Shuliang Lu, Xiaohong Zhang, Wei Dai and Jinliang Qiao Polymer-Supported Raney Nickel Catalysts for Sustainable Reduction Reactions. // Molecules. – 2016. – V. 21. – P. 833.
6. J. Mikkola, H. Vainio, T. Salmi, R. Sjöholm, T. Ollonqvist, J. Vayrynen Deactivation kinetics of Mo-supported Raney Ni catalyst in the hydrogenation of xylose to xylitol // Applied Catalysis A: General. – 2000. – №196 – P. 143 – 155.

УДК 667

Корчагина Е.В., Пискунова М.Ю., Рыженкова А.В., Нистратов А.В.

## ПОДХОДЫ К УДАЛЕНИЮ СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ КРАСИТЕЛЕЙ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

**Корчагина Екатерина Валерьевна**, студент 3 курса бакалавриата кафедры промышленной экологии  
**Пискунова Мария Юрьевна**, студент 3 курса бакалавриата кафедры промышленной экологии  
**Рыженкова Александра Валерьевна**, студент 3 курса бакалавриата кафедры промышленной экологии  
**Нистратов Алексей Викторович**, к.т.н., доцент кафедры промышленной экологии;  
 email: alvinist@muctr.ru

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия.

*В работе рассмотрены стойкие органические красители: прямой диазоалый, метиленовый голубой и активный фиолетовый, удаление которых из сточных вод до обесцвечивания представляет сложную задачу. Установлено, что окисление гипохлоритом натрия, пероксидом водорода, поглощение с помощью минеральных, углеродных и ионообменных сорбентов малоэффективны. Напротив, применение коагулянта сульфата алюминия в дозе 50 мг  $Al^{3+}$ /л с дальнейшим отстаиванием или электрофлотацией и фильтрацией приводит к обесцвечиванию растворов красителей с концентрацией 25 мг/л.*

**Ключевые слова:** органические красители, обесцвечивание, химическое окисление, адсорбция, коагуляция

## APPROACHES TO THE REMOVAL OF PERSISTENT ORGANIC DYES FROM AQUEOUS SOLUTIONS

Korchagina E.V., Piskunova M.Yu., Ryzhenkova A.V., Nistratov A.V.  
 Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

*Persistent organic dyes: direct diazored, methylene blue and active violet, which removal from wastewater until discoloration is a difficult task, are studied in the work. It has been established that both oxidation with sodium hypochlorite, hydrogen peroxide and removal by means of mineral, carbon and ion-exchange sorbents are ineffective. On the contrary application of coagulant aluminum sulfate at a dose of 50 mg  $Al^{3+}$  / l followed by sedimentation or electroflotation and filtration leads to the discoloration of dye solutions with a concentration of 25 mg / l.*

**Key words:** organic dyes, discoloration, chemical oxidation, adsorption, coagulation

Очистка сточных вод текстильной промышленности представляет серьезную проблему из-за большого водопотребления, высокой химической и биологической стойкости более 10000 применяемых синтетических красителей, наличия вспомогательных химикатов [1]. Для удаления органических красителей (обесцвечивания) существует множество методов [2], однако многие из них недостаточно эффективны с учётом жёстких требований к качеству очищенной воды.

Очистка воды от органических соединений может осуществляться различными методами [3]: физико-химическими (флотация, коагуляция, сорбция, обратный осмос, ультра- и нанофильтрация и др.); химическими и электрохимическими (окисление озоном, пероксидом водорода, активным хлором, электрохимическая деструкция, радиационная обработка и др.); биологическими. При этом использование природных адсорбентов в поглощении поллютантов считается [4] экономически выгодным благодаря преимуществам: высокой эффективности без вторичного загрязнения, лёгкости проведения, низким энергетическим и эксплуатационным затратам.

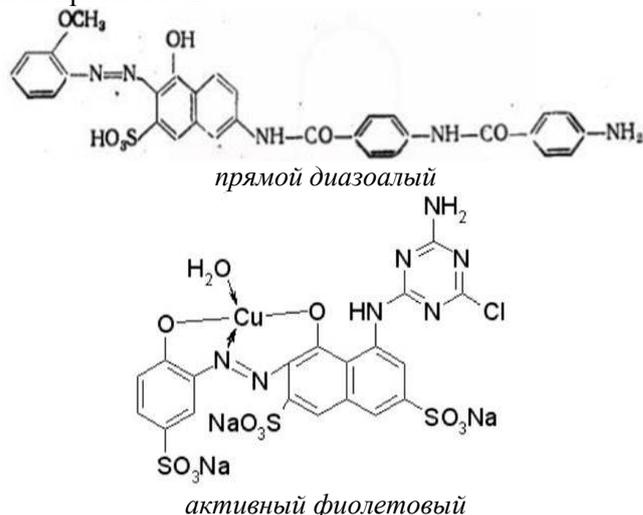
В настоящей работе были изучены органические красители следующих типов (рис. 1).

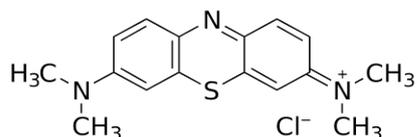
1. Прямой диазоалый (ПА) - красный анионный краситель, используется в текстильной

промышленности для окрашивания шелковых тканей.

2. Активный фиолетовый (АФ) - фиолетовый анионный краситель, используется в текстильной промышленности для окрашивания хлопчатобумажных и вискозных тканей.

3. Метиленовый голубой (МГ) - синий катионный краситель, используется в различных отраслях промышленности, для изготовления цветных карандашей, чернил, цветной бумаги, красок и лаков, а также для окрашивания препаратов в микробиологии.





метиленовый голубой

**Рис. 1. Структурные формулы изучаемых красителей**

В связи с тем, что предельно допустимые концентрации данных соединений в природной воде не установлены, авторы провели оценку их ориентировочно допустимой концентрации (ОДК) по условию отсутствия окраски в слое воды 10 см [5]. Наиболее интенсивную окраску имеет метиленовый голубой с ОДК 0,025 мг/л, затем следуют активный фиолетовый и прямой диазоалый с одинаковой ОДК – 0,1 мг/л.

Действие наиболее распространённых окислителей – NaClO (средство «Белизна») и H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (3

**Таблица 1. Наблюдаемые изменения при взаимодействии растворов красителей и окислителей**

Окислитель (5 мл на 50 мл раствора)	Прямой диазоалый	Активный фиолетовый	Метиленовый голубой
NaClO	бледнеет при подкислении	желтеет при подкислении	бледнеет при подкислении
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	нет	незначительно бледнеет	нет

**Таблица 2. Результаты статической адсорбции красителей из растворов**

Сорбент	Прямой диазоалый		Активный фиолетовый		Метиленовый голубой	
	Доза, г/л	Конечная концентрация, мг/л	Доза, г/л	Конечная концентрация, мг/л	Доза, г/л	Конечная концентрация, мг/л
Каолин	1	94,5	5	65,9	1	83,5
УПК-О	1	5,1	5	24,2	1	0
УПК-О*	10	25,2	-	-	1	0
БАУ	1	1,92	5	24,5	1	24,6
АВ-17-8	1	94,5	5	95,9	-	-
КУ-2-8	-	-	-	-	1	42,4

\* Интенсивное перемешивание в течение получаса (оценка кинетики процесса)

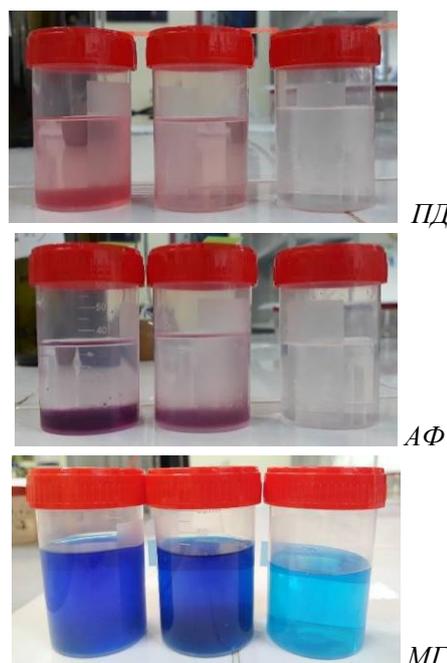
Из полученных данных следует, что применение выбранных адсорбентов для решения задачи обесцвечивания нерационально кроме комбинации МГ - УПК-О. Осуществляемое на практике перемешивание сточной воды с данным адсорбентом в течение 0,5 ч подтверждает его эффективность в дозе 1000 мг/л. Возможное повышение степени очистки при больших дозах адсорбентов ограничено их стоимостью.

Механизм сорбции положен в основу обработки окрашенных сточных вод коагулянтами, наиболее универсальный из которых – Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>. Его добавляли к растворам красителей с концентрацией 25 мг/л (с добавкой Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 г/л и доведением pH до 7) и перемешивали вручную в течение нескольких минут. Далее суспензии подвергали отстаиванию либо электрофлотации в течение 30 мин и фильтрации (рис. 2).

Визуально коагулянт сорбировал большую часть красителей, причём наиболее полное осветление растворов наблюдалось при сочетании электрофлотации и фильтрации. Количественные результаты экспериментов с коагулянт и различными вариантами отделения осадка также обнадёживают (табл. 3).

%-ный водный раствор) – на испытуемые красители отражено в табл. 1. Очевидно, что данные вещества проявляют стойкость к химическому окислению и даже в жёстких условиях оно протекает неполно.

Для поглощения молекул данных красителей были проведены испытания различных по природе сорбентов: каолин, осветляющие активные угли УПК-О (порошковый), БАУ (зернёный), анионит АВ-17-8 для ПА и АФ, катионит КУ-2-8 для МГ. Для анализа конечной концентрации растворов использовали прямую фотометрию – измерение оптической плотности при длинах волн для ПА, АФ и МГ 364, 540, 670 нм соответственно на приборе КФК-2. Результаты контакта растворов красителей (100 мг/л) с поглотителями в статических условиях в течение 7 суток приведены в табл. 2.



**Рис. 2. Наблюдения коагуляции растворов красителей. Слева направо: после отстаивания, после флотации, после флотации+фильтрации**

Таблица 3. Результаты коагуляции растворов красителей сульфатом алюминия

Коагулянт	Прямой диазоалый		Активный фиолетовый		Метиленовый голубой	
	Способ разделения фаз	Конечная концентрация, мг/л	Способ разделения фаз	Конечная концентрация, мг/л	Способ разделения фаз	Конечная концентрация, мг/л
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> в дозе 50 мг/л по Al <sup>3+</sup>	Отстаивание	14,5	Отстаивание	1,38	Отстаивание	6,56
	Эл-флотация	11,6	Эл-флотация	0,319	Эл-флотация	5,3
	Эл-флотация + фильтрация	8,8	Эл-флотация +Фильтрация	0,053	Эл-флотация +Фильтрация	0,34

Как следует из табл. 3, выбранный коагулянт удаляет красители в разной степени: активный фиолетовый > метиленовый голубой > прямой диазоалый. Способ отделения осадка от очищенной воды имеет большое значение: электрофлотация по сравнению с отстаиванием повышает степень очистки на 5-10 %, а последующая фильтрация обеспечивает удаление наиболее мелких окрашенных частиц. При удалении АФ этим способом возможно достижение его ОДК 0,1 мг/л.

Таким образом, экспериментальная проверка подходов к удалению трёх стойких органических красителей выявила эффективный способ решения этой задачи коагуляцией с Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, электрофлотацией и фильтрацией. Подбор оптимальных параметров процесса требует дальнейших исследований.

#### Список литературы

1. Шалбак А. Сравнительное исследование процессов обесцвечивания и деструкции красителей. Дисс. К.х.н. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2010. – 149 с.
2. Шалбуев Д.В. Методы очистки сточных вод после процесса крашения. Методическое указание к выполнению лабораторных работ. Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2001. – 46 с. (<http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/532/18532/501>).
3. Родионов, А. И. Технологические процессы экологической безопасности. Гидросфера [Текст]: учебник для академического бакалавриата. 5-е изд., испр. и доп. / А. И. Родионов, В. Н. Клушин, В. Г. Систер - М.: изд-во Юрайт, 2018. – 283 с.
4. Lansari I., Benguella B., Kruchinina N., Nistratov A.. Adsorption of textile dye (acid green 4G) from aqueous solution on natural and modified sawdust. Desalination and Water Treatment. 2020. Accepted 18.03.2020, in press.
5. ПНД Ф 12.16.1-10. Методические рекомендации. Определение температуры, запаха, окраски (цвета) и прозрачности в сточных водах, в том числе очищенных сточных, ливневых и талых (<http://www.gostrf.com/normadata/1/4293807/4293807052.htm>).

УДК 339.138:628.477.6

Новосельцева А.О., Епишкина Ю.М., Баурин Д.В., Шакир И.В., Панфилов В.И.

## ГИДРОЛИЗАТ БЕЛКА ПОДСОЛНЕЧНИКА, КАК АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ИСТОЧНИК АЗОТА ДЛЯ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ *BACILLUS MEGATERIUM*

**Новосельцева Алёна Олеговна**, студентка 3 курса бакалавриата факультета биотехнологии и промышленной экологии, e-mail: aonovoseltseva@gmail.com;

**Епишкина Юлия Михайловна**, студентка 1 курса магистратуры факультета биотехнологии и промышленной экологии;

**Баурин Дмитрий Витальевич**, к.т.н., доцент кафедры биотехнологии;

**Шакир Ирина Васильевна**, к.т.н., доцент кафедры биотехнологии;

**Панфилов Виктор Иванович**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой биотехнологии,

Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, 125480, Москва, ул. Героев

Панфиловцев, д. 20

*В данной работе представлены результаты исследования возможности использования гидролизатов белка подсолнечника в качестве источника органического азота в питательных средах как альтернатива использованию коммерческого пептона. Гидролиз изолята белка проводился коммерческими ферментными препаратами протеолитического действия: Proteinase T, Protex 7L, Protex 40E, Protex 51FP (Danisco Genecor, Дания), Fermgen, и панкреатин (Биосинтез, Российская Федерация). В качестве объекта исследования был выбран штамм Bacillus megaterium B-3750. Полученные данные показали, что культура накапливает значительное количество биомассы с высоким количеством клеток на мл.*

**Ключевые слова:** подсолнечный шрот, гидролизат белка, растительный пептон, источник азота, витамин B12.

## SUNFLOWER PROTEIN ENZYMATIC HYDROLYSATES AS AN ALTERNATIVE NITROGEN SOURCE FOR CULTIVATION OF *Bacillus megaterium*

Novoseltseva A.O., Epishkina J.M., Baurin D.V., Shakir I.V., Panfilov V.I.

*This paper presents the results of research the possibility of using sunflower protein hydrolysates as a source of organic nitrogen for nutrient media as an alternative to using commercial peptone. Concentrate hydrolysis was carried out with commercial enzyme proteolytic preparations, such as Proteinase T, Protex 7L, Protex 40E, Protex 51FP (Danisco Genecor, Denmark), Fermgen and Pancreatin (Biosynthesis, the Russian Federation). Bacillus megaterium strain B – 3750 was a test object and proved to accumulate a significant amount of biomass with high cell count per ml.*

**Keywords:** sunflower meal, plant peptone, protein isolate, nitrogen source, vitamin B12.

Подсолнечник представляет собой высокодоходную масличную культуру, которая может не только обеспечить потребность экономики Российской Федерации в высококачественном растительном масле, необходимом для пищевого производства, но и стать достаточно эффективным источником азота, как элемент многокомпонентной питательной среды. По состоянию на 2019 г. Россия занимает второе место в мире по объемам производства подсолнечника (14,6 млн тонн). В течение последних лет наблюдается положительная тенденция роста этого показателя [1]. Актуальность исследования возможности использования шрота подсолнечника в качестве источника органического азота [2] для культивирования микроорганизмов также обуславливается высокой стоимостью коммерческих препаратов, таких как пептон [3], мясной и дрожжевой экстракты. В данной работе был использован продукт гидролиза подсолнечного шрота как источник азота для культивирования *Bacillus megaterium* [4].

*Bacillus megaterium* представляет особую ценность в первую очередь как продуцент витамина B12 (кобаламина), необходимого млекопитающим, в том числе человеку. Витамин B12 включает в себя

два кофермента: метилкобаламин и аденозилкобаламин, которые играют существенную роль в метаболизме животных, ДНК-синтезе, синтезе гемоглобина и механизмах регуляции процессов жизнедеятельности, однако биологически не синтезируются в организмах млекопитающих [5].

В качестве источника азота для питательных сред во многих коммерческих препаратах используется пептон, который может быть получен из растительного сырья, в том числе из шрота подсолнечника, путем гидролиза. Однако преимущество отдается ферментативному расщеплению, так как в этом случае не происходит разрушения аминокислот, которое характерно для кислотного гидролиза. С целью ферментативной обработки могут быть использованы различные протеазы протеолитического действия.

Выделение изолята белка подсолнечника было изучено ранее на кафедре биотехнологии РХТУ им. Д.И. Менделеева. Были произведены депротеинизация и получение гидролизатов обезжиренного подсолнечного шрота [6].

В настоящем исследовании для получения изолята использовали Fermgen и щелочные протеазы: Protex 7L, Protex 40E, Protex 51FP,

Proteinase T, панкреатин. Все препараты разрешены к применению в пищевой промышленности и имеют диапазон pH от 4,0 до 12,0, что соответствовало растворимости изолята белка подсолнечника. Ферментативный гидролиз проводили на водяной бане в течение 12 часов при постоянном перемешивании (магнитная мешалка). В процессе гидролиза каждые 2 часа осуществлялся отбор проб на анализ содержания аминного азота по методу Серенсена (формольного титрования) [7]. Полученные гидролизаты использовали в качестве среды для ферментации бактерий. Культивирование проводили в колбах Эрленмейера объемом 250 мл с рабочим объемом 100 мл при 37°C в течение 24 часов при постоянном перемешивании со скоростью 180 об/мин. Инокулят вносили из расчета 10% от объема ферментационной среды. Рост культуры определяли с помощью микрометода Коха [8]. Высев производили на агаризованные питательные среды состава МПА (мясо – пептонный агар) [9]. Количество редуцирующих веществ (РВ) оценивали с помощью оптического метода по реакции с 3,5-ДНСК (динитросалициловая кислота) [10]. Приведенные данные представляют собой средние значения, полученные в трехкратной повторности.

Для исследования влияния замещения источника азота на рост клеток в культуральную среду добавляли 10 г/л изолята белка подсолнечника вместо 10 г/л мясного пептона. В процессе ферментации каждый час отбирали пробу на содержание РВ, аминного азота и выполняли высев на твердую питательную среду для оценки показателей роста культуры (рис. 1).

Замена мясного пептона неочищенным подсолнечным изолятом белка не ингибировала рост клеток, максимальная концентрация клеток достигала  $3,3 \cdot 10^9$  КОЕ/мл была достигнута на 10-й час ферментации на среде с мясным пептоном, и  $4,5 \cdot 10^8$  КОЕ/мл на 10-й час ферментации в колбе на среде с изолятом белка подсолнечника. pH повышался с 6,6 до 8,4 и до 8,21 в течение 24 ч ферментации на среде, содержащей мясной пептон и изолят белка подсолнечника соответственно. Однако концентрация аминного азота в среде на основе изолята белка подсолнечника была на 51% ниже по сравнению со средой на основе мясного пептона (364 мг/л и 714 мг/л соответственно). Длительность лаг-фазы составила 6 часов при использовании среды с белком подсолнечника (по сравнению с 2 часами при использовании мясного пептона), что было вызвано низким содержанием доступных низкомолекулярных соединений для быстрого накопления биомассы бактерии. Высокомолекулярные белковые комплексы могут быть расщеплены на доступные питательные вещества для роста бактерий путем применения промышленных протеаз.

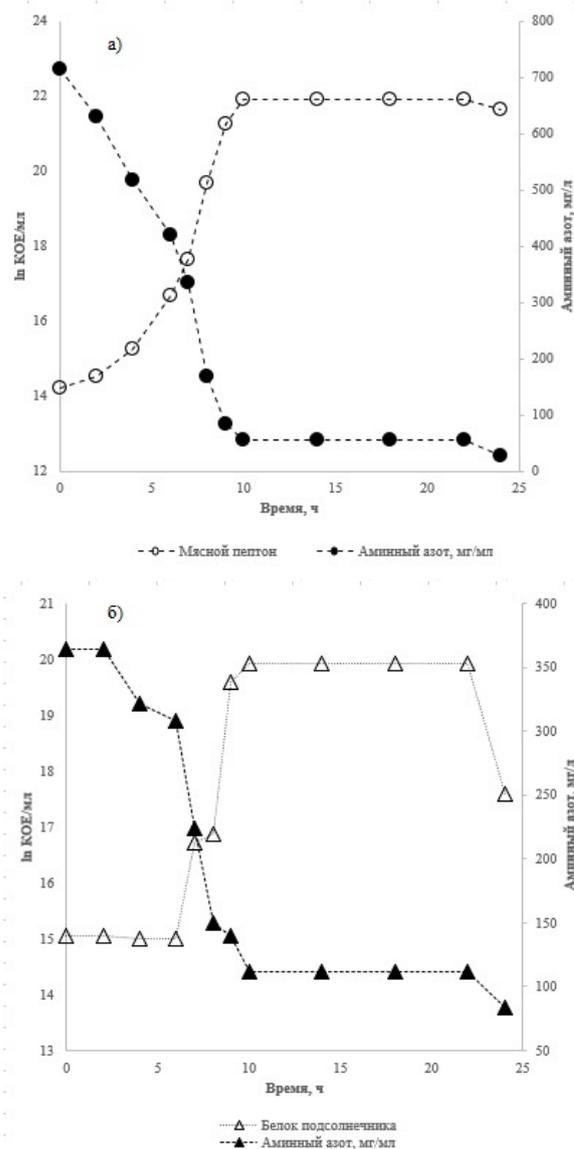


Рис. 1. Графики зависимости роста  $\ln$  (КОЕ/мл) и потребления аминного азота (мг/л) от времени при ферментации в колбах *Bacillus megaterium* на среде, содержащей мясной пептон (а) и неочищенный изолят белка подсолнечника (б)

Применение ферментативного гидролиза позволяет значительно увеличить показатель аминного азота в гидролизатах. Гидролиз изолята проводился коммерческими ферментными препаратами протеолитического действия: Proteinase T, Protex 7L, Protex 40E, Protex 51FP (Danisco Genesoc, Дания), Fermgen, и панкреатин (Биосинтез, Российская Федерация). Для исследования влияния использования ферментативных гидролизатов изолята белка подсолнечника на рост клеток проводили гидролиз. Полученную среду инокулировали *Bacillus megaterium*. После 24 ч ферментации в колбе при перемешивании рассчитывали  $\ln$  (КОЕ/мл) и определяли расход аминного азота (мг/л) (рис. 2).

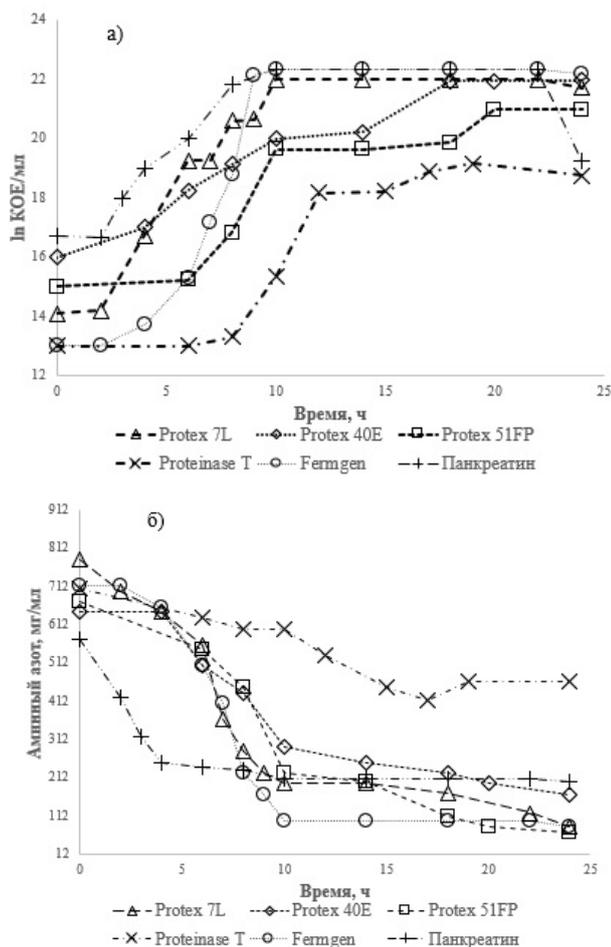


Рис. 2. Кривые роста культуры *Bacillus megaterium* (а) и зависимость концентрации аминокислотного азота (мг/л) (б) от времени при ферментации на неочищенных ферментативных гидролизатах белка подсолнечника.

Замена мясного пептона ферментативными гидролизатами изолята белка к значительным изменениям не приводила. Максимальная концентрация клеток достигала  $5,1 \cdot 10^9$  КОЕ/мл на 10-й час ферментации в колбе при перемешивании на среде на основе ферментативных гидролизатов, полученных с помощью Fermgen, и  $4,5 \cdot 10^8$  на 10-й час ферментации в колбе со средой с изолятом белка подсолнечника. рН повышался с 6,6 до 8,4 и до 8,21 в течение 24 ч ферментации на среде, содержащей мясной пептон и изолят белка подсолнечника соответственно.

В настоящей работе изучалась возможность замены мясного пептона изолятом белка подсолнечника как источника азота для культивирования *Bacillus megaterium* В-3750. Было отмечено, что использование изолята белка подсолнечника не оказало существенного влияния на процесс ферментации, по сравнению с

использованием коммерческого мясного пептона, что позволяет в дальнейшем снизить затраты на промышленное производство витамина В12.

Ферментация *Bacillus megaterium* на среде, содержащей изолят белка подсолнечника, обработанный кислой протеиназой Fermgen, а также щелочной эндопептидазой Protex 7L, продемонстрировала наибольший рост бактерий, что означает, что данные ферменты могут быть эффективно использованы в процессе промышленного культивирования штаммов продуцентов.

### Список литературы

- World Supply & Disappearance [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sunflowerusa.com/stats/world-supply/>.
- Sosulski F., Fleming S. E. Chemical, functional, and nutritional properties of sunflower protein products // Journal of the American Oil Chemists' Society. 1977. № 2 (54).
- Kabirullah M., Wills R. B. H. Functional properties of acetylated and succinylated sunflower protein isolate // International Journal of Food Science & Technology. 1982. № 2 (17). С. 235–249.
- Gentina J. C., Acevedo F., Villagra M. P. Effect of complex nitrogen sources on the production of penicillin acylase by *Bacillus megaterium* // World Journal of Microbiology and Biotechnology. 1997. № 1 (13). С. 127–128.
- Martens J. H. et al. Microbial production of vitamin B 12 // Applied microbiology and biotechnology, vol. 58 (3), 275-285, 2002.
- Романова А.Б., Самарина Е.А., Баурин Д.В. Получение белковых ферментализатов шрота подсолнечника // Успехи в химии и химической технологии. 2013. №9 (149).
- Brown J.H. The formal titration of bacteriological media // J. Bacteriol. American Society for Microbiology (ASM), vol. 8 (3), 245, 1923.
- Karetkin B. A. et al. New Integrated Technology Of Probiotics Production Using Cereal Hydrolysates // International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM: Surveying Geology & mining Ecology Management, vo. 18, 393-400, 2018.
- Baron F. et al. Rapid and cost-effective method for microorganism enumeration based on miniaturization of the conventional plate-counting technique // Le Lait, vol. 86 (3), 251-257, 2006.
- Miller G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar // Analytical chemistry, vol. 31 (3), 426-428, 1959.

УДК 546.82; 546.04

Кузин Е.Н., Носова Т.И.

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ТРЕХХЛОРИСТОГО ТИТАНА

**Носова Татьяна Игоревна**, студентка 4 курса факультета биотехнологии и промышленной экологии, e-mail: [nti16041998@gmail.com](mailto:nti16041998@gmail.com);

**Кузин Евгений Николаевич**, к.т.н., доцент, заведующий лабораторией кафедры промышленной экологии; Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия 125480, Москва, ул. Героев Панфиловцев, д. 20

*В рамках эксперимента была разработана технология электрохимического синтеза треххлористого титана. Установлено, что при использовании алюминиевых электродов процесс протекает с одним экстремумом и после достижения максимально возможной концентрации, образовавшийся треххлористый титан начинает разлагаться за счет роста pH и температуры реакционной смеси. Растворы, полученные с использованием алюминиевых электродов, могут быть эффективны в качестве коагулянта-восстановителя для очистки сточных вод гальванического производства от ионов хрома (VI) или использованы в качестве катализатора процесса производства полимерных материалов.*

**Ключевые слова:** треххлористый титан, электрохимическое восстановление, катализатор полимеризации

## DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF ELECTROCHEMICAL SYNTHESIS OF TRICHLORIDE TITANIUM

Kuzin E.N., Nosova T.I.

D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

*As part of the experiment, a technology for the electrochemical synthesis of titanium trichloride was developed. It was established that when using aluminum electrodes, the process proceeds with one extreme and, after reaching the maximum possible concentration, the resulting titanium trichloride begins to decompose due to an increase in pH and temperature of the reaction mixture. Solutions obtained using aluminum electrodes can be effective as a coagulant-reducer for the treatment of wastewater from galvanic production from chromium ions (VI) or used as a catalyst for the production of polymer materials.*

**Keywords:** titanium trichloride, electrochemical reduction, polymerization catalyst.

Ежегодное расширение ассортимента и количества выпускаемой продукции приводит к росту потребности в высококачественном полимерном сырье. Пищевая, медицинская, автомобильная, строительная и ряд других областей промышленности широко используют все многообразие выпускаемых на рынок полимеров. Известно, что треххлористый титан является основным компонентом катализатора полимеризации Циглера-Натта, необходимого для синтеза линейных неразветвленных полимеров полиэтилена, полипропилена и других полиолефинов, и виниловых производных. Кроме того, треххлористый титан нашел широкое применение в органическом синтезе, получении наночастиц диоксида титана, а также в последние время появляется информация о возможности его использования в процессах водоочистки [1]. Однако, существующая сегодня методика получения  $TiCl_3$  делает его использование экономически нецелесообразным.

Традиционной технологией получения треххлористого титана является процесс восстановления тетрахлорида титана водородом при температуре около  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  по реакции (1) [2].

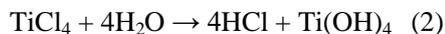


В промышленных условиях возможен синтез треххлористого титана, в котором в качестве

восстановителей применяют органические соединения алюминия и других металлов [3]. В лабораторных целях треххлористый титан восстанавливают из жидкого тетрахлорида титана натрием, титаном, алюминием или магнием. Однако данные реагенты требуют поддержания не только высокой температуры (может достигать  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), но и повышенного давления. Наряду с этим, все приведенные методы характеризуются сложной аппаратурной схемой и дороговизной исходных реагентов.

На основании вышеизложенного основной задачей данного исследования являлась разработка альтернативной технологии получения треххлористого титана, основанной на электрохимическом восстановлении водного раствора тетрахлорида титана.

Треххлористый титан может быть получен как в процессе гидролиза по реакциям (2), (3), (4), так и по окислительно-восстановительной реакции (5) [4].



Образец треххлористого титана получали электрохимическим методом в экспериментальном

реакторе объемом 150 см<sup>3</sup> с магнитной мешалкой. Предварительно реактор заполняли водным раствором тетрахлорида титана концентрацией 5%. Алюминиевые электроды погружали в раствор на расстоянии 5,5 см, подключали их к источнику постоянного тока и проводили три опыта с плотностями тока 1, 2 и 3 А/дц<sup>2</sup> соответственно. В процессе проведения эксперимента каждые 10 мин измеряли pH полученного раствора и определяли содержание треххлористого титана. Для оценки степени конверсии TiCl<sub>4</sub>/TiCl<sub>3</sub> в отобранные каждые 10 мин аликвоты добавляли раствор бихромата калия с заданной концентрацией. Затем pH раствора корректировали 10% раствором NaOH до значения 8,5 с целью осаждения нерастворимого гидроксида хрома (III). Остаточную концентрацию хрома (VI) определяли на атомно-эмиссионном спектрометре «Спектроскай». Полученные данные синтеза на алюминиевом аноде представлены на рисунке 1.

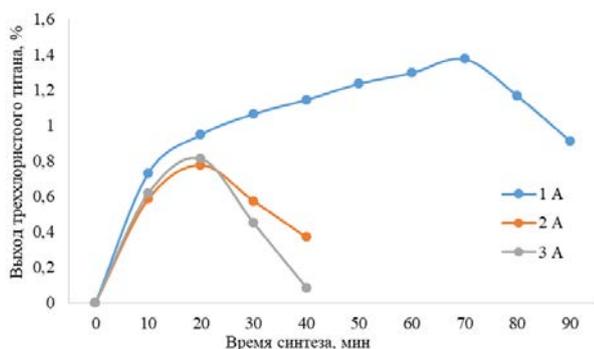


Рисунок 1. Эффективность восстановления треххлористого титана на алюминиевом электроде

Как следует из данных рисунка 1, рост кривой интенсивного образования треххлористого титана идет до определенного значения pH среды (пик на кривой), после достижения которого происходит активное гидролитическое разложение TiCl<sub>3</sub> с последующим его окислением кислородом воздуха до орто- и мета титановой кислот [5]. Разложение треххлористого титана связано с ростом pH смеси, обусловленного нейтрализацией свободной соляной кислоты из раствора (результат протекания гидролиза по реакции (3)) с возможным образованием промежуточных соединений гидроксида алюминия общей формулой Al(OH)<sub>m</sub>Cl<sub>n-m</sub> [6]. Необходимо добавить, что процесс электрохимического восстановления водного раствора тетрахлорида сопровождается ростом температуры, которая оказывает каталитическое действие как на синтез трёххлористого титана, так и на его разложение.

Для оценки степени конверсии TiCl<sub>4</sub>/TiCl<sub>3</sub> для каждой серии эксперимента был рассчитан практический выход треххлористого титана в полученном при различных условиях растворе (рисунок 2).

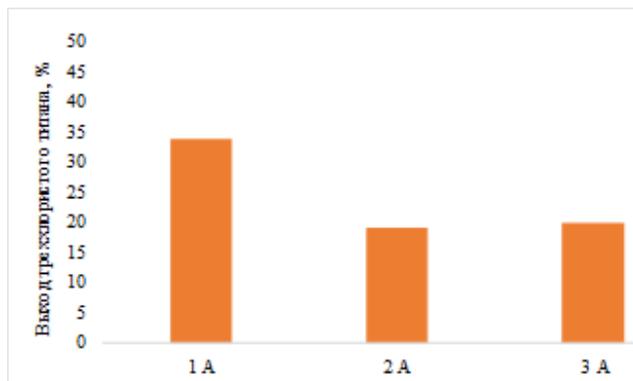


Рисунок 2. Выход треххлористого титана

Из данных, представленных на рисунке 2, можно сделать вывод, что максимально достигнутая эффективность восстановления не превышает 35%. Причем проведение процесса при плотности тока 1 А/дц<sup>2</sup> дает лучший выход целевого компонента. При этом получаемый образец будет в большей степени насыщен побочными продуктами взаимодействия, которые могут положительно влиять на качество полученного треххлористого титана.

Одновременно с электрохимическим синтезом, в работе нами была проведена оценка возможности использования полученного реагента (на рисунке ЭКККВАI) в процессах очистки сточной воды гальванического производства от соединений хрома (VI). Данные по эффективности удаления соединений шестивалентного хрома представлены на рисунке 3. Исходная концентрация ионов хрома (VI) – 13,3 мг/л.

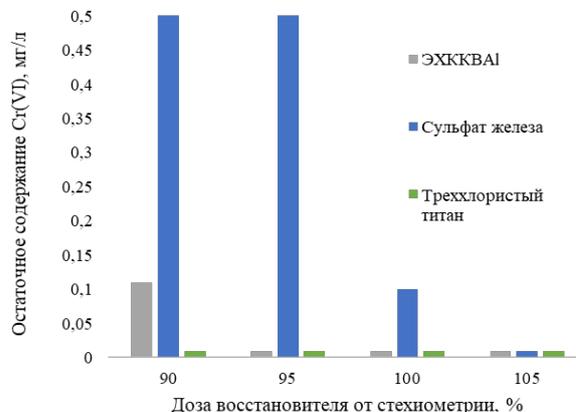


Рисунок 3. Эффективность удаления ионов хрома (VI)

Из данных рисунка 3 видно, что по своей эффективности полученный продукт незначительно уступает чистому треххлористому титану, однако существенно превосходит восстановитель на основе солей железа (II). При этом уже при дозе полученного образца 95 % от стехиометрического количества удалось достигнуть нормативов ПДК, предъявляемых к сбросу воды в водные объекты рыбохозяйственного значения.

В рамках проведенных экспериментов была установлена возможность получения треххлористого титана в процессе электрохимического растворения алюминия. Процесс синтеза характеризуется значительно мягкими условиями в сравнении с

существующей технологией, а также существенным сокращением затрат на реагенты и необходимое оборудование. В качестве оптимальных параметров процесса синтеза при использовании алюминиевого электрода выбрано значение силы тока 1А/дц<sup>2</sup>, время процесса 70 минут, при этом на выходе мы получаем стабильный раствор треххлористого титана в сочетании с соединениями оксихлорида алюминия, который показал высокую эффективность очистки хромсодержащих гальванических стоков. На основании литературных данных, полученный треххлористый титан может найти практическое применение как в полимерном производстве, так и в процессах водоочистки [7].

*Работа выполнена в рамках программы поддержки молодых ученых-преподавателей РХТУ им. Д.И. Менделеева (Заявка 3-2020-013.)*

#### Список литературы

1. Чернышев П. И., Визен Н.С., Кузин Е.Н., Кручинина Н.Е., Халиуллина Д. Р. Очистка сточных вод от ионов хрома (VI) // Успехи в химии и химической технологии. – 2018. Т.32, №12. – С. 79-81.
2. Лучинский Г.П. Химия титана / Г.П. Лучинский. – М.: Издательство "Химия", 1971. 471 с.
3. Coutinho, F. M. B., Costa, T. H. S., Santa Maria, L. C., & Pereira, R. Influence of the method of synthesis on the properties of TiCl<sub>3</sub> // European Polymer Journal. 1992. Vol. 28. №6. P. 695–698.
4. Горощенко Я.Г. Химия титана. - Киев: Наук. Думка, 1970. – 415 с.
5. Costa, M. A. S., Silva, A. L. S. S., Coutinho, F. M. B., de Santa Maria, L. C., & Pereira, R. A. Highly active and stereospecific catalyst based on β-TiCl<sub>3</sub> for propylene polymerization // Polymer. 1996. Vol. 37. №5. P. 869–873.
6. Драгинский В. Л., Алексеева Л. П., Гетманцев С. В. Коагуляция в технологии очистки природных вод. - М.: Научное издание, 2005. - 576 с.
7. Hussain, S., Awad, J., Sarkar, B. et al Coagulation of dissolved organic matter in surface water by novel titanium (III) chloride // Mechanistic surface chemical and spectroscopic characterisation. Separation and Purification Technology. –2019. № 213 – P. 213-223.

УДК 628.31

Башмакова О.В., Керселян К.С., Кузин Е.Н., Кручинина Н. Е.

## ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД СПИРТОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ КОМПЛЕКСНЫМИ КОАГУЛЯНТАМИ

**Башмакова Ольга Витальевна**, студентка 1 курса магистратуры факультета биотехнологии и промышленной экологии, e-mail: [bashmakova\\_ov\\_97@mail.ru](mailto:bashmakova_ov_97@mail.ru);

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия 125480, Москва, ул. Героев Панфиловцев, д. 20

**Керселян Кристина Сергеевна**, студентка 4 курса факультета биотехнологии и промышленной экологии, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия

**Кузин Евгений Николаевич**, к.т.н., доцент кафедры промышленной экологии, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия

**Кручинина Наталия Евгеньевна**, д.т.н., заведующий кафедрой промышленной экологии, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия

*Основной задачей данной работы являлась оценка эффективности физико-химической очистки сточных вод спиртовой промышленности. Установлено, что минимальная эффективная доза сульфата алюминия составляет 104 мг  $Al_2O_3$ /л, при этом эффективность очистки не превышает 92 %. Эффективная доза тетраоксида титана составила 28 мг  $TiO_2$ /л, при этом эффективность очистки составила в среднем 95 %. Комплексный коагулянт на основе сульфата алюминия, с добавкой тетраоксида титана позволил значительно снизить дозу реагента, а также достигнуть максимальной эффективности очистки (более 99 %).*

**Ключевые слова:** спиртовая промышленность, очистка сточных вод, коагулянт.

## WASTEWATER TREATMENT OF THE ALCOHOL INDUSTRY WITH COMPLEX COAGULANTS

Bashmakova O.V., Kerselyan K.S., Kuzin E.N., Kruchinina N. E.

D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

*The main objective of this work was to assess the effectiveness of the physico-chemical wastewater treatment of the alcohol industry. It was found that the minimum effective dose of aluminum sulfate is 104 mg  $Al_2O_3$  / L, while the cleaning efficiency does not exceed 92%. The effective dose of titanium tetrachloride was 28 mg  $TiO_2$  / L, while the cleaning efficiency was on average 95%. The complex coagulant based on aluminum sulfate, with the addition of titanium tetrachloride, allowed to significantly reduce the dose of the reagent, as well as to achieve maximum cleaning efficiency (more than 99%).*

**Keywords:** alcohol industry, waste water treatment, coagulant.

### Введение

В настоящее время всё большее количество предприятий спиртовой промышленности сталкивается с проблемой очистки больших объемов сточных вод. Основным источником поступления загрязняющих веществ в воду является спиртовая барда, а в частотности ее жидкая фаза – фугат, который с точки зрения переработки вызывает особые трудности, т.к. в нем содержатся большое количество окисляемой органики, в виде растворенных соединений, а также коллоидных частиц, тонко- и грубодисперсных взвесей. Химический состав сточных вод пивоваренного производства также характеризуется непостоянным составом. В зависимости от стадии технологического цикла содержание взвешенных веществ может колебаться от 400 до 2700 мг/л, а растворенных органических соединений (в пересчете на биологическое потребление кислорода) от 600 до 3000 мг О/л [1]. Для достижения нормативов ПДК по содержанию взвешенных веществ применяются различные методы физико-химической очистки воды. Сточные воды с высоким содержанием растворенных органических соединений обычно подвергают биологической очистке. В большинстве случаев биологической очистке предшествует

предварительная очистка на локальных очистных сооружениях физико-химической очистки.

Одним из основных процессов физико-химической очистки воды является коагуляция – процесс объединения при соударении мелких частиц дисперсной фазы в более крупные агрегаты. В качестве коагулянтов выступают соли поливалентных металлов (алюминия, железа и другие.). Необходимо отметить, что алюминий имеет ограниченный диапазон рН применения, а соединения железа могут образовывать комплексы с органической составляющей воды [2]. В последние годы рассматривается перспектива использования титановых коагулянтов. Благодаря высокой адсорбционной способности титаносодержащих фаз, такой коагулянт обладает высокой эффективностью [3-4]. Так как использование чистых солей титана экономически не выгодно, то особенно остро стоит задача рассмотрения эффективности применения комплексных титаносодержащих реагентов – традиционных реагентов модифицированных незначительными добавками соединений титана.

### Экспериментальная часть

Основной задачей данной работы является оценка эффективности соединений титана и комплексных титаносодержащих коагулянтов в

процессах очистки модельной воды спиртового производства.

Для проведения экспериментов была приготовлена модельная сточная вода, путём разбавления браги водопроводной водой в соотношении 1:20. Перед введением коагулянтов рН модельной воды предварительно корректировали раствором NaOH до  $\text{pH}=7,0\pm 0,1$ . В качестве исследуемых образцов коагулянтов были выбраны водные растворы тетраоксида титана, сульфата алюминия (III), а также комплексный реагент, полученный добавкой тетраоксида титана в водные растворы сульфата алюминия.

Коагуляцию проводили на лабораторном флокуляторе VELP Scientifica FC4S. Время быстрого перемешивания (150 об/мин) составляло 2 минуты, время медленного перемешивания (10 об/мин) – 8 минут, время отстаивания пробы – 30 минут. Оценку эффективности очистки проводили измерением показателей цветности ( $\lambda=400$  нм) и мутности ( $\lambda=490$  нм) на фотоколориметре. По

изменению показателя мутности (содержание взвешенных веществ) можно судить об эффективности удаления нерастворимых соединений биологического происхождения, в то время как показатель цветности обусловлен наличием в воде растворенных органических соединений.

#### Результаты и их обсуждение

На первом этапе экспериментов была проведена оценка эффективности традиционного коагулянта – сульфата алюминия в процессах очистки модельной воды спиртовой промышленности. Эффективную дозу подбирали экспериментально.

Из данных таблицы 1 видно, что максимально возможная эффективность очистки при использовании сульфата алюминия не превышает 92 %, а эффективность снижения цветности - 80 %. Оптимальная доза коагулянта – 104 мг по  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{л}$ .

Данные по эффективности очистки модельной воды при использовании тетраоксида титана в качестве коагулянта представлены в таблице 2.

Таблица 1

Эффективность очистки модельной воды сульфатом алюминия

Доза коагулянта, мг $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{л}$	Мутность, мг/л	Эффективность очистки, %	Цветность, град	Эффективность очистки, %
0	713,35	-	293,56	-
40	86,02	87,9	97,85	66,7
88	56,65	92,1	60,34	79,4
104	54,55	92,4	55,45	81,1
120	79,73	88,8	78,28	73,3
136	83,92	88,2	86,44	70,6
160	113,30	84,1	114,16	61,1

Таблица 2

Эффективность очистки модельной воды тетраоксидом титана

Доза коагулянта по $\text{TiO}_2$ , мг/л	Мутность, мг/л	Эффективность очистки, %	Цветность, град	Эффективность очистки, %
0	713,35	-	293,56	-
8	251,77	64,7	244,64	16,7
16	134,28	81,2	163,09	44,4
24	33,57	95,3	34,25	88,3
24,8	35,67	95,0	37,51	87,2
26,4	54,55	95,4	58,71	80,0
28	20,98	97,0	24,46	71,7
32	75,53	89,4	91,33	68,9

Из данных таблицы 2 видно, что по своей эффективности тетраоксид титана значительно превосходит традиционный сульфат алюминия. Так, уже при дозе коагулянта 28 мг по  $\text{TiO}_2/\text{л}$  удалось достигнуть эффективности очистки 97 %. Дальнейшее увеличение дозы не привело к повышению эффективности. Сравнивая данные таблицы 1 и 2 можно сделать вывод, что

эффективная доза тетраоксида титана была в среднем в 3 раза ниже, чем у сульфата алюминия.

Высокая эффективность коагулянтов на основе соединений титана объясняется явлениями поликонденсации титановых кислот [5-6], а также высоким по сравнению с алюминием зарядом катиона металла (правило Шульце-Гарди) [7].

На заключительном этапе экспериментов к эффективной дозе сульфата алюминия (104 мг  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{л}$ ) добавляли тетрахлорид титана таким образом, что содержание модифицирующей добавки в комплексном коагулянте составляло 2 – 10 % масс. Данные по эффективности очистки в зависимости от добавки соединений титана представлены на графике рисунок 1.

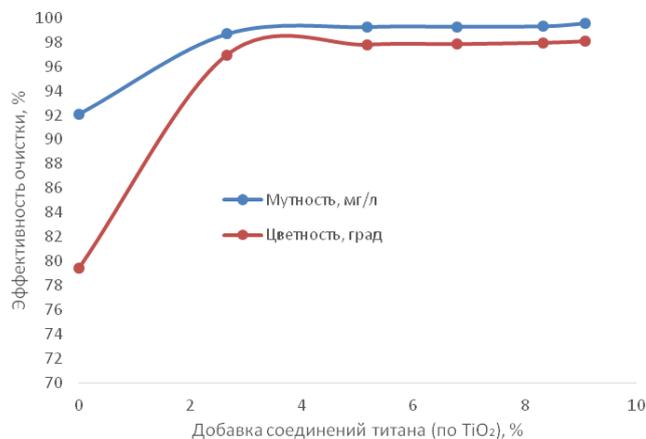


Рисунок 1. Влияние добавки тетрахлорида титана на эффективность очистки  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

Из данных диаграммы видно, что добавка соединений титана в количестве 2,5 % позволяет существенно увеличить эффективность очистки. Эффективность удаления взвешенных веществ достигла 99 %, в то время как эффективность снижения содержания растворенных органических соединений (показателя цветности) достигла 97 %, что согласуется с литературными источниками [4, 8].

#### Заключение

На основании полученных данных можно сделать вывод о высокой эффективности комплексного коагулянта в процессах очистки сточных вод спиртовой промышленности.

Установлены эффективные дозы сульфата алюминия (104 мг/л по  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) и тетрахлорида титана (28 мг/л по  $\text{TiO}_2$ ). Использование комплексного коагулянта на основе сульфата алюминия, модифицированного тетрахлоридом титана, позволило существенно повысить эффективность очистки воды. Установлено, что минимальная

добавка тетрахлорида титана к сульфату алюминия, необходимая для интенсификации процесса очистки, составляет 2,5 % масс. по  $\text{TiO}_2$ .

*Работа выполнена в рамках программы поддержки молодых ученых-преподавателей РХТУ им. Д.И. Менделеева (Заявка 3-2020-013.)*

#### Список литературы

1. Яковлев С.В., Карелин Я.А., Жуков А.И., Колобанов С.К. Канализация: учебник для вузов / 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1975. -632 с.
2. Бабенков Е.Д. Очистка воды коагулянтами. М.: "Наука", 1997. - 347 с.
3. Кручинина Н. Е., Кузин Е. Н., Азопков С. В. Использование коагулянтов на основе хлоридов титана и кремния в процессах очистки фильтрата полигона твердых коммунальных отходов // Химическая промышленность сегодня – Москва: Изд-во «Химпром сегодня», 2017. № 8. С. 36 – 40.
4. Кузин Е. Н., Кручинина Н. Е., Тяглова Я. В., Громовых П. С. Комплексные коагулянты в процессах очистки сточных вод молочной промышленности // Химия в интересах устойчивого развития 2020 № 5.
5. Шабанова Н.А., Попов В.В., Саркисов П.Д. Химия и технология нанодисперсных оксидов. Учебное пособие Текст // М.: ИКЦ «Академкнига». - 2007. -309 с.
6. T.-H. Wang , A. M. Navarrete-López , S. Li , D. A. Dixon , and J. L. Gole , “ Hydrolysis of  $\text{TiCl}_4$ : Initial steps in the production of  $\text{TiO}_2$ ,” J. Phys. Chem. A 114(28), 7561–7570 (2010).
7. Гетманцев С. В., Нечаев И. А., Гандурина Л. В. Очистка производственных сточных вод коагулянтами и флокулянтами. М.: «АСВ», 2008. 271 с.
8. Hussain, S., Awad, J., Sarkar, B. et al Coagulation of dissolved organic matter in surface water by novel titanium (III) chloride // Mechanistic surface chemical and spectroscopic characterisation. Separation and Purification Technology. –2019. № 213 – P. 213-223.

УДК 579.26

Астахов П.С., Мурзина Е.Д.

## ИССЛЕДОВАНИЕ БИОДЕГРАДАЦИИ ПЛАСТИКА ЛИЧИНКАМИ ВОСКОВОЙ МОЛИ

**Астахов Павел Сергеевич**, студент 3 курса бакалавра факультета биотехнологии и промышленной экологии; e-mail: [Pavel.astakhov99@mail.ru](mailto:Pavel.astakhov99@mail.ru)

**Мурзина Екатерина Дмитриевна**, кафедра промышленной экологии, к.т.н., ассистент

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия.

*В данной статье рассматривается получение микроорганизмов из личинок большой огнёвки. Приведены исследования по потреблению личинками моли различных видов пластика, таких как полиэтилен высокого и низкого давления, полипропилен, полистирол и поливинилхлорид. Изучается дальнейшее возможное использование микроорганизмов для биоразложения пластика.*

**Ключевые слова:** большая огнёвка, микроорганизмы, биоразложение пластика

## RESEARCH OF PLASTIC BIODEGRADATION BY WAX MOTH LARVAE

Astakhov Pavel Sergeevich, Murzina Ekaterina Dmitrievna

D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia.

*This article considers obtaining microorganisms from larvae of the Greater Wax Moth (Galleria Mellonella). A number of experiments on plastic such as HDPE, LDPE, PP, PS and PVC consumption by moth larvae were conducted and analysed. The article also deals with the possibility of using microorganisms for plastic biodegradation.*

**Keywords:** *Galleria Mellonella, microorganisms, plastic biodegradation*

В настоящее время пластик является одной из крупнейших проблем в мире. Многие учёные из разных стран мира ищут различные способы решения этой проблемы. И как это обычно бывает в науке, решение может прийти случайно.

Многие пчеловоды борются с паразитом ульев, известная как восковая моль. Пасечники стали замечать, что когда они собирают из поражённых улей вредителей, а именно личинок восковой моли, в обычные пакеты, то те, в свою очередь, начинают прогрызать эти пакеты, при этом не обязательно покидая его.

Учёные из Испании и Великобритании решили исследовать это явление. Личинки вида *Galleria Mellonella* оставили контактировать с полиэтиленовым пакетом. В ходе исследования выяснилось, что личинки способны активно потреблять полиэтилен. За 12 часов нахождения с полиэтиленом личинки моли прогрызли около 100 отверстий в пакете, на котором они находились [1].

Так же ранее сообщалось, что учёным из Китая удалось успешно выделить микроорганизмы из южной амбарной огнёвки, которые так же были способны поглощать полиэтилен. Полученные микроорганизмы были способны разлагать  $6,1 \pm$

$0,3\%$  и  $10,7 \pm 0,2\%$  100 мг полиэтилена в течение 60 дней [2]. Примечательно, что южная амбарная огнёвка и восковая моль принадлежат к одному семейству.

На основе исследований был поставлен эксперимент, целью которого являлось наблюдение: способны ли личинки длительное время потреблять полиэтилен и другие виды пластика. В ходе эксперимента около 50 личинок *Galleria Mellonella* оставили наедине с такими видами пластиков как:

- полиэтилен высокого давления (HDPE)
- полиэтилен низкого давления (LDPE)
- полипропилен (PP)
- полистирол (PS)
- поливинилхлорид (PVC)

Эксперимент продлился две недели, в ходе которого не было зафиксировано мёртвых личинок, которые погибли бы по различным причинам. Это позволяет предположить, что личинки могут успешно потреблять представленный спектр пластика без существенного вреда для здоровья.

Стоит отметить, что личинки активно потребляли пластики. Таким образом, уже через сутки на всех образцах пластика начали появляться характерные отверстия (Рис. 1).



**Рис 1. Характерные отверстия на следующих пластиках: полиэтилен высокого давления, полиэтилен низкого давления, полипропилен, полистирол и поливинилхлорид соответственно.**

В качестве дальнейшей части эксперимента было произведено исследование микрофлоры восковой моли. Были отобраны личинки, которые непосредственно принимали участие в предыдущей части эксперимента по потреблению пластика. Из каждой подгруппы было взято около 10 личинок, из которых получилось выделить различные микроорганизмы.

Предположительно полученные микроорганизмы используют в качестве субстрата поливинилхлорид и другие виды пластика. Принадлежность микроорганизмов к какому-либо виду, а также какие виды пластика и как быстро они

могут разлагать будет подробно исследовано в дальнейшей работе.

#### **Список литературы**

1. Bombelli P., Howe C. J., Bertocchini F. Polyethylene bio-degradation by caterpillars of the wax moth *Galleria mellonella* // *Current Biology*. — 2017. Vol. 27, № 8. — P. R292—R293.
2. Yang J., Yang Y., Wu W.M., Zhao J., Jiang L. Evidence of Polyethylene Biodegradation by Bacterial Strains from the Guts of Plastic-Eating Waxworms // *Environmental Science & Technology: journal*. — American Chemical Society. — 2014. Vol. 48, №. 23. — P. 13776—13784.

УДК 539.16: 663.12

Пхйю Мьинт У, Панфилов В.И., Кузнецов А.Е., Антропова И.Г., Фенин А.А.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭТАНОЛА НА ЧИСЛЕННОСТЬ ЖИЗНЕСПОСОБНЫХ КЛЕТОК ДРОЖЖЕЙ *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* ШТ. Т-985 ПРИ ДЕЙСТВИИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Пхйю Мьинт У, к.х.н., докторант кафедры биотехнологии;

e-mail: [phyomyintoo2502@gmail.com](mailto:phyomyintoo2502@gmail.com)

Панфилов Виктор Иванович, д.т.н., профессор кафедры биотехнологии;

Кузнецов Александр Евгеньевич, к.т.н., доцент кафедры биотехнологии;

Антропова Ирина Геннадьевна, к.х.н., доцент кафедры химии высоких энергий и радиоэкологии;

Фенин Анатолий Александрович, старший преподаватель кафедры химии высоких энергий и радиоэкологии.

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия.

*В работе исследована жизнеспособность клеток дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* до и после внесения этилового спирта в систему, а также зарегистрировано изменение доли мёртвых дрожжевых клеток *Saccharomyces cerevisiae* после воздействия рентгеновского излучения. Изменения жизнеспособности дрожжей наблюдали стандартным методом путем введения в систему красителя метиленового синего с последующим расчетом доли мёртвых клеток под микроскопом.*

**Ключевые слова:** дрожжевые клетки, *Saccharomyces cerevisiae*, микроскопия, этанол, рентгеновское излучение.

## INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ETHANOL CONCENTRATION ON THE NUMBER OF VIABLE YEAST CELLS *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* STRAIN. T-985 UNDER THE RADIATION EFFECT OF X-RAYS

Phyo Myint Oo, Panfilov Viktor I., Kuznetsov Alexander E., Antropova Irina G., Fenin Anatolii A.

D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia.

*In this work, we studied the viability of *Saccharomyces cerevisiae* yeast cells before and after the introduction of ethyl alcohol into the system, as well as change in the proportion of dead *Saccharomyces cerevisiae* yeast cells by the effect of different doses of X-ray radiation was registered. Changes in the viability of yeast were observed by a standard method by introducing a methylene blue dye into the system with further calculation of the proportion of dead cells under a microscope.*

**Keywords:** yeast cell, *Saccharomyces cerevisiae*, microscope, ethanol, X-ray.

Известно [1], что дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* - одни из наиболее изученных модельных организмов. Все виды ионизирующих излучений приводят к широким диапазонам биологических изменений в организме. Несмотря на то, что организм проявляет различные защитные реакции и некоторую устойчивость к ионизирующему излучению, ионизирующие лучи оказывают негативное влияние на живые организмы. Во многих экспериментах с рентгеновскими лучами микроорганизмы находятся во взвешенном состоянии в водном растворе во время облучения; следовательно, концентрация клеток может быть важной переменной величиной. Исследования в этих условиях также могут быть осложнены изменениями в суспендирующей среде во время облучения в результате метаболической активности, характер и величина которой будут варьироваться в зависимости от исследуемого вида. В общем, такие изменения будут пропорциональны численности клеток.

Этиловый спирт, образующийся при брожении, в повышенных концентрациях уменьшает активность дрожжей, а также присутствие спирта снижает и останавливает усвоение азотистых веществ [2]. Это одна из причин постепенного прекращения

брожения при определенном значении содержания спирта. Концентрация спирта, которая может блокировать ферментацию, зависит, в частности, от типа дрожжей. Влияние этанола на различные функции дрожжей было хорошо изучено. Добавление спирта в питательную среду приводит к удлинению латентной фазы, которая напрямую зависит от количества присутствующего спирта; экспоненциальная фаза роста удлиняется, а общий рост уменьшается. Цель настоящей работы - исследование жизнеспособности клеток дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* [3] в зависимости от дозы облучения в присутствии кислорода воздуха, а также исследование влияния добавок этанола на рост и жизнеспособность дрожжевых клеток в пост-радиационный период на фоне освещения клеток видимым светом.

Культивирование дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* Т-985 [4] проводили в аэробных условиях при перемешивании среды в колбах на термостатируемой качалке при 28°C, 150 оборотов/мин. Объем колб составлял 100 мл, объем простерилизованной среды в колбах – 50 мл. В зависимости от условий постановки эксперимента посевной материал составлял от 2 до 10% (объем.) Для сравнительной оценки использовали варианты

культивирования с дрожжами, последовательно адаптируемыми к внесению этилового спирта (EtOH) с освещением содержимого колб с уровнем световой освещенности на поверхности колб 750 Лк. Состав среды для культивирования дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*, г/л:  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  – 5,0;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  – 1,0; KCl – 0,15;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0,2; дрожжевой экстракт – 0,5; сахара – 30; вода отфильтрованная, pH 5,8. Облучение растворов проведено с использованием рентгеновской установки Model-КАЛАН 4 в ИМСЭН-ИФХ РХТУ им. Д.И. Менделеева, мощность поглощенной дозы по дозиметру Фрикке равна 3 Гр/с [5].

В процессе пассирования и адаптации к этанолу проводили два параллельных варианта по 2 колбы в каждом варианте: вариант 1 – контроль без внесения EtOH и вариант 2 – с внесением EtOH на 18–19 час культивирования в количестве 15 г/л. В конце процесса культивирования отбирались аликвоты дрожжевой суспензии, переносились в стеклянные пробирки объемом по 1,5 мл и добавлялось по 1,5 мл воды в пробирку, затем через 30 минут их облучали в дозах до 1.6 кГр. После облучения все образцы хранили в условиях освещения пробирок видимым светом.

За изменением жизнеспособности дрожжей наблюдали стандартным методом [6] путем введения в систему красителя метиленового синего с дальнейшим подсчетом доли мертвых клеток под микроскопом.

При облучении дрожжевых клеток в дозах 30 Гр, 75 Гр и 150 Гр наблюдалась высокая жизнеспособность дрожжевых клеток к действию рентгеновского облучения сразу после облучения и при последующем выдерживании дрожжевой суспензии на свету с уровнем освещенности 750 Лк.

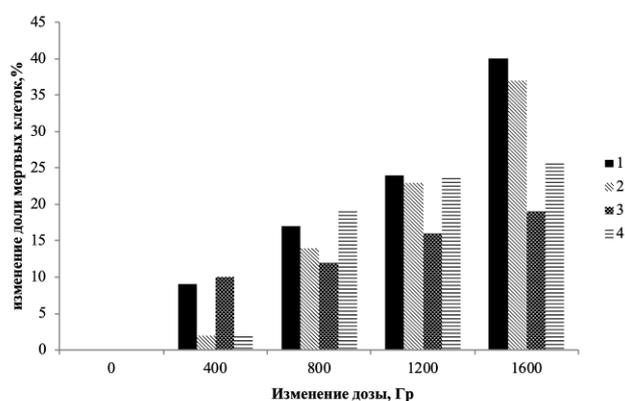


Рис. Изменения доли мёртвых дрожжевых клеток в зависимости от дозы и времени после облучения (измерения непосредственно после облучения и через 24 часа после облучения, 1 - контроль, 2 - с этанолом, 3 - контроль через 24 часа после облучения, 4 - с этанолом через 24 часа после облучения)

Следовательно, воздействие ионизирующего излучения до дозы 150 Гр не влияет на жизнеспособность дрожжевых клеток при наших условиях эксперимента. При дозах выше 150 Гр зарегистрировано инактивирование дрожжевых клеток с постепенным увеличением доли мертвых клеток при дальнейшем воздействии ионизирующего излучения на системы. В этих условиях доля мёртвых клеток в варианте с внесением этанола по сравнению с вариантом без его внесения выше и растет с увеличением дозы облучения. Доля мёртвых клеток в пост-радиационный период (при облучении с 400 Гр до 800 Гр) мало отличались (в пределах нескольких %) от доли клеток, измеренной непосредственно после облучения как для варианта с внесением этанола, так и без его внесения. Полученные результаты свидетельствуют, что дрожжевые клетки с внесением EtOH в использованных концентрациях менее устойчивы к облучению по сравнению с контролем; существенных изменений в доле живых клеток не наблюдается в пост-радиационный период по сравнению с измерением, проведенным непосредственно после облучения, т.е. фактор времени измерения, прошедшего после облучения, менее существенен по сравнению с другими факторами. Клетки, пережившие облучение в условиях эксперимента (с освещением среды с дрожжевыми клетками видимым светом), остаются жизнеспособными в течение достаточно длительного периода.

#### Список литературы

1. Молекулярная генетика дрожжей сахаромикетов [электронный ресурс], режим доступа: <https://docplayer.ru/54118081-S-v-buryachenko-molekulyarnaya-genetika-drozhzhey-saharomicetov.html> (дата обращения 28.4.2020)
2. Влияние спирта на активность дрожжей [электронный ресурс], режим доступа: [http://filimonov.vladimir.ru/samogon/stat/7\\_1.php](http://filimonov.vladimir.ru/samogon/stat/7_1.php) (дата обращения 27.4.2020).
3. Gunter S.E., Kohn H.I. Effect of X-rays on the survival of bacteria and yeast // Journal of bacteriology, 1956. Vol. 72, P. 422-428.
4. Патент РФ № 2394098. Способ культивирования дрожжей для спиртового производства.
5. Пхйю Мьинт У. Реакционная способность донника, багульника, муррайи и некоторых кумаринов в их составе. Дисс. на соис. учен. степени к.хим.н. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2018. – 145 с.
6. Калёнов С. В. Культивирование дрожжей и галобактерий в условиях контролируемого окислительного стресса. Дисс. на соис. учен. степени к.т.н. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2007. – 197 с.

УДК 632.937.1.04+632.981.32

Ривера Сидорова И., Бехбудзада Н.Б., Журавлёва А.С., Шагаев А.А.; Марквичёв Н.С.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ *TRICHODERMA VIRIDE* И *FUSARIUM OXYSPORUM* НА РАННИХ ЭТАПАХ ПРОРОСТАНИЯ СПОР

Ривера Сидорова Ирина, магистр 1-го курса факультета биотехнологии и промышленной экологии, e-mail: irinarivera3@gmail.com

Бехбудзада Нурлан Башир-оглы, аспирант 3-го курса факультета биотехнологии и промышленной экологии;

Журавлёва Александра Сергеева, студентка 4-го курса факультета биотехнологии и промышленной экологии;

Шагаев Антон Александрович, аспирант 2-го курса факультета биотехнологии и промышленной экологии;

Марквичёв Николай Семёнович, к.т.н., доцент кафедры биотехнологии;

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия

125480, Москва, ул. Героев Панфиловцев, д. 20

*В условиях современного растениеводства предобработка семян сельскохозяйственных культур очень важна. В настоящее время обработку семян проводят химическими фунгицидами, что приводит к различным негативным последствиям. Целью работы было изучение возможности применения *Trichoderma viride* в качестве фунгицидного агента при обработке семян. В статье изучено взаимодействие *Trichoderma viride* и *Fusarium oxysporum* при прорастании спор на разных питательных средах. Показано, что использование *Trichoderma viride* в качестве фунгицидного агента вполне оправданно. Наблюдается антагонистическое действие *T. viride* на *F. oxysporum* на самых ранних этапах прорастания спор.*

**Ключевые слова:** Фунгицид, *Trichoderma viride*, *Fusarium oxysporum*, прорастание спор, обработка семян

## STUDY OF THE INTERACTION OF *TRICHODERMA VIRIDE* AND *FUSARIUM OXYSPORUM* IN THE EARLY STAGES OF SPORE GERMINATION.

Rivera Sidorova Irina, Behbudzada Nurlan Bashir-ogly, Zhuravleva Aleksandra Sergeevna, Shagaev Anton Aleksandrovich, Markvichev Nikolay Semenovich.

D.I. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia.

*In modern crop production, seed pre-treatment of crops is very important. Currently, seed treatment is carried out with chemical fungicides, which leads to various negative consequences. The aim of the work was to study the possibility of using *Trichoderma viride* as a fungicidal agent in seed treatment. In the article was studied the interaction of *Trichoderma viride* and *Fusarium oxysporum* during the germination of their spores at early stages in different culture media. It was shown that the use of *Trichoderma viride* as a fungicidal agent is justified. The antagonistic effect of *T. viride* on *F. oxysporum* is observed at the earliest stages of the spore's germination*

**Key words:** Fungicide, *Trichoderma viride*, *Fusarium oxysporum*, spore germination, seed treatment

Пестициды широко используются в сельском хозяйстве для улучшения урожая и качества продуктов, для борьбы против вредителей такие как бактерии, грибы, паразиты, насекомых и фитопатогенных микроорганизмов.

Несмотря на потенциальную токсичность пестицидов для продуктов и даже здоровье человека, их использование является необходимостью чтобы сохранить урожаи и стандарты качества продуктов. Однако их неограниченное применение может влиять негативно на окружающую среду, они могут накапливаться на почве, на воде, а также могут передаваться через пыль и накопиться в тканях животных и растениях [1].

Учитывая ограничения с ростом населения мира и изменение климата, растет интерес к развитию сельскохозяйственных практик в сочетании с другими инструментами (например, обработка семян), которые могут уменьшить использование агрохимикатов и одновременно улучшить качество и безопасность продуктов [2]. В основном, производители предпочитают обработку семян, которая проста в использовании и может защитить урожай от биотических (например, фитопатогенов) и абиотического стресса (например,

засуха). В последнее время, обработка семян микроорганизмами считается недорогой и эффективной технологией для эффективного растениеводства. Кроме того, нынешний сельскохозяйственный оборудование может высаживать однородные (по размеру и форме) семена с покрытием более равномерно, а также лучше контролировать плотность посадки [3].

Агенты биологического контроля используются в сельском хозяйстве для борьбы с вредителями такими как насекомые, бактерии, грибы и других фитопатогенные микроорганизмы.

Биологический контроль патогенов стал неотъемлемым компонентом борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур.

Одним из самых известных и эффективных агентов биологического контроля является *Trichoderma viride*.

Большое количество исследований посвящено взаимодействию *Trichoderma viride* с фитопатогенными формами микроорганизмов. Многие виды *Trichoderma* используются как средства биоконтроля против множества патогенных микроорганизмов растений. Род привлек значительное научное внимание и приобрели

огромное значение в последние несколько десятилетий благодаря его способности противостоять фитопатогенным микроорганизмам.

Существуют различные механизмы, с помощью которых *Trichoderma* может бороться с болезнями растений, такие как конкуренция с возбудителями за место и питательные вещества, микопаразитизм, антагонизм к патогенам, а также способностью индуцировать собственную защиту растения [4].

Для полноценного понимания механизмов взаимодействия микроорганизмов важно понимать проявляется ли антагонистическая активность на этапе прорастания спор.

Для этого было необходимо изучить развитие и взаимодействие спор *Trichoderma viride* и *Fusarium oxysporum* на богатой питательной среде Чапека и на среде содержащей модели экссудатов,

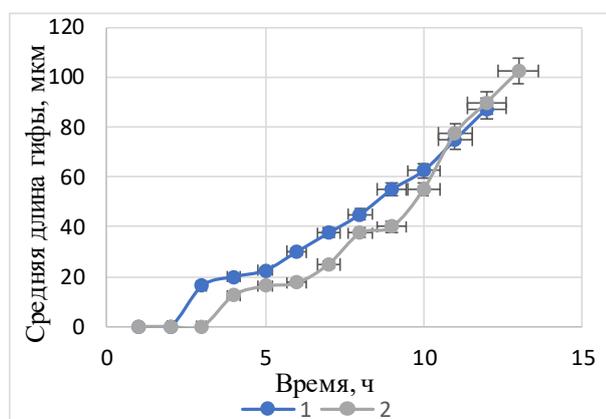


Рисунок 1. Изменение средней длины гиф *F.oxysporum* при культивировании на питательной среде Чапека(1), и на среде содержащей экссудаты (2).

Из рис.1 видно то, что рост *F.oxysporum* начинается на третьем часу на питательной среде Чапека и на среде содержащей модели экссудатов, то есть, нет различия между временем прорастания микроорганизма.

Прорастания *Trichoderma viride* как видно в рис.2, начинается на 12 часу на питательной среде Чапека, а на среде модели экссудатов споры проросли с небольшим отставанием.

Увеличенное время прорастания спор *Trichoderma viride* на среде моделирующей экссудаты возможно связано с нехваткой питательных веществ которые находятся в модели экссудатов. На среде Чапека, микроорганизм имеет все необходимые макро и микроэлементы, а на среде модели экссудатов, содержит меньшее количество питательных веществ. В природных условиях, единственным источником различных питательных веществ для микроорганизмов являются экссудаты, которые выделяются постоянно, поэтому, изучение развития и свойства спор, изучаемых культур, следует проводить на средах, которые содержат модели экссудатов. В прикорневой зоне находятся

для этого использовали метод проращивания спор на «слайдах».

Метод «слайдов» основан на нанесение в виде суспензий спор с концентрацией  $10^7$  КОЕ/мл и объемом 0,2 мл, на стерильное стекло с агаризованной питательной средой Чапека и на среде содержащей модели экссудатов с составом: 0,1 г/л – лимонной кислоты; 0,1 г/л – дрожжевой экстракт; 0,1 г/л – янтарная кислота [5]. После чего, получившиеся препараты микроскопировали сразу и определяли начальные размеры спор данных микроорганизмов с помощью окуляр-микрометра, далее препараты, помещали во «влажные камеры» и термостатировали при температуре 28°C. Препараты микроскопировали каждый час в течении 18 часов. Результаты развития спор *Trichoderma viride* и *Fusarium oxysporum* представлены на рисунках 1,2 [6].

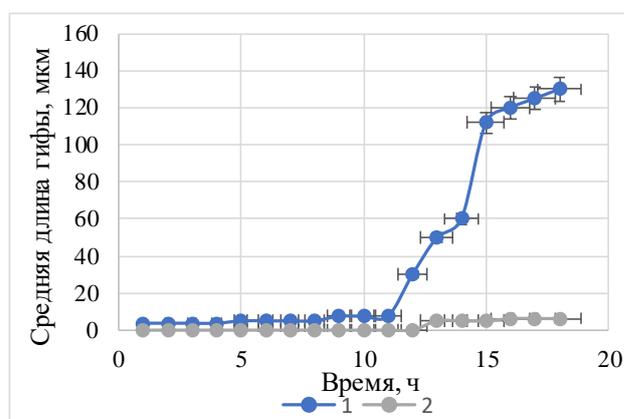


Рисунок 2. Изменение средней длины гиф *T.viride* при культивировании на питательной среде Чапека(1), и на среде содержащей экссудаты (2).

различные микроорганизмы, которые могут взаимодействовать между с собой, поэтому, необходимо понимать как на начальных этапах, споры изучаемых микроорганизмов, взаимодействуют между с собой.

В связи с этим, следующей задачей было исследование времени прорастания спор при одновременном внесении двух микроорганизмов на агаризованную питательную среду Чапека и среду, содержащую модель экссудатов, а также при внесении спор *F.oxysporum* после прорастания спор *T.viride*. Необходимо было понять как будут себя вести данные микроорганизмы и если есть различие между временем прорастания спор при их внесении одновременно, и при внесении спор *F.oxysporum* к проросшим спорам *T.viride*.

При одновременном внесении, суспензию спор данных микроорганизмов, вносили одновременно на стерильное стекло с агаризованной средой Чапека и на модели экссудатов. После чего микроскопировали сразу, а далее каждый час.

При внесении спор *F.oxysporum* на проросшие споры *T.viride*, *T.viride* оставляли

прорасти до того момента, когда начались появляться гифы, то есть, на 12 часу на питательной среде Чапека и на 13 часу на

среде содержащей модели экссудатов, после чего, наносили суспензию спор *Fusarium oxysporum*,

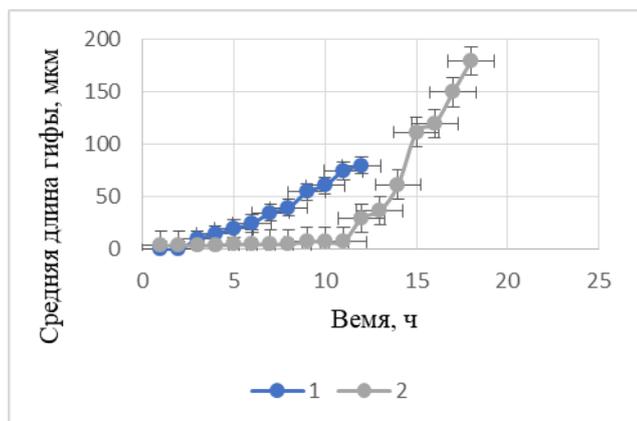


Рисунок 3. При одновременном внесении спор: изменение средней длины гиф *F.oxysporum* (1) и *T. Viride* (2) в модели экссудатов

На рисунке 3, видно то что, при одновременном культивировании, время прорастания спор *F.oxysporum* не меняется в модели экссудатов, то есть, рост спор начинается на третьем часу, также как на эксперименте при отдельном культивировании, также происходит с спорами *T.viride* при одновременном культивировании с *F.oxysporum*, начинают свой рост на 12 часу. Однако, средняя длина гиф *F.oxysporum* после 12 часа (начала прорастания спор *T.viride*) составляет 60 мкм на среде экссудатов, что значительно меньше средней длины гиф при индивидуальном культивировании. Это может быть связано с тем, что при одновременном культивировании спор *F.oxysporum* с спорами *T.viride* происходит подавление *F.oxysporum* после того как споры *T.viride* прорастают.

Из рисунка 4, видно то что, время прорастания спор у *F.oxysporum* на среде модели экссудатов, начинается как на контроле, на 3 часу. Однако, развитие гиф замедляется более заметно.

Возобновление интереса к биологическому контролю с использованием *Trichoderma viride*, отвечает обеспечению экологической устойчивости и продуктивного и устойчивого сельского хозяйства путем применения принципов экологии к борьбе с болезнями.

Это вероятно связано с тем, что при внесении спор *F.oxysporum* к проросшим спорам *Trichoderma viride*, *Trichoderma viride* ведет активную борьбу за субстрат, а также проявляет антагонистическую активность на стадии прорастания спор.

Полученные на данной стадии исследований результаты позволили убедиться в том, что

а дальше микроскопировали каждый час чтобы наблюдать их взаимодействие.

Результаты исследования, представлены на рисунке 3, 4.

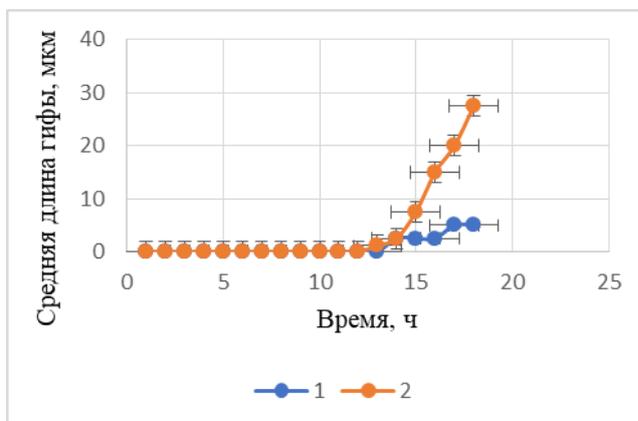


Рисунок 4. При внесении *F.oxysporum* после прорастания спор *T. Viride*: изменение средней длины гиф *F. oxysporum* (1) и *T.viride* (2) на модели экссудатов.

*Trichoderma viride* проявляет антагонистические свойства даже при прорастании спор.

#### Список литературы

1. Noyes P. D. et al. The toxicology of climate change: environmental contaminants in a warming world //Environment international. – 2009. – Т. 35. – №. 6. – С. 971-986.
2. Hazra D. K., Patanjali P. K. Seed coating formulation technologies: an environmental biology friendly approaches for sustainable agriculture //Bioscience Methods. – 2016. – Т. 7. – №. 5.
3. Rocha I. et al. Seed coating with inocula of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria for nutritional enhancement of maize under different fertilisation regimes //Archives of Agronomy and Soil Science. – 2019. – Т. 65. – №. 1. – С. 31-43.
4. Harman G. E. et al. Interactions between *Trichoderma harzianum* strain T22 and maize inbred line Mo17 and effects of these interactions on diseases caused by *Pythium ultimum* and *Colletotrichum graminicola* //Phytopathology. – 2004. – Т. 94. – №. 2. – С. 147-153.
5. Исследование роста *trichoderma viride* и *fusarium oxysporum* на твёрдых микробиологических средах, содержащих экссудаты растений огурца / А. А. Шагаев, В. В. Соколова, А. А. Самородова и др. // Успехи в химии и химической технологии. — 2016. — Т. 30, № 9. — С. 39–41.
6. Ривера Сидорова И. Исследование возможности применения метода биологической протравки семян для снижения фунгицидной нагрузки: диплом. работа. РХТУ им. Менделеева, 2019

УДК 623.19.47

Романова Е.Е., Мурзина Е.Д.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ  $\text{CaCO}_3$  ДЛЯ ОЧИСТКИ АКТИВНОГО ИЛА ОТ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Романова Елизавета Евгеньевна, студентка 4 курса факультета биотехнологии и промышленной экологии;  
e-mail: [varley1287@gmail.com](mailto:varley1287@gmail.com)

Мурзина Екатерина Дмитриевна, к. т. н., ассистент кафедры промышленной экологии

*В данной статье освещаются общие вопросы утилизации активного ила. Рассмотрен метод очистки активного ила от тяжёлых металлов путём введения кальцийсодержащих реагентов.*

**Ключевые слова:** очистка активного ила, утилизация активного ила, тяжёлые металлы.

RESEARCH ON THE USE OF  $\text{CaCO}_3$  FOR CLEANING ACTIVATED SLUDGE FROM HEAVY METALS

Romanova Elizaveta Evgenievna, Murzina Ekaterina Dmitrievna

*This article covers general issues of activated sludge utilization. A method for cleaning activated sludge from heavy metals by introducing calcium-containing reagents is considered.*

**Key words:** purification of the activated sludge, waste activated sludge, heavy metals.

Очистка сточных вод является многостадийным процессом, представляющий собой механическую, биологическую очистку, доочистку и обеззараживание. Один из самых важных этапов является биологическая очистка, которая может быть аэробной и анаэробной. Недостатком биологической очистки сточных вод является образование большой массы активного ила, представляющий собой биоценоз, состоящий из бактерий, грибов, простейших, который нужно утилизировать. Как правило, ил (обезвоженный) просто складировать на иловых площадках.

Существуют множество методов обработки, обеззараживания, рекуперации ила, но несмотря на это проблема остаётся нерешённой.

Из-за содержания в иле, фосфора, азота, углерода, микроэлементов его можно использовать в качестве органо-минерального удобрения, однако необходима предварительная обработка [1, 2].

В настоящее время перспективным способом очистки ила от тяжёлых металлов является внесение в него кальцийсодержащих нерастворимых соединений, использование которых снижало концентрацию тяжёлых металлов и позволяло при

этом сохранять ценное органическое вещество, что важно для использования ила в качестве удобрения [3, 4].

Нами был проведён анализ проб активного ила Люберецких очистных сооружений, отобранных в марте и апреле, на содержание тяжёлых металлов атомно-эмиссионным методом (табл. 1).

Исходя из полученных данных, содержание тяжёлых металлов не превышает предельно допустимых значений ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 и эти пробы можно использовать как органо-минеральное удобрение.

При превышении допустимых концентраций тяжёлых металлов применяется метод очистки путём введения нерастворимых кальцийсодержащих соединений. Нами было проведено исследование, где в две пробы иловой суспензии, отобранные в марте и апреле, ввели кальцийсодержащий реагент ( $\text{CaCO}_3$ ) в количестве 0,5 г на 100 мл иловой суспензии. Смесь перемешивали магнитной мешалкой и аэрировали воздухом в течение 3 часов при комнатной температуре. До и после детоксикации проводился анализ содержания тяжёлых металлов атомно-эмиссионным методом (рис. 1).

Таблица 1. Содержание тяжёлых металлов до и после обработки  $\text{CaCO}_3$

ТМ	Месяц отбора пробы	Содержание ТМ в активном иле, мг/кг		Допустимое валовое содержание тм, мг/кг (ГОСТ Р 17.4.3.07-2001)	
		Март	Апрель	Март	Апрель
Cd		0,35±0,03	0,33±0,02	15	30
Ni		52,25±3,91	54,33±4,08	200	400
Cr		99,44±27,46	153,67±11,53	500	1000
Zn		249,45±18,71	431,87±32,39	1750	3500
Cu		126,54±9,49	318,57±23,89	750	1500
Hg		<0,1	<0,1	7,5	15
As		3,91±0,29	3,42±0,26	10	20
Pb		21,65±1,62	18,36±1,38	250	500

Данный метод очистки не только сохраняет органическое вещество, но и позволяет повысить качество очистки ила, что положительно скажется на качестве окружающей среды и превратит ил из источника загрязнения в ценный продукт.

Обработанный ил можно в дальнейшем можно подвергать исследованиям в целях его использования в качестве органо-минерального удобрения.

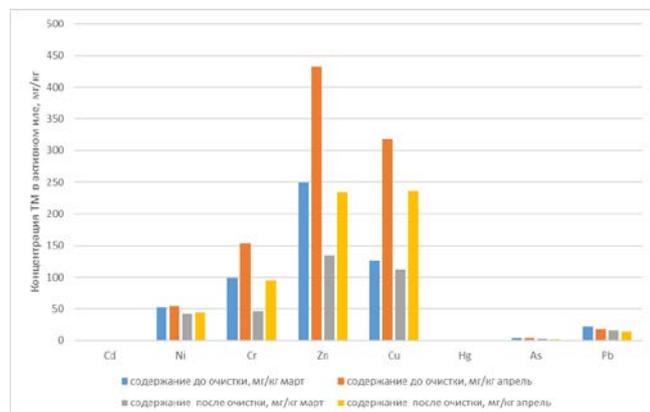


Рис. 1. Концентрация тяжелых металлов в активном иле до и после очистки

## Список литературы

1. Солодкова А. Б. Обезвреживание отработанного активного ила с получением материалов для решения экологических проблем химических и нефтехимических предприятий: Дисс. ... канд. техн. наук. – Казань, 2014. 160 с.
2. Родионов, А. И. Технологические процессы экологической безопасности (основы энвайронменталистики) / А. И. Родионов, В. Н. Клушин, В. Г. Систер. - 4-е изд., перераб. и доп. - Калуга : Изд-во Н.Бочкаревой, 2007. – С.394-481.
3. Горелова О. М., Титова К. Ю. Исследования по утилизации избыточного активного ила // Ползуновский вестник. – Т. 1. - № 4. – 2015. – С. 15-23.
4. Зыкова, И.В. Обезвреживание избыточного активного ила и осадков сточных вод от тяжелых металлов: автореф. д-ра хим. наук [Текст] / И.В. Зыкова // ГОУ ВПО Санкт-Петерб. гос. Универ. технологии и дизайна. – СПб. 2008. - 32 с.

УДК 577.15:579.22

Романова М.В., Белодед А.В.

## ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ И БИОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРМОФИЛЬНОГО ШТАММА-ПРОДУЦЕНТА ВНЕКЛЕТОЧНЫХ ПРОТЕАЗ *BACILLUS VELEZENSIS*

**Романова Мария Васильевна**, студентка 1 курса магистратуры факультета биотехнологии и промышленной экологии, email: [romanovamariav@gmail.com](mailto:romanovamariav@gmail.com);

**Белодед Андрей Васильевич**, к.б.н., доцент кафедры биотехнологии;

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия  
125480, Москва, ул. Героев Панфиловцев, д. 20

*В работе были изучены физиологические и биохимические свойства термофильного штамма *Bacillus velezensis*, который ранее был охарактеризован как перспективный продуцент термостабильных внеклеточных протеаз. На основании способности утилизировать различные углеводы и анализа внеклеточных ферментативных активностей были сделаны выводы о возможности использования разнообразных субстратов для культивирования. Помимо протеолитических ферментов штамм способен продуцировать также внеклеточные амилазы и целлюлазы, которые потенциально могут быть выделены и охарактеризованы.*

**Ключевые слова:** термофильные бактерии; *Bacillus velezensis*; источник углерода; ферментативная активность.

## PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THERMOPHILIC PRODUCER STRAIN OF EXTRACELLULAR PROTEASE *BACILLUS VELEZENSIS*

Romanova M.V., Beloded A.V.

D.I. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia.

*In this work the physiological and biochemical properties of thermophilic strain *Bacillus velezensis* were studied. Strain was previously determined as promising producer of thermostable extracellular proteases. Based on ability assessment of various carbohydrates utilization and analysis of enzymatic activities the conclusions were made about ability to use diverse substrates for cultivation. Besides proteolytic enzymes the strain is able to produce extracellular amylases and cellulases which could potentially be isolated and characterized.*

**Kew words:** thermophilic bacteria; *Bacillus velezensis*; carbon sources; enzyme activity.

В настоящее время большое внимание в биотехнологии привлекают термофильные микроорганизмы. Ускоренный метаболизм, высокая продуктивность и наличие уникальных метаболических путей позволяют получать различные продукты: органические кислоты, белки, ферменты [1, 2]. Термостабильные ферменты, как правило, обладают устойчивостью не только к повышенным температурам, но и к экстремальным значениям pH. Некоторые из ферментов характеризуются стабильностью в присутствии органических растворителей, окислителей и поверхностно-активных веществ [3]. Бактерии рода *Bacillus* являются продуцентами различных соединений, в том числе внеклеточных гидролитических ферментов, среди которых встречаются протеазы, амилазы, целлюлазы, ксиланазы, липазы и другие [4]. Изучение биохимических и физиологических особенностей штамма-продуцента является необходимым для выбора способов культивирования. Способность к утилизации различных моно- и олигосахаридов делает возможным использование как отдельных углеводов, так и углеводсодержащих гидролизатов растительного сырья в качестве субстрата [5]. Наличие секретлируемых ферментов позволяет использовать штамм для их получения, а также

должно быть учтено при разработке состава питательной среды для биосинтеза других метаболитов.

Целью данной работы являлась биохимическая и физиологическая характеристика штамма термофильных бактерий, оценка способности потреблять различные углеводные субстраты и анализ внеклеточных гидролитических активностей.

Ранее нами был выделен штамм термофильных бактерий Кб.1.Гл.8, который был охарактеризован как перспективный продуцент протеолитических ферментов и предварительно отнесен к роду *Bacillus*. По результатам анализа нуклеотидной последовательности гена 16S рРНК штамм был идентифицирован как *Bacillus velezensis*.

Для дальнейшей характеристики штамма изучали способность утилизировать различные углеводы и проверяли наличие внеклеточных гидролитических ферментов. В анализе использовались различные моно- и олигосахариды: арабиноза, ксилоза, глюкоза, фруктоза, галактоза, манноза, дульцит, маннит, рамноза, сорбоза, мальтоза, сахароза, лактоза и раффиноза. Штамм культивировали в течение суток при 50°C на средах следующего состава (г/л):

триптон – 10, углевод – 10, дрожжевой экстракт – 1, NaCl – 5, феноловый красный – 0,018. Изменение цвета индикатора в среде свидетельствовало о наличии или отсутствии утилизации сахара.

Обнаружение внеклеточных гидролитических активностей проводили на агаризованных средах, содержащих различные субстраты и позволяющих визуально определить зоны гидролиза (рис. 1). Амилазную и целлюлазную активности выявляли на агаризованных средах, содержащих 1% крахмала и 1% карбоксиметилцеллюлозы соответственно, при окрашивании чашек йодным раствором после появления колоний микроорганизмов. Появление желтых зон на синем фоне среды указывало на наличие внеклеточных амилаз, светло-коричневых зон на коричневом фоне среды – внеклеточных целлюлаз. Липазную активность определяли методом лунок в агаре на средах, содержащих 1% оливкового масла и Tween-80. Способность к гидролизу указанных субстратов отмечали при образовании нерастворимых солей жирных кислот вокруг лунок на агаре с твином и одновременном пожелтении индикатора в среде и образовании нерастворимых солей вокруг лунок на агаре с феноловым красным и оливковым маслом. Для обнаружения лецитиназной активности штаммы высевали на желточный агар. Гидролиз лецитина отмечали при образовании белого непрозрачного слоя нерастворимых диацилглицеридов. Протеолитическую активность определяли по зонам просветления вокруг колоний, выросших на молочном агаре.

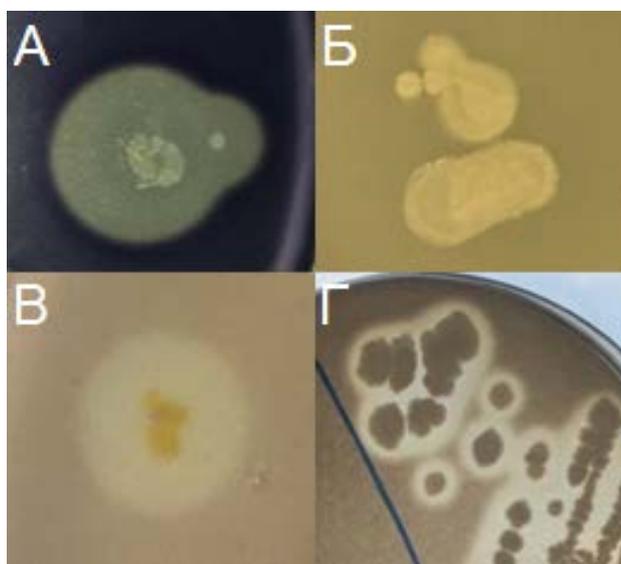


Рисунок 1. Тесты на ферментативную активность штамма *Bacillus velezensis* Кб.1.Гл.8: А – амилазная активность, Б – лецитиназная активность (отсутствует), В – целлюлазная активность, Г – протеолитическая активность

Полученные результаты тестов сопоставили с характеристикой родственных *Bacillus velezensis* штаммов *B. subtilis* и *B. amyloliquefaciens* с использованием справочника Берджи[6].

Сравнительная характеристика указанных штаммов приведена в табл. 1.

Таблица 1. Физиолого-биохимическая характеристика исследуемого штамма *Bacillus velezensis* в сравнении с родственными видами р. *Bacillus*. «+» - положительный результат, «-» - отрицательный результат, «v» - результат варьируется у разных штаммов одного вида

Характеристика	<i>Bacillus velezensis</i> Кб.1.Гл.8	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>
Первичная физиолого-биохимическая характеристика			
Форма клеток	Палочки	Палочки	Палочки
Спорообразование	+	+	+
Аэробный рост	+	+	+
Каталаза	+	+	+
Уреаза	+	v	v
Разжижение желатина	+	+	+
Потребление моно- и олигосахаридов			
L-Арабиноза	+	+	v
D-Ксилоза	+	+	v
Глюкоза	+	+	+
Сорбоза	-	-	-
Рамноза	-	-	-
Фруктоза	+	+	+
D-Галактоза	-	v	v
Дульцит	-	-	-
D-Манноза	+	+	v
D-Маннит	+	+	+
Сахароза	+	+	+
Мальтоза	+	+	+
Лактоза	-	v	v
Раффиноза	-	+	+
Внеклеточные ферментативные активности			
Гидролиз казеина	+	+	+
Гидролиз крахмала	+	+	+
Гидролиз КМЦ	+	+	+
Гидролиз Tween-80	-	v	v
Гидролиз оливкового масла	-	v	v
Лецитиназа	-	-	-

По результатам работы была составлена расширенная физиолого-биохимическая характеристика термофильного штамма Кб.1.Гл.8, которая подтвердила его сходство с близкородственными штаммами бактерий рода *Bacillus*. В ходе исследований было установлено, что исследуемый штамм *Bacillus velezensis* способен потреблять различные моносахариды (арабинозу, ксилозу, глюкозу, фруктозу, маннозу, маннит) и

некоторые дисахариды (сахарозу, мальтозу). Результаты проведенных тестов можно использовать при разработке состава питательной среды. Штамм является продуцентом потенциально термостабильных внеклеточных амилолитических и целлюлолитических ферментов.

#### Список литературы

1. Kamran A., Ur Rehman H., Ul Qader S., Baloch A. H., Kamal M. Purification and characterization of thiol-dependent, oxidation-stable serine alkaline protease from thermophilic *Bacillus* sp. // Journal of Genetic Engineering and Biotechnology. 2015. Vol. 13. № 1. P. 59-64.
2. Gerday C., Glansdorff N. Physiology and Biochemistry of Extremophiles // edited by C. Gerday and N. Glansdorff. ASM Press. Washington, DC. 2007. 450 p.
3. Banerjee G., Ray A. Impact of microbial proteases on biotechnological industries // Biotechnology and Genetic Engineering Reviews. 2017. Vol. 33. № 2. P. 119-143.
4. Thebti W., Riahi Y., Gharsalli R. et al. Screening and characterization of thermo-active enzymes of biotechnological interest produced by thermophilic *Bacillus* isolated from hot springs in Tunisia // Acta Biochimica Polonica. 2016. Vol. 63. № 3. P. 581–587.
5. Wang, Y., Cao, W., Luo, J. et al. Exploring the potential of lactic acid production from lignocellulosic hydrolysates with various ratios of hexose versus pentose by *Bacillus coagulans* IPE22 // Bioresource Technology. 2015.
6. Bergey's Manual of Systematic Bacteriology: Volume 3: The Firmicutes // edited by Vos, P., Garrity, G., Jones, D. et al. Springer Science & Business Media. New York. 2009. 1450 p.

УДК 661.183.2

Со Вин Мьинт, Зин Мое, Нистратов А.В., Клушин В.Н.

## АДСОРБЦИОННОАКТИВНЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ И ОБОЛОЧЕК СЕМЯН МАНГО

Со Вин Мьинт, докторант кафедры промышленной экологии;

e-mail: [sawwinmyint86@gmail.com](mailto:sawwinmyint86@gmail.com)

Зин Мое, аспирант кафедры промышленной экологии;

Нистратов Алексей Викторович, к.т.н., доцент кафедры промышленной экологии;

Клушин Виталий Николаевич, д.т.н., профессор кафедры промышленной экологии, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия.

*Охарактеризованы образующиеся в Мьянме отходы очистки зерна риса (рисовой шелухи - РШ) и переработки плодов одной из важнейших разновидностей выращиваемых фруктов (оболочек семян манго - ОСМ). Отмечена принципиальная возможность использования подобных отходов для получения углеродных адсорбентов. Выявлены рациональные условия пиролиза отходов и активации полученных карбонизатов водяным паром. Анализом свойств целевых продуктов установлено их сравнительно невысокое качество, как адсорбентов. Обработкой карбонизата РШ щелочью получен углеродный остаток, химическая активация которого с  $ZnCl_2$ , как и таковая ОСМ, обеспечивает получение углеродных адсорбентов существенно более высокого качества. Приведены оптимальные условия реализации названных операций и технические показатели их целевых продуктов.*

**Ключевые слова:** отходы пищевых производств Мьянмы, рисовая шелуха, оболочки семян манго, пиролиз, активация водяным паром, сепарация кремния из карбонизата рисовой шелухи его обработкой щелочью, химическая активация целевого продукта сепарации и оболочек семян манго хлоридом цинка, свойства полученных адсорбентов

## ADSORPTIONALLY ACTIVE DERIVATIVES OF RICE HUSK AND MANGO SEED SHELLS

Saw Win Myint, Zin Moe, Nistratov Alexey Viktorovich, Klushin Vitaly Nikolaevich.

D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia.

*The wastes generated in Myanmar for cleaning rice grains (rice husk - RH) and processing fruits of one of the most important varieties of cultivated fruits (shells of mango seeds - SM) are characterized. The fundamental possibility of using such waste to produce carbon adsorbents is noted. Rational conditions for the pyrolysis of wastes and activation of the resulting carbonizates with water vapor were revealed. An analysis of the properties of the target products revealed their relatively low quality as adsorbents. Processing alkaline carbonate of RH with alkali yielded a carbon residue, the chemical activation of which with  $ZnCl_2$ , as well as that of SM, provides carbon adsorbents of substantially higher quality. The optimal conditions for the implementation of these operations and the technical indicators of their target products are given.*

**Keywords:** waste products from Myanmar food production, rice husk, shells of mango seeds, pyrolysis, steam activation, silicon separation from rice husk carbonizate by alkali treatment, chemical activation of the target product of separation and shells of mango seeds with zinc chloride, properties of the obtained adsorbents .

Согласно имеющимся прогнозам [1], производство риса в Бирме (ныне называемой Республикой Союз Мьянма) в 2019/2020 г. увеличится в связи с привлекательными ценами на него, ожиданиями благоприятной погоды и расширением фермерами посевных площадей под эту важную для страны пищевую культуру. При этом вероятно, что общий объем экспорта риса из страны в 2019/2020 г. останется на том же уровне, что и в 2018/2019 г., составляя примерно 3,0 млн. тонн, хотя потенциал его рынка в Европейской корпорации будет несколько утрачен, но компенсирован увеличением рыночного потенциала в Китае. Ожидается также, что внутреннее потребление обмолоченного рисового зерна в 2019/2020 г.

вырастет до 10,25 млн. тонн из-за растущего спроса на него со стороны животноводства, особенно связанного с выращиванием домашней птицы, и более высоких цен на кукурузу. Кроме того, поскольку типичная пищевая диета в Мьянме диверсифицируется, годовое потребление риса населения претерпевает снижение до 175 кг для сельских и до 150 кг для городских домашних хозяйств. Наряду с этим, хотя население и потребляет меньше риса, торговые источники информации отмечают [2], что прогрессивно увеличивающийся спрос на рис высшего качества за последние три года (2017–2019 гг.) фактически обусловил рост внутренних цен на рис в целом.

На недавней продовольственной выставке THAIFEX (Международная выставка-продажа продуктов питания и напитков, общественного питания, технологий питания, гостиничного сервиса и розничной торговли и франшизы) в Бангкоке министерство сельского хозяйства Мьянмы представило три вида плодов местных сортов манго (Сейн Талон, Шве Хин Тар и Инь Кве), характеризующихся уникальными вкусовыми качествами. Мьянма располагает около 80 000 га плантаций манго, на которых выращивают примерно 500000 тонн в сезон плодов различных его сортов, что составляет около 1,9 % мирового производства манго [3, 4]. Следует отметить, что и другие компоненты манговых деревьев могут быть полезными. Так, в Мьянме их листья употребляют в пищу как овощи, хорошо сочетающиеся с рыбой. Древесина манго весьма красочна и имеет множество оттенков, что обуславливает ее использование при изготовлении мебели [5].

В отличие от других тропических плодовых растений, культура манго распределена в мире неравномерно, и большая часть общего объема ежегодного сбора урожая (~ 77 %) приходится на тропические регионы Азии [6]. Употребляют манго, главным образом, в свежем виде, а также используют для приготовления джемов, желе, коктейлей, соусов, соков. Большой популярностью на мировом рынке пользуются консервированные по современным технологиям плоды манго, в том числе замороженные и сушеные. Согласно последним медицинским исследованиям употребление манго препятствует развитию раковых клеток в организме. Плоды манго чрезвычайно полезны для больных ревматизмом, диареей и диабетом. Их ежедневное употребление обеспечивает организм всеми необходимыми минеральными веществами. Регулярное питье сока манго, смешанного с соком моркови, предотвращает образование камней в почках. Мякоть плодов способствует лучшему перевариванию пищи и рекомендуется при различных желудочных заболеваниях [7]. Приведенные факты указывают на значимость выращивания манго в Мьянме и сопредельных странах.

При указанном объеме урожая риса в республике масштабы образования наиболее

массовых отходов его переработки в виде рисовой шелухи (РШ) близки 600 тыс. т в год [8, 9]. Отходы предприятий и производств продовольственной ориентации, занятых переработкой плодов манго, значительная часть которых представлена оболочками их семян (ОСМ), гораздо менее масштабны, но столь же обременительны, как и названные отходы лущения риса, что обуславливает необходимость изыскания рациональных направлений их использования.

Одним из таких направлений, как свидетельствуют доступные сведения [10-14], может являться получение углеродных адсорбентов. Это обстоятельство обусловило целесообразность оценки эффективности использования с этой целью названных отходов национальных пищевых производств путем их пиролиза и активации получаемых карбонизатов водяным паром. В выполненных с этой целью исследованиях авторов определены целесообразные условия осуществления стадий пиролиза и активации перерабатываемых материалов наряду с выходами и структурно-адсорбционными характеристиками получаемых продуктов [15, 16], выраженными для обоих карбонизатов в таблице 1 числителями соответствующих дробных показателей – величин адсорбции красителя метиленового голубого (МГ) и йода ( $I_2$ ) из их растворов, суммарного объема пор по воде ( $V_{\Sigma}$ ), объемов сорбирующих пор ( $V_s$ ) по парам  $H_2O$ ,  $CCl_4$  и  $C_6H_6$ . Полученные данные о названных величинах продуктов активации карбонизатов водяным паром свидетельствует о сравнительно невысоком качестве характеризуемых адсорбентов [17].

С целью установления перспектив улучшения качества активных углей на базе характеризуемых отходов в рекомендованных условиях [14] выполнена обработка карбонизата рисовой шелухи щелочью с получением концентрированного по содержанию углерода остатка. Путем химической активации с  $ZnCl_2$  этого остатка, как и таковой собственно ОСМ, при отношении пропитки «активатор:материал = 1:1» обеспечено получение углеродных адсорбентов существенно более высокого качества, о чем свидетельствуют данные знаменателей дробных показателей таблицы 1.

Таблица 1. Технические показатели полученных на базе рисовой шелухи и оболочек семян манго в оптимальных условиях карбонизатов (числитель) и активных углей химической активации (знаменатель)

Сырье	$I_2$ , мг/г	МГ, мг/г	$V_{\Sigma}$ , см <sup>3</sup> /г	$V_{SH_2O}$ , см <sup>3</sup> /г	$V_{SC_6H_6}$ , м <sup>3</sup> /г	$V_{SCCl_4}$ , см <sup>3</sup> /г	Выход, %
РШ	68/340	160/635	1,0/1,0	0,06/0,06	0,09/0,28	0,06/0,22	50/25
ОСМ	29/58	4/21	0,9/1,0	0,13/0,11	0,17/0,19	0,05/0,12	45/35

Таким образом, химическая активация представляется более перспективным направлением переработки рассматриваемых отходов на углеродные адсорбенты, в связи с чем требует дальнейших более детальных исследований, ориентированных на оптимизацию этой технологии.

### Список литературы

1. Farmers work to grow export-quality mangoes [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.mmtimes.com/national-news/6345-farmers-work-to-grow-export-quality-mangoes.html> (дата обращения: 13.07.2009).
2. Сорта и свойства манго [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.activestudy.info/sorta-i-svoystva-mango/> (дата обращения: 01.04.2018).
3. Mango Season Started in Myanmar [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.newswire.com/news/mango-season-started-in-myanmar-20471415> (дата обращения 10.03.2018).
4. Транспортировка и хранение тропических плодов [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.activestudy.info/sorta-i-svoystva-mango/> (дата обращения: 01.04.2018).
5. Rachel Nelson, agricultural affair officer. Swe Mon Aung, agricultural specialist. Global agricultural information network [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/report/downloadreportbyfilename?filename=Grain%20and%20Feed%20Annual%20Rangoon%20-%20Union%20of%204-11-2019.pdf> (дата обращения: 28.03.2019).
6. Ефремова С.В., Сухарников Ю.И., Бунчук Л.В. и др. Переработка рисовой шелухи с получением новых материалов полифункционального назначения [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://waste.ua/cooperation/2008/theses/efremova.html> (дата обращения: 10.03.2019).
7. Яковлев В.А., Елецкий П.М., Пармон В.Н. Способ получения наноструктурированного углеродного материала с высокой удельной поверхностью и микропористостью. Патент РФ № 2311227. Оpubл. 27.11.2007. Бюлл. № 33.
8. Елецкий П.М. Синтез и исследование углерод-кремнеземных нанокмпозитов, мезо- и микропористых углеродных материалов из высокозольной биомассы. Дисс. к.х.н. Новосибирск, 2009. – 115 с.
9. Akpen G.D., Nwaogazie I.L., Leton T.G.. Adsorption characteristics of mango (*Magnifera indica*) seed shell activated carbon for removing phenol from wastewater // Journal of Applied Science and Technology, 2014, vol. 19, № 1 и 2, p. 43-48.
10. Aung Htut Thu, A.I. Zakharov. Preparation of inorganic binder for cold-hardening mixtures// Refractories and Industrial Ceramics. 2018, v. 59, Issue 3, pp. 313-317.
11. Тху Аунг Си, Вин Мьинт Со, Клушин В.Н. и др. Исследование пористой структуры активного угля из рисовой шелухи // Сорбционные и хроматографические процессы. 2017, т. 17, № 1, с. 916-923.
12. Наинг Линн Сое, Зин Мое, Со Вин Мьинт и др. Технологические аспекты и показатели переработки отходов древесины железного дерева и оболочек семян манго на углеродные адсорбенты // Химическая промышленность сегодня, 2018, № 4, с. 28-34.
13. Наинг Линн Сое, Зин Мое, Со Вин Мьинт и др. Углеродные адсорбенты на базе растительных отходов Мьянмы как средства очистки производственных выбросов и сбросов // Сорбционные и хроматографические процессы, 2019, т. 19, № 5, с. 574-581.

УДК 574:57.083.1

Гейдарова Х.Б., Калёнов С.В., Костылева Е.В.

## ИССЛЕДОВАНИЕ НЕФТЕДЕСТРУКЦИИ МИКРООРГАНИЗМОМ, ВЫДЕЛЕННЫМ ИЗ СООБЩЕСТВА ГИПЕРСОЛЁНОГО ОЗ. МАСАЗЫР

**Гейдарова Хураман Бахаддин кызы**, студентка 1 курса магистратуры факультета биотехнологии и промышленной экологии;

e-mail: [huramashka1997@mail.ru](mailto:huramashka1997@mail.ru)

**Калёнов Сергей Владимирович**, к.т.н., доцент кафедры биотехнологии;

**Костылева Елена Валерьевна**, к.х.н., доцент кафедры промышленной экологии.

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия.

*Статья посвящена исследованию нефтедеструкции экстремально галофильным биоценозом оз. Масазыр. В результате работы из образцов соленой воды озера Масазыр был выделен и идентифицирован микроорганизм-нефтедеструктор – *Haloferax alexandrinus*. Исследовано влияние температурного режима, рН и качества воды на процесс очистки от нефти. Установлены оптимальные условия для деструкции нефти.*

**Ключевые слова:** нефтедеструкция, очистка от нефти, микроорганизм-нефтедеструктор, *Haloferax alexandrinus*, изолят, галоархеи.

## THE STUDY OF OIL DESTRUCTION BY A MICROORGANISM ISOLATED FROM MASAZYR LAKE

Geydarova Huraman Bahaddin kizi., Kalenov Sergey Vladimirovich., Kostyleva Elena Valerievna

D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia.

*The article is devoted to the study of oil destruction by the extremely halophilic biocenosis of Lake Masazyr. As a result of this work was isolated and identified *Haloferax alexandrinus* - microorganism-oil destructor. The influence of temperature, pH and water quality on the process of oil purification was investigated. The optimal conditions for the destruction of oil are established.*

**Keywords:** oil destruction, oil refining, microorganism-oil destruction, *Haloferax alexandrines*, isolate, haloarchaea.

Окружающая среда подвергается тяжелейшим воздействиям антропогенного характера, ее способность к самоочищению резко падает. Особенную угрозу для водных объектов представляют загрязнения нефтью и нефтепродуктами как в России, так и за рубежом. Объекты нефтедобычи зачастую располагаются в засушливых районах, где могут встречаться соровые солончаки, которые образуются на дне котловин периодически высыхающих солёных озёр. Поскольку микроорганизмы являются уникальными индикаторами, отображающими любые изменения в состоянии воды, то использование их для очистки объектов, содержащих большое количество соли, от нефтяных загрязнений рационально [1]. Так, можно использовать экстремофилы, обладающие особыми функционал-биологическими свойствами, дающими им способность выживать в условиях повышенного осмотического давления, температуры, рН. Таким образом, была поставлена задача поиска эффективного микроорганизма-нефтедеструктора, функционирующего в условиях высокой солености и широком диапазоне температур, а также разработки подходов к применению этого микроорганизма.

Объектом данного исследования являлось сообщество галофильных микроорганизмов из оз. Масазыр (г. Баку, Азербайджан), расположенного на Апшеронском полуострове, известном добычей углеводородов (рис.1). Являясь важным источником для производства соли, самосадочные озера

отличаются изумительными природными свойствами. Поскольку соленость очень высокая (300-350 г/л), они необитаемы для рыб и многих других организмов, традиционно населяющих озера. В окрестностях озера ведется добыча нефти.



Рис. 1. Озеро Масазыр, Баку

Для исследования процесса нефтедеструкции были взяты образцы из нескольких слоев озера: поверхностного слоя, глубинного слоя (ил) на глубине 0,5 м и кристаллы соли, используемые для выделения микроорганизма-нефтедеструктора (GPS 40°28'30.3"N 49°44'59.4"E). Выделение перспективного изолята проводилось методом накопительных культур и методом Коха на среде для галобактерий следующего состава: минеральная среда (г/л)– NaCl–250, KCl–3, MgSO<sub>4</sub>×7H<sub>2</sub>O–20,

агар-агар – 20; *p-p* м/э (мг/л)–  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  – 0,1,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 2,  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0,1,  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – 0,03,  $\text{CoCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  – 0,2, Трилон Б ( $\text{Na}_2\text{EDTA}$ ) – 5,  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  – 0,03,  $\text{NiCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  – 0,02; *p-p* А (г/л) –  $\text{KNO}_3$  – 10,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 2,  $\text{CaCl}_2$  – 0,2; *p-p* В –  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  – 15,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  – 0,7; вода водопроводная, нефть Чаяндинского нефтегазоконденсатного месторождения (ГОСТ Р 55475-2013) 6 мл/л, в качестве источника углерода.

Метод выделения основан на культивировании в элективных условиях, обеспечивающих преимущественное развитие определенной группы или вида микроорганизмов. Идентификация, с применением *16S* рРНК-анализа, выявила наиболее активный микроорганизм – нефтеструктор – *Haloferax alexandrinus*, потребляющий нефть в качестве основного источника углерода, устойчивый к перепадам температур, рН и качеству воды. Впервые *Haloferax alexandrinus* был выделен в г. Александрии (Египет). Данный микроорганизм не способен расти в анаэробных условиях с нитратом. Оптимальный рост происходит при 250 г/л  $\text{NaCl}$  с высокой потребностью в  $\text{MgSO}_4$  (40 г / л). Диапазон температур составляет 20–55°C [2].

Для оценки влияния метаболитов на хранение культуры культивирование проводили по методике с внесением и без внесения адсорбента. В качестве адсорбента был взят активированный уголь АГ–3, инкапсулированный в агаризованную оболочку. Подготовку питательной среды проводили следующим образом. В колбы общим объемом 250 мл вносили 1,5 г гранулированного активированного

угля. Для фиксации адсорбента на дно колбы добавляли 16 мл питательной среды. Стерилизацию проводили при 0,7 ати в течение 20 минут, охлаждали до застывания агара. Отдельно готовили питательную среду, состоящую из (г/л):  $\text{NaCl}$  – 250,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 20,  $\text{KCl}$  – 3, глицерин – 2,5, нефть – 6 мл/л, *p-p* А и В по 100 мл/л, вода водопроводная, стерилизовали при тех же условиях. После охлаждения питательную среду в количестве 100 мл стерильно заливали в колбы с адсорбентом и засеивали клетками выделенной культуры. Посевной материал составлял 10% об. Время экспозиции 7 суток при постоянном перемешивании при 150 об/мин на орбитальной платформе *NewBrunswick G10 59* (*NewBrunswick, USA*), температуре 37–40°C и постоянном освещении лампой *PHILIPS TL-D 18W/33-640* (500 Лк).

Основным критерием очистки является степень деструкции нефти, а также прямо пропорционально связанная с ней величина – плотность наработанной биомассы. Для измерения массовой концентрации нефтепродуктов в исследуемых образцах применялся концентратомер нефтепродуктов «ИКН-025». Опыты проводились с заранее наработанной биомассой изолята. Из анализа современных работ был определен температурный диапазон 30–45°C, в котором наиболее благоприятно размножаются галоархеи [1]. Для исследования были выбраны три температурных показателя: 33°C в качестве наименьшей, 37,5°C, как средняя и наиболее свойственная для вод оз. Масазыр, и 40°C, как максимальная. Результаты представлены в табл.1.

Таблица 1. Экспериментальные данные по определению оптимального температурного режима

№ опыта	Температура проведения, °C	Содержание нефти в воде %, (об.)				Эффективность очистки Э, %
		Продолжительность очистки, час				
		0	168	240	384	
1	33	0,60	0,22	0,19	0,08	86,48
2	37,5	0,60	0,19	0,16	0,04	93,01
3	40	0,60	0,21	0,18	0,05	91,67

Из полученных результатов видно, что лучше всего нефть деградирует при 37,5°C, поэтому в последующих исследованиях очистка проводилась при этой температуре.

Следующий этап анализа заключался в определении интервала солености загрязненной экосистемы, в котором наиболее эффективно будет работать будущий биопрепарат. Для этого был проанализирован интервал солености с содержанием  $\text{NaCl}$  от 10 до 250 г/л. Через определенные промежутки времени стерильно отбиралось по 1 мл культуральной суспензии. Оценка роста культуры проводилась путем измерения оптической плотности при длине волны 540 нм на ФЭК. Результаты приведены на рисунке 2.

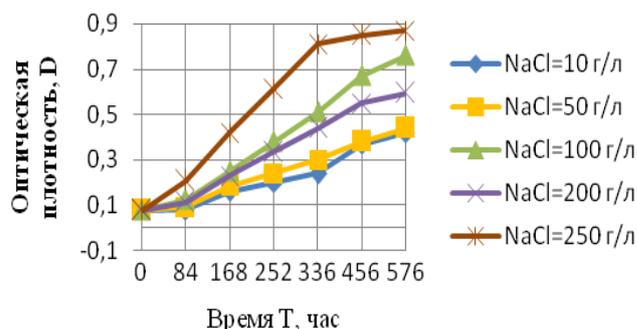


Рис. 2. Кривые роста изолята в диапазоне солености 10–250 г/л

Как видно из представленных данных, штамм-нефтедеструктор *Haloferax alexandrinus* можно отнести к галотолерантным. Данный штамм можно использовать в очистке от нефти водных объектов широкого диапазона солености. Наиболее целесообразно и эффективно использовать данный изолят в интервале засоленности воды от 100 до 250 г/л содержания  $NaCl$ .

Также, по литературным данным известно, что на рост культуры влияют такие ионы, как  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  и их концентрация в воде оз. Масазыр составляет 1,72 мг/л, 35,06 мг/л, 6,07 мг/л соответственно [3]. Для того, чтобы оценить, как влияет присутствие ионов  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  в воде на деструктивную способность микроорганизма, был проведен ряд опытов. В искусственно созданных условиях путем варьирования концентрациями соответствующих ионов было установлено, что высокое содержание ионов  $Zn^{2+}$  и присутствие нитрата калия в среде отрицательно воздействует на степень поглощения нефти изолятом. Параллельно проведен анализ влияния присутствия в среде нитрата калия, как основного источника азота. Выявлено положительное воздействие на рост культуры и на их степень поглощения нефти.

Универсальность биопрепарата на основе микроорганизма-нефтедеструктора *Haloferax alexandrinus* очевидна. Для понимания устойчивости биопрепарата к водам с различным химическим составом, был проведен ряд экспериментов. Сравнительный анализ деструкции нефти проводился на водопроводной, артезианской и дистиллированной воде. Результаты исследования показали, что высокое содержание  $Ca^{2+}$  в артезианской воде отрицательно сказывается на способности изолята потреблять нефть.

Таким образом, биопрепарат, созданный на основе штамма *Haloferax alexandrinus*, выделенного из озера Масазыр, продемонстрировал высокие показатели очистки от нефтепродуктов в жидкости. Отличительной особенностью биопрепарата является его эффективность поглощения нефти в гиперсоленых водах (250 г/л  $NaCl$ ). Также достоинством является высокая степень потребления нефти изолятом: эффективность очистки 93% достигается за 7–10 суток при загрязнении воды 6 г/л нефтью. Главной особенностью использования микроорганизмов в биоремедиации экосистем является то, что после очистки нет необходимости удаления их из среды, поскольку они не патогенные. С другой стороны, можно выделить микроорганизмы и использовать вторично, за счет возобновления и подвода необходимых микроэлементов для их размножения.

### Список литературы

1. А.А. Марченко. Ресурсосберегающие технологии безопасной утилизации загрязнителей из нефтесодержащих сточных вод [Текст] /А.А.Марченко// Сборник трудов Международной конференции с элементами научной школы для молодежи «производство. Технология. Экология». 2011г., с.224-228.
2. Aparna Singh.,Anil Kumar Singh. Isolation, characterization and exploring biotechnological potential of halophilic archaea from salterns of western India//3 Biotech. – 2017.–17 p.
3. Мамедов В.А. Пути трансформации соледобычи из самосадочных озер Апшеронского полуострова / В.А.Мамедов, Х.Х.Халилова // Записки Горного института. 2016. Т. 222. С. 809-815. DOI 10.18454/PMI.2016.6.809.

УДК:66.094.3.098

Лакина Н.В., Лыса В.А., Бровко Р.В., Долуда Е.О., Лакина М.Е.

## ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСА ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ФЕРМЕНТОВ

**Лакина Наталия Валерьевна**, к.х.н., доцент кафедры биотехнологии, химии, стандартизации;  
e-mail: [lakina@yandex.ru](mailto:lakina@yandex.ru)

**Лыса Виктория Александровна**, студент 4 курса химико-технологического факультета

**Бровко Роман Викторович**, студент 2 курса магистратуры химико-технологического факультета

**Долуда Евгений Олегович**, студент 2 курса химико-технологического факультета

**Лакина Маргарита Евгеньевна**, студент 3 курса химико-технологического факультета

Тверской государственной технической университет, г. Тверь, Россия.

*В настоящее время особенно актуальным является получение энергии с использованием экологически чистых биологических компонентов. Изучение эффективных способов применения окислительно-восстановительных ферментов позволит получить биотопливные элементы, биосенсоры с высокочувствительными к химическим сигналам электродами. Данная работа посвящена изучению влияния pH растворов многокомпонентных субстратов на активность комплекса ферментов глюкооксидазы и пероксидазы. Показано, что исследуемый комплекс ферментов наиболее активен в интервале pH от 5.45 до 7.23, что расширяет возможности его использования.*

**Ключевые слова:** окислительно-восстановительные ферменты, биотопливные элементы, биосенсоры, D-глюкоза.

## STUDY OF EFFECTIVE WAYS TO USE A COMPLEX OF REDOX ENZYMES

Lakina Natalija Valirjevna, Lisa Viktorija Alexandrovna, Brovko Roman Viktorovich, Doluda Evgeniji Olegovich, Lakina Margarita Evgenievna

Tver state technical University, Tver, Russia

*Currently, it is particularly important to obtain energy using environmentally friendly biological components. The study of effective ways to use redox enzymes will allow us to obtain biofuel elements, biosensors with highly sensitive electrodes to chemical signals. This work is devoted to the study of the effect of pH solutions of multicomponent substrates on the activity of the complex of enzymes glucooxidase and peroxidase. It is shown that the studied enzyme complex is most active in the pH range from 5.45 to 7.23.*

**Keywords:** redox enzymes, biofuel elements, biosensors, D-glucose.

В последнее время всё большее внимание в различных исследовательских работах уделяется безреагентным биосенсорам, основанным на прямом переносе электронов между активным центром фермента и поверхностью электрода («биосенсоры третьего поколения») [1]. К ним относятся и биосенсоры, в которых перенос происходит после предварительной модификации поверхности электрода. Основным ограничением для ферментов, определяющим возможность существования прямого переноса электронов, является близкое расположение активного центра к поверхности глобулы. Наличие прямого переноса было показано для ряда пероксидаз [1,2]. D-глюкоза как биотопливо используется для преобразования энергии для питания электронных устройств в живом организме из-за своей высокой специфичности биокатализаторов. GOX является одним из наиболее широко используемых ферментов для анодного окисления глюкозы клетками биотоплива глюкозы- $O_2$  за счет своих стабильных показателей активности и времени жизни при нескольких значениях pH. [3]

Получение ферментативных биотопливных ячеек – достаточно трудоемкая процедура. Для их конструирования нужно учесть множество факторов:

условия протекания реакции, при каких pH буферных смесей ферменты будут более активны, и в итоге подобрать такие ферментативные системы, сочетание которых будет давать наилучший результат. Мы рассматривали сочетание глюкооксидазы (GOX) и пероксидазы (HRP). GOX катализирует с высокой селективностью окисление  $\beta$ -D-глюкозы до глюконолактона с помощью процесса переноса  $2e^-$  и  $2H^+$  и регенерирует себя путем восстановления кислорода до перекиси водорода. Этот побочный продукт часто рассматривается как недостаток в применении биотоплива в клетках из-за его токсичности и денатурации белков. Однако используют HRP в качестве катализаторов для восстановления перекиси водорода и таким образом получают усиление аналитического отклика окислительно-восстановительной реакции в многокомпонентном растворе, содержащем D-глюкозу [4,5].

Как и белки ферменты чувствительны к значению pH среды. Ионизация функциональных групп в молекуле фермента зависит от концентрации водородных ионов. Ферменты активны только в определенном интервале pH и каждый биокатализатор характеризуется оптимальным

значением pH, зависящим от природы фермента, субстрата и от свойств среды [20]. Наличие оптимума pH определяется несколькими причинами:

1) истинное обратимое влияние pH на максимальную скорость реакции  $V$  при насыщении фермента субстратом;

2) влияние pH на сродство фермента к субстрату, которое, как считается, может отражать константа Михаэлиса  $K_M$ ;

3) влияние pH на стабильность фермента, который может необратимо инактивироваться при pH по одну или обе стороны от оптимума.

Важно, что перечисленные факторы могут действовать в комбинации друг с другом. Специфика пероксидазного катализа состоит в том, что с изменением pH среды может менять состояние или строение молекул субстратов (ароматические амины) и ингибиторов (фенолы и производные) вследствие протонизации аминов и диссоциации фенолов по O-H связи, что изменяет реакционную способность субстратов и ингибиторов [6].

Все вышеперечисленные факты указывают на актуальность исследований условий эффективной работы комплекса окислительно-восстановительных ферментов.

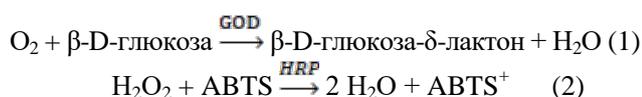
### Экспериментальная часть

#### Материалы и методы

Очищенная пероксидаза хрена (HRP) с активностью 150 ед/мг («Sigma»);  $C_{18}H_{24}N_6S_4$  2,2-азино-бис-(3-этилбензтиозолин-6-сульфоукислоты) диаммониевая соль (ABTS) (чда, «BioChemica»); очищенная глюкооксидаза из *Aspergillus niger* (GOX) с активностью 174.9 ед/мг («Sigma»); D-глюкоза («Sigma»),  $H_2O_2$  (55%, чда, «Акрихим»);  $CH_3COOH$ ,  $CH_3COONa$ ,  $Na_2HPO_4$  (х.  $NaH_2PO_4$  (хч, «Акрихим»)).

Приготовление ферментного окислительно-восстановительных комплекса (HRP и GOX):  $m_{HRP}=m_{GOX}=0.001$  г растворяли в ацетатном (или) фосфатном буфере  $V=100$  мл. Для измерения активности комплекса ферментов (HRP и GOX) были выбраны оптимальные разведения субстратов, при которых скорость ферментативной реакции достигала максимального значения и в дальнейшем не зависела от их концентраций:  $C_{ABTS} = 1.73 \times 10^{-3}$  моль/л;  $C_{H_2O_2}=C_{D-глюкозы} = 0.0026$  моль/л.

Активность ферментного комплекса оценивали спектрофотометрически (СФ UV/VIS Excellence,  $\lambda=405$  нм,  $\epsilon=36800$   $M^{-1}cm^{-1}$ ) фиксируя переход окраски рабочего раствора от бесцветного до синего. Схемы химических реакции описываются следующими уравнениями (1,2).



В анализе продуктов ферментативной окислительно-восстановительной реакции ABTS превращается в катион-радикал путем, который является реактивным по отношению к большинству антиоксидантов, включая пероксиды. В процессе

реакции синий катион радикала ABTS превращается обратно в бесцветную нейтральную форму. Реакция может контролироваться спектрофотометрически.

Активность комплекса ферментов по ABTS рассчитывали по формуле (3).

$$A = \frac{n \Delta A 60 V_1 F 10^5}{V_2 \epsilon 10^3}, \quad (3)$$

где  $A$  – активность ферментного комплекса, мкмоль/(мин×мл);

$n$  – стехиометрический коэффициент для субстрата в реакции пероксидазного окисления;

$\Delta A$  – изменение экстинкции в единицу времени,  $c^{-1}$ ;

$V_1$  – объем реакционной смеси, мл;

$V_2$  – объем фермента в реакционной смеси, мл;

$F$  – фактор разведения

$\epsilon$  – коэффициент молярной экстинкции субстрата реакции, равный  $36800$   $M^{-1}cm^{-1}$  при  $\lambda=405$  нм

### Результаты и их обсуждение

Большинство ферментов проявляют свою максимальную активность при pH, значения которых близки к нейтральным, для таких растворов инактивация происходит при  $pH < 5$  или  $pH > 9$ . Однако, некоторые ферменты работают в сильно щелочных или кислотных средах. В данной работе варьирование pH проводили в интервале 3.05-8.45, об активности комплекса ферментов выражали по изменению оптической плотности рабочего раствора, содержащего ABTS.

Данные по изучению влияния pH многокомпонентного раствора на активность комплекса ферментов показаны на рисунке 1.

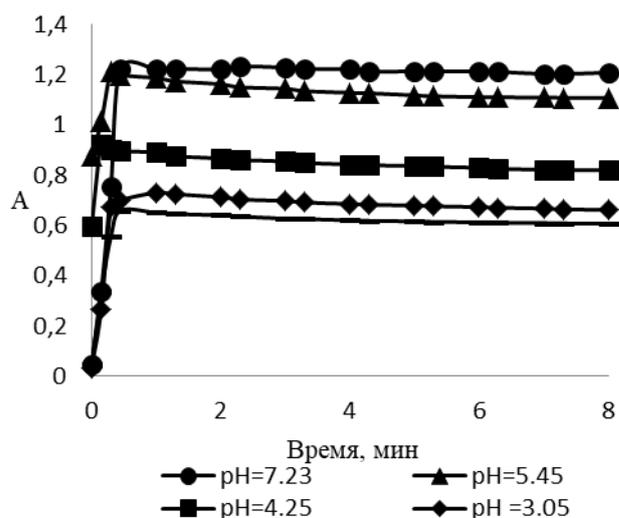


Рисунок 1. Графики зависимости оптической плотности окисленной формы ABTS ( $C = 1.73 \times 10^{-3}$  моль/л) от времени ферментативной реакции при  $pH = 3.05 - 8.45$

Из полученных данных (рисунок 1) можно сделать вывод, что оптимальной pH раствора, при котором будет достигаться максимальная активность

комплекса ферментов GOX:HRP, является кислая среда с меньшим ее значением, близким к нейтральной (pH=5.45). Однако, работа вблизи максимумов приводит к существенной ошибке в расчетах даже при небольшом отклонении от заданной концентрации, поэтому рекомендуется в дальнейшем работать в интервале pH 4.25-5.45. Уменьшение активности биферментного комплекса в сторону больших или меньших значений от оптимума, можно объяснить конкурентным ингибированием активных центров ферментов образующимися продуктами последовательных реакций превращения D-глюкозы и затем распада H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> в результате каталитического действия HRP.

#### Заключение

Проведенные исследования показывают, что применение комплекса ферментов HRP и GOX для проведения окислительно-восстановительных реакций с целью увеличения их скорости является эффективным и перспективным для получения полимерно-ферментных комплексов, усиливающих аналитический отклик биосенсоров и биоэлектродов. Полученные данные изучения оптимальных значений pH многокомпонентных растворов биокаталитических окислительно-восстановительных реакций в дальнейшем могут быть использованы для повышения электрохимического потенциала окисления D-глюкозы при работе биотопливных элементов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-08-00186.

#### Список литературы

1. Turner A., Biosensors, fundamentals and applications / Turner A., Karube I., Wilson G – Oxford: Oxford University Press, 1987, с. 240.
2. Abreu C. [et al.]. Glucose oxidase bioanodes for glucose conversion and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> production for horseradish peroxidase biocathodes in a flow through glucose biofuel cell design / C. Abreu, Y. Nedellec, O. Ondelc, F. Buretc, S. Cosnier, A. Le Goff // Journal of Power Sources – 2018 – Vol. 392 p. 176-180.
3. Duonga N. B. [et al.]. Development of a facile and low-cost chitosan-modified carbon cloth for efficient self-pumping enzymatic biofuel cells / N. B. Duonga, Chih-Liang Wang, L. Z. Huang, W. T. Fanga, H. Yang // Journal of Power Sources – 2019 – Vol. 429 p. 111-119.
4. Joonmok Shim, Enzyme-catalyzed conversion of phenol by using immobilized horseradish peroxidase (HRP) in a membraneless electrochemical reactor / Joonmok Shim, Applied catalysis, 2005.
5. Метелица Д. И. Влияние pH среды на пероксидазное окисление тетраметилбензидина и его ингибирование замещенными пирокатехинами / Д. И. Метелица, М. В. Потапович, М. В. Иксанова, О. И. Шадыро – Республика Беларусь «Труды БГУ» т. 8 (1), 2013, с. 159-166.
6. Диксон М. Ферменты / М. Диксон, Э. Уэбб – Москва «Мир», т. 2, 1982, с. 389.

УДК 620.9

Ляшик Ю.А., Ермоленко Б.В.

## ЭНЕРГЕТИКА И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ

**Ляшик Юлия Александровна**, студентка 1 курса магистратуры факультета биотехнологии и промышленной экологии;

e-mail: [rock\\_you\\_life@mail.ru](mailto:rock_you_life@mail.ru)

**Ермоленко Борис Викторович**, к.т.н., доцент кафедры промышленной экологии.

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия.

*В данной статье осуществлен анализ роли энергетики в формировании экономического потенциала наиболее развитых и развивающихся стран мира на базе зарубежных и российских источников статистической информации 2016 – 2018 годов. Показана существующая и прогнозируемая структура мирового потребления традиционной и возобновляемой энергии. Приведена информация о месте России в мировых рейтингах. Оценены факторы, влияющие на состояние энергетики, экономики стран и качество жизни населения. Рассмотрена роль возобновляемой энергетики в обеспечении устойчивого экономического развития.*

**Ключевые слова:** энергетика России, мировой рейтинг, экономика, энергетика, энергопотребление, качество жизни, окружающая среда.

## ENERGY AND SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT

Lyashik Yuliya Aleksandrovna, Ermolenko Boris Viktorovich.

D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia.

*This article analyzes the role of energy in shaping the economic potential of the most developed and developing countries of the world on the basis of foreign and Russian sources of statistical information from 2016 to 2018. The existing and forecasted structure of the global consumption of traditional and renewable energy is shown. Information is given on the place of Russia in world rankings. The factors affecting the state of energy, the economies of countries and the quality of life of the population are estimated. The role of renewable energy in ensuring sustainable economic development is considered.*

**Keywords:** Russian energy, world ranking, economy, energy, energy consumption, quality of life, environment  
*Russian energy, world ranking, economy, energy, energy consumption, quality of life, environment.*

Эксперты и правительства различных государств обоснованно полагают, что для формирования экономического потенциала значимость энергетики занимает определяющее положение. В роли главной жизненнообеспечивающей и системообразующей отрасли экономики выступает именно энергетика. Что делает энергетику основным объектом для решения главнейших экономических задач? То, что от уровня обеспеченности энергией зависит качество жизни человека и уровень развития практически всех сфер народного хозяйства, ценные полезные ископаемые применяются как топливо для производства энергии, а также то, что энергетика занимает главнейшее положение в оказании наиболее существенного воздействия на окружающую среду. Соотношение между экономическими, социальными и экологическими показателями и уровнем развития энергетики характеризует эффективность решения задач устойчивого социально-экономического развития различных стран. К числу таких показателей обычно относят: ВВП на основе паритета покупательной способности (ППС), ВВП на душу населения, общий уровень энергопотребления, энергоёмкость ВВП, энергопотребление на душу населения, суммарные

выбросы CO<sub>2</sub> от сжигания топлива, выбросы CO<sub>2</sub> от сжигания топлива на душу населения, доля использования энергии ветра и солнца в общем объеме производства электроэнергии, индекс экологической эффективности, индекс качества жизни. В качестве основных объектов исследования проблемы «энергетика и социально-экономическое развитие» могут представлять интерес 10 наиболее развитых и развивающихся стран мира. Проведен анализ значений всех перечисленных выше показателей для этих 10 стран в 2016, 2017 и 2018 годах и оценена их позиция в мировом рейтинге. Ниже приводятся лишь некоторые результаты проведенного исследования.

Уровень экономического развития определяется величиной внутреннего валового продукта. В мировой практике для обеспечения сопоставимости показателей разных стран и получения сопоставимых результатов оценки состояния экономики расчет величины ВВП производится с учетом покупательной способности национальной валюты применительно к определённому набору товаров и услуг, т.е. по паритету покупательной способности. Информация о значениях ВВП на основе ППС приведена в следующей таблице 1.

Таблица 1. Показатели ВВП на основе ППС по странам мира

Страны мира	ВВП на основе ППС, млрд. долл./год			Позиция в мировом рейтинге, 2018 г.	Прирост, %		Вклад страны в ВВП мира, %
	2016	2017	2018		2017- 2016	2018- 2017	
Китай	21388	23267	25399	1	8,8	9,2	18,67
США	18707	19485	20544	2	4,2	5,4	15,20
Индия	8788	9597	10500	3	9,2	9,4	7,74
Япония	5222	5320	5415	4	1,9	1,8	4,13
Германия	4078	4303	4401	5	5,5	2,3	3,21
Россия	3531	3784	4050	6	7,2	7,0	3,12
Индонезия	3035	3225	3500	7	6,3	8,5	2,58
Бразилия	3161	3250	3371	8	2,8	3,7	2,49
Великобритания	2856	2998	3056	9	5,0	1,9	2,24
Франция	2811	2959	3037	10	5,3	2,6	2,19

Основываясь на данных Всемирного банка [1], в период с 2016 по 2018 год Китай занимает первое место по ВВП с годовым приростом в 9,2% в 2018 году. После того, как КНР перешел на лидирующую позицию в 2014 году, США опустились на второе место с годовым приростом ВВП в 5,4%. На третьем месте Индия, которая имеет максимальный годовой прирост в 9,4%. В 2018 году Россия имеет положительный прирост в 7%, но российские показатели ВВП более чем в 5 раз ниже, чем показатели Китая и Америки.

На базе информации о величине ВВП на душу населения [2] в данный период можно сделать вывод, что максимум этого показателя был в США (62794 \$/чел) с годовым приростом в 2018 году 3,5 %, тогда как Китай (18236 \$/чел) - страна с максимальным значением ВВП в мире из-за значительной численности населения заняла лишь 91 место, обогнав Бразилию в 2016 году. Максимальное значение валового внутреннего продукта на душу населения было у Катара –126898 \$/чел (7,1 среднемировых уровней), минимальное – у Центральноафриканской Республики Бурунди –744 \$/чел (0,04 среднемирового уровня, что в 170 раз меньше, чем у Катара).

С развитием человечества происходил рост энергопотребления. В 2018 году мировое энергопотребление выросло на 2,9% - это самый сильный рост, начиная с 2010 года, двойное превышение средних показателей за последние 10 лет. В соответствии с прогнозом [3] 2040 год может стать переломным моментом – стартом движения к преобладанию экологически чистой возобновляемой энергетики.

По данным годового энергопотребления [4] КНР, США и Индия, как и по уровню ВВП по ППС занимают соответственно первое, второе и третье

места в списке из 44 стран. Также можно заметить достаточно высокие темпы снижения энергоёмкости ВВП большинства стран.

Россия находилась в рассматриваемый период на предпоследнем 43 месте в данном рейтинге. В 2018 году российское (215 кг н.э./1000\$ США) превышение наилучших показателей года (Колумбия - 54 кг н.э./1000\$ США) составило 4 раза. Столь высокие показатели можно объяснить спецификой северной страны, где расход тепла на отопление и горячее водоснабжение составляет около 75% всей энергии, потребляемой в домохозяйствах. Однако, такая промышленно развитая страна с похожим климатом, как Канада в 2018 году имела энергоёмкость ВВП в 1,22 раза ниже энергоёмкости России. Столь значительное отличие объясняется низкой эффективностью энергоёмких отраслей России, а также недостаточным вниманием к проблемам энергосбережения при производстве и распределении энергии и потреблении ее объектами гражданского строительства.

Для оценки уровня промышленно-экономического развития страны широко используется и такой показатель, как энергопотребление на душу населения (табл. 2). В 2018 году можно наблюдать снижение данного показателя только лишь у Германии, Японии и Великобритании и нулевой годовой прирост у Франции. Остальные развивающиеся страны Азии и Латинской Америки, а также США и Россия в 2018 году, имеющие более высокую численность населения, повысили значения этого показателя по сравнению с 2017 годом. Россия в 2018 году показала годовое изменение душевого потребления энергии на 3,5%, оказалась на 19 позиции мирового рейтинга, в 2,9 раза превысила среднемировой уровень удельного энергопотребления.

Таблица 2. Энергопотребление на душу населения по странам мира

Страны мира	Численность населения на 2018 г, млн. чел	Энергопотребление на душу населения, кг н.э./чел			Позиция в мировом рейтинге, 2018 г.	Прирост, %		Кратность превышения среднемирового уровня 2018 г
		2016	2017	2018		2017-2016	2018-2017	
Весь мир	7631	1804	1844	1886		2,2	2,3	1,00
США	327,1	6640	6665	6903	10	0,4	3,6	3,7
Россия	145,73	5023	5304	5490	19	5,6	3,5	2,9
Франция	64,99	3462	3754	3754	29	8,4	0	2
Германия	83,12	3730	3754	3621	30	0,6	-3,5	1,9
Япония	127,2	3365	3381	3333	31	0,5	-1,4	1,8
Великобритания	67,14	3068	2666	2636	37	-13	-1,1	1,4
КНР	1427,65	2388	2454	2518	51	2,8	2,6	1,3
Бразилия	209,47	1530	1554	1578	72	1,6	1,5	0,8
Индонезия	267,67	900	910	919	93	1,1	1	0,5
Индия	1352,64	659	672	685	111	2	1,9	0,4

Проблема оценки качества жизни населения различных стран как одного из важнейших факторов (показателей) устойчивого развития экономики стала инициатором создания единой структуры показателей благосостояния Организацией экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) в рамках проекта «Инициатива лучшей жизни», в котором принимают участие 40 стран. Главнейший фактор для оценки качества жизни – это состояние окружающей среды. В этой категории качества жизни Россия заняла по показателю уровня загрязнения воздуха 26-е место, а по показателю качества воды 40-е место.

Возрастание негативного воздействия на окружающую среду и, как следствие, на здоровье человека теснейшим образом связано с увеличением численности населения Земли и развитием традиционной энергетики за последние сто лет. В 2018 году, в соответствии с данными Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), из-за загрязнения атмосферного воздуха на Планете умерло около 4,2 миллионов человек. Антропогенное загрязнение поверхностных и подземных водных объектов приводит к тому, что примерно треть всего населения Земли пьет воду, не соответствующую действующим санитарным нормам. Такие продукты сгорания ископаемых органических топлив, как оксиды азота, серы, углерода, зола и другие взвешенные вещества в большом количестве попадают в атмосферу городов, существенно ухудшая качество жизни их населения. Две трети выбросов парниковых газов приходится на долю традиционной энергетики. Эти газы, по мнению ученых, может стимулировать климатические изменения на планете и в конечном итоге привести к экологической катастрофе. Мировое сообщество давно стремится достичь подписания глобального климатического соглашения. С этой целью в декабре 2015 года в

Париже прошла XXI Конференция сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата.

Совокупный объем выбросов углекислого газа в  $\text{CO}_2$  – эквиваленте в мире в 2018 году достиг 33,9 млрд. тонн. Это на 2,0% выше уровня 2017 года, что главным образом вызвано ростом объемов выбросов в развивающихся странах.

В новом докладе Международного энергетического агентства [5] говорится, что доля возобновляемых источников энергии в общем объеме ее производства должна возрасти с 23% в 2015 году до 28 % и более к 2021 году. Глобальные инвестиции в производство возобновляемой энергии в 2018 году составили \$272,9 млрд. Китай продолжил занимать позицию крупнейшего инвестора в 2018 году. Инвестиции в производство энергии из возобновляемых источников были более распространены во всем мире, чем когда-либо: 29 стран в каждой вложили более 1 миллиарда долларов в 2018 году (отчет ООН). К сегодняшнему дню четко определились ТОП-5 регионов развития ВИЭ: Китай, США, Япония, Индия и Германия.

В целом ряде стран отказ от использования в энергетических целях ископаемого органического топлива выразился в резком увеличении доли участия возобновляемых источников в общем объеме производства электрической энергии. Среди наиболее продвинутых в этом отношении десяти государств, где широко используются и гидроэнергетические ресурсы, и энергетический потенциал других ВИЭ, можно выделить ТОП-5 в порядке их мирового рейтинга 2018 года: Норвегию с долей возобновляемой энергии в общем объеме производства электроэнергии в стране 97,9%, Новую Зеландию - с 83,1 %, Бразилию – с 82,5 %, Венесуэлу – 70,8 %, Канаду – с 65,9 %.

Среди 10 стран с высоким значением ВВП [6] максимальное участие возобновляемых источников энергии в общей ее выработке показала КНР. Второе

место за США, третье за Индией. Россия с учетом всех ГЭС занимает 27 в этой группе, а по доле электроэнергии, вырабатываемой с использованием энергии ветра и солнца, в общем объеме ее производства она заняла 38 место из 44 стран с результатом, отличающимся от лучшего в 208 раз.

В 2006 году предложили новый показатель - индекс экологической эффективности (The Environmental Performance Index - EPI). На данный момент его применение дает возможность 180 государствам сравнивать собственные успехи и недостатки в области природопользования с другими странами по 24 показателям эффективности в десяти категориях проблем, охватывающих состояние окружающей среды и жизнеспособность экосистем. По данным [7] по этому показателю в 2018 году впереди всех оказалась Швейцария.

По результатам проведенного анализа состояния энергетической отрасли выявлено, что Российская Федерация по состоянию на 2018 год занимает:

– 43-е место в мире по энергоёмкости ВВП с превышением наименьших годовых значений в 4 раза;

– 61-е место в мире по уровню ВВП на душу населения при 6-м месте по объёму ВВП;

– 49-е место в мире по качеству жизни населения;

– 26-е место по показателю уровня загрязнения воздуха и 40-е место по показателю качества воды.

Это свидетельствует о наличии серьезных системных проблем в сфере производства, передачи и потребления электрической и тепловой энергии. Современной российской энергетике присущи: значительный физический и моральный износ основного генерирующего оборудования, ориентированного на использование ископаемых органических топлив, большие потери в электрических и тепловых сетях, почти полное безразличие к вопросам энергосбережения, отсутствие интереса к развитию возобновляемой энергетики у руководства страны.

Решение перечисленных выше проблем следует искать в разработке и применении различных экономических и других механизмов активного государственного стимулирования энергосбережения во всех отраслях экономики и развития современных низкоэмиссионных ресурсосберегающих энерготехнологий. Ориентация на новые

энергоэффективные технологии рассматривается мировым сообществом как переход от парадигмы ископаемой топливно-органической энергетики к парадигме возобновляемой энергетики.

### Список литературы

1. GDP based on PPP valuation. IMF World Economic Outlook (WEO), March 2020: [Электронный ресурс]. URL: <http://knoema.ru/nwnfkne/мировой-рейтинг-стран-по-ввп-в-2019-году-данные-и-графики>. (Дата обращения: 14.03.2020)
2. GDP per Capita Ranking 2019. IMF World Economic Outlook (WEO), March 2020: [Электронный ресурс]. URL: <http://knoema.ru/sijweyg/gdp-per-capita-ranking-2019-data-and-charts>. (Дата обращения: 11.08.2016)
3. Прогноз развития энергетики мира и России 2019: [Электронный ресурс] // Институт энергетических исследований РАН. Аналитический центр при Правительстве РФ. М., 2019. URL: <https://www.eriras.ru/data/994/rus> (Дата обращения 14.03.2020)
4. Total energy consumption. Global Energy Statistical Yearbook 2019: [Электронный ресурс]. URL: <https://yearbook.enerdata.net/energy-consumption-data.html> (Дата обращения: 15.03.2020)
5. Renewable Energy. Medium-Term Market Report 2016. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/medium-term-renewable-energy-market-report-2016> (Дата обращения: 02.04.2020)
6. Electricity production and share of wind and solar in electricity production. Global Energy Statistical Yearbook 2019: [Электронный ресурс]. URL: <https://yearbook.enerdata.net/world-electricity-production-map-graph-and-data.html> (Дата обращения: 02.04.2020)
7. Индекс экологической эффективности: [Электронный ресурс] // Центр гуманитарных технологий. Информационно-аналитический портал. URL: <http://gtmarket.ru/ratings/environmental-performance-index/info>. (Дата обращения: 02.04.2020)

УДК 661.183.2

Еремина Е.А., Нистратов А.В., Курилкин А.А., Мухин В.М.

## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА АКТИВНЫХ УГЛЕЙ ПО ТЕХНОЛОГИИ УГЛЕПЕКОВОЙ КОМПОЗИЦИИ

**Еремина Елена Александровна**, студентка 2 курса магистратуры факультета биотехнологии и промышленной экологии, e-mail: [ereminaea.eco@yandex.ru](mailto:ereminaea.eco@yandex.ru);

**Курилкин Александр Александрович**, к.т.н., инженер I категории кафедры промышленной экологии;

**Нистратов Алексей Викторович**, к.т.н., доцент кафедры промышленной экологии;

Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева,

125480, Москва, ул. Героев Панфиловцев, д. 20

**Мухин Виктор Михайлович**, д.т.н., профессор, начальник лаборатории активных углей, эластичных сорбентов и катализаторов (АУЭСиК) АО «ЭНПО «Неорганика», Московская область, г. Электросталь, ул. К. Маркса, д. 4

*Данная работа посвящена изучению влияния неорганических добавок на качество активных углей, полученных по технологии углепековой композиции, в частности, гидроксидов и карбонатов калия и натрия. Экспериментальным путем проведены сравнения образцов, прошедших стадию химической активации и смешанной активации по показателю «объем сорбирующих пор».*

**Ключевые слова:** активные угли, технология, адсорбенты, сорбция, активация, смешанная активация, химическая активация, неорганические добавки, активирующие реагенты

## STUDY OF THE INFLUENCE OF INORGANIC ADDITIVES ON THE PROPERTIES OF ACTIVE CARBON IN THE TECHNOLOGY OF COAL-PITCH COMPOSITION

Eremina E.A., Nistratov A.V., Kurilkin A.A., Mukhin V.M.

D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

*This work is devoted to the study of the influence of inorganic additives on the quality of activated carbons obtained by the technology of coal-pitch composite, in particular, potassium and sodium hydroxides and carbonates. Experiments for comparing samples, that have passed the stage of chemical activation and mixed activation, by the indicator «sorbing pore volume» have been carried out.*

**Keywords:** activated carbons, technology, adsorbents, sorption, activation, mixed activation, chemical activation, inorganic additives, activating reagents

В настоящее время в Российской Федерации и во всем мире остро стоит вопрос разработки новых технологий для защиты окружающей среды. Огромную роль для решения данной проблемы играет адсорбция. Среди всего многообразия адсорбентов наиболее универсальными и эффективными являются активированные угли, которые в силу своих уникальных физико-химических свойств могут решать множество вопросов, связанных с охраной окружающей среды и биологической безопасностью человека [1].

Российская Федерация долгие годы подряд отстает от европейских стран в выпуске активных углей по показателю в килограммах готового угля на душу населения. Однако, следует отметить, что начиная с 2016 года аналитиками замечен незначительный рост производства отечественных активных углей [2].

Технология производства активных углей из углепековой композиции считается перспективной, так как базируется на доступном отечественном сырье, в частности, каменном угле, из которого получают качественные сорбенты, и разрабатывается в лаборатории эластичных сорбентов и катализаторов (АУЭСиК) АО «ЭНПО «Неорганика» в сотрудничестве с кафедрой промышленной экологии ФГБУ РХТУ им. Д. И. Менделеева. В ходе выполнения данной работы были получены образцы активных углей на основе композиции каменного угля марки Д и пека каменноугольного электродного с добавлением гидроксидов и карбонатов калия и натрия в количестве 1,0 масс. % в режиме паро-

газового активирования [3]. Выявлено, что добавкой, при которой достигается наилучший показатель «объем сорбирующих пор» по воде, бензолу и тетрахлорметану, является гидроксид калия. Исследование показателя «объем сорбирующих пор» проводилось с помощью «эксикаторного метода», при котором навеска активного угля помещается в эксикатор с поглощаемым веществом и через определенные промежутки времени проверяется прирост массы навески (масса поглощенных паров вещества). Также опытным путем определена целесообразность проведения смешанной активации сырья: пропитки раствором реагента с процессом паро-газового активирования (расход пара ~1,6 г/мин) в печи при температуре  $\sim 860 \pm 20^\circ\text{C}$  со скоростью подъема температуры от  $\sim 10^\circ\text{C}/\text{мин}$  и продолжительностью изотермической выдержки 60 минут, для повышения показателя «объем сорбирующих пор» готового продукта [3].

Результаты оценки объема сорбирующих пор по бензолу полученных образцов карбонизата (продукта только химической активации) приведены в таблице 1.

Из данных таблицы 1 следует, что наибольший объем сорбирующих пор имеет образец карбонизата, полученный на основе угле-пекового сырья с добавлением гидроксида калия. Чуть более низкое значение у образца, полученного с добавлением карбоната калия, образцы, полученные с добавлением гидроксида и карбоната натрия, имеют показатель объема сорбирующих пор приблизительно на 30-40 % ниже, чем у первых.

**Таблица 1. Определение объема сорбирующих пор образцов карбонизата по  $C_6H_6$  ( $\rho_{C_6H_6}=0,88$  г/см<sup>3</sup>, при T=20 °C)**

Неорганическая добавка		КОН	NaOH	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
Выход, %		71,2	50,9	67,8	67,8
Масса до адсорбции, г	m угля	1,002	1,001	1,005	1,006
Масса после адсорбции, г	m угля+C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	1,103	1,065	1,100	1,063
Объем сорбирующих пор**, см <sup>3</sup> /г		0,115	0,073	0,107	0,064

В таблицах 2, 3, 4 приведены результаты исследования поглотительной способности (объема сорбирующих пор) по воде, бензолу и тетрахлорметану образцов активата (продукта смешанной активации).

Из данных таблицы 2 следует, что образец, приготовленный с добавлением гидроксида калия, демонстрирует наилучшие

поглотительные способности по воде по сравнению с другими образцами за счёт развития субмикropор.

Таблица 3 демонстрирует показатели объема сорбирующих пор по бензолу; наилучшие показатели у образца с гидроксидом калия. В свою очередь, плохо поглощают бензол образцы с добавками гидроксида и карбоната натрия.

**Таблица 2. Определение объема сорбирующих пор образцов активата по H<sub>2</sub>O ( $\rho_{H_2O} = 1,00$  г/см<sup>3</sup>, при T=20°C)**

Неорганическая добавка		КОН	NaOH	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
Выход, %		59,7	64,9	82,9	57,6
Масса до адсорбции, г	m угля	1,01	1,216	1,055	1,325
Масса после адсорбции, г	m угля+ H <sub>2</sub> O	1,269	1,244	1,072	1,415
Объем сорбирующих пор**, см <sup>3</sup> /г		0,256	0,023	0,016	0,068

**Таблица 3. Определение объема сорбирующих пор образцов активата по C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> ( $\rho_{C_6H_6}=0,88$  г/см<sup>3</sup>, при T=20 °C)**

Неорганическая добавка		КОН	NaOH	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
Выход, %		59,7	64,9	82,9	57,6
Масса до адсорбции, г	m угля	1,169	1,178	1,207	1,345
Масса после адсорбции, г	m угля+ C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	1,471	1,181	1,305	1,349
Объем сорбирующих пор**, см <sup>3</sup> /г		0,294	0,003	0,092	0,003

**Таблица 4. Определение объема сорбирующих пор образцов активата по CCl<sub>4</sub> ( $\rho_{CCl_4} = 1,60$  г/см<sup>3</sup>, при T=20°C)**

Неорганическая добавка		КОН	NaOH	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
Выход, %		59,7	64,9	82,9	57,6
Масса до адсорбции, г	m угля	1,004	1,21	1,232	1,549
Масса после адсорбции, г	m угля+CCl <sub>4</sub>	1,372	1,216	1,236	1,576
Объем сорбирующих пор**, см <sup>3</sup> /г		0,229	0,003	0,002	0,011

Данные таблицы 4 показывают, что наилучшей поглотительной способностью по тетрахлорметану, обусловленной мезопорами, обладает образец, полученный с добавлением в исходную угле-пектовую смесь гидроксида калия. Остальные образцы значительно отстают по этому показателю.

Из таблиц 1 - 4 можно сделать вывод, что образец, полученный с добавлением в угле-пектовую смесь гидроксида калия, показывает наилучшую поглотительную способность по воде, бензолу и тетрахлорметану.

**Таблица 5. Сравнение поглотительной способности по бензолу образцов карбонизата и активата**

Добавка	КОН	Анализируемый образец
Объем сорбирующих пор по бензолу, см <sup>3</sup> /г	0,115	Карбонизат
	0,294	Активат

Таблица 5 демонстрирует данные, из которых видно, что активат имеет приблизительно в 2,5 раза более высокую поглотительную способность, чем образец, не прошедший стадию паро-газового активирования. Следовательно, для достижения большого объема сорбирующих пор целесообразно проводить смешанную активацию: химическую и паро-газовую.

Таким образом, на основании проведенных экспериментов сделаны следующие выводы:

- При получении активных углей на основе угле-пекковой композиции для химического активирования, добавкой, обеспечивающей наилучшие показатели микропористой структуры готового продукта, является гидроксид калия (40%-ый раствор);

- Для развития микропористой структуры после процесса химической активации целесообразно проводить паро-газовую активацию в печи при расходе пара ~ 1,6 г/мин, температуре ~ 860 °C со скоростью подъема температуры ~ 10 °C/мин и продолжительностью изотермической выдержки 60 минут.

#### Список литературы

1. Проблемы экологии в России [Электронный ресурс]. URL: <http://greenparty.ru/news/1768/>.
2. Рынок активированного угля в России. Текущая ситуация и прогноз 2020-2024 гг [Электронный ресурс]. URL: <https://alto-group.ru/otchet/rossija/326-rynok-aktivirovannogo-uglya-tekushhaya-situaciya-i-prognoz-2014-2018-gg.html>.
3. Мухин В.М., Клушин В.Н. Производство и применение углеродных адсорбентов. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2012. – 308 с.

УДК 504.064.45

Еремина Е.А., Диканская О.П., Курилкин А.А., Нистратов А.В.

## СПОСОБ ВНЕДРЕНИЯ СТИМУЛИРУЮЩИХ МЕР ДЛЯ СБОРА НА ПЕРЕРАБОТКУ ТАРЫ, УТРАТИВШЕЙ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ СВОЙСТВА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Еремина Елена Александровна**, студентка 2 курса магистратуры факультета биотехнологии и промышленной экологии, e-mail: [ereminaea.eco@yandex.ru](mailto:ereminaea.eco@yandex.ru);

**Диканская Ольга Павловна**, студентка 2 курса магистратуры факультета биотехнологии и промышленной экологии, e-mail: [olga-dikanskaya3@yandex.ru](mailto:olga-dikanskaya3@yandex.ru);

**Курилкин Александр Александрович**, к.т.н., инженер I категории кафедры промышленной экологии;

**Нистратов Алексей Викторович**, к.т.н., доцент кафедры промышленной экологии;

Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева,  
125480, Москва, ул. Героев Панфиловцев, д. 20

*В данной работе анализируется состояние внедрения раздельного сбора отходов гражданами Российской Федерации. Внедрение предложенной системы автоматов раздельного сбора (фандоматов) с мерами стимулирования граждан к сортировке отходов и сдаче на переработку тары, утратившей потребительские свойства, призвано стать одним из эффективных механизмов достижения целей, установленных Национальным проектом «Экология».*

**Ключевые слова:** экология, отходы, переработка, сортировка, использованная тара.

## METHOD FOR IMPLEMENTING INCENTIVE ARRANGEMENTS FOR COLLECTION OF CONTAINERS FOR PROCESSING THAT LOST CONSUMPTION PROPERTIES IN THE RUSSIAN FEDERATION

Eremina E.A., Dikanskaya O.P., Kurilkin A.A., Nistratov A.V.

D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

*This paper analyzes the state of implementation of separate waste collection by citizens of the Russian Federation. The introduction of the proposed system of separate collection machines (fandomats) with arrangements to stimulate citizens to sort waste and deliver spent containers for processing is called upon to become one of the effective mechanisms for achieving the goals set by the Russian National Projects «Ecology».*

**Keywords:** ecology, waste, processing, sorting, used containers.

В настоящее время в Российской Федерации существует проблема внедрения раздельного сбора отходов среди граждан. К сожалению, сортировка отходов пока остается делом энтузиастов. Основной целью данной статьи является пересмотр поощрительных механизмов для сдачи гражданами использованной тары.

По данным аналитиков на каждого гражданина в Российской Федерации приходится в среднем около 400 кг мусора в год. Согласно основным понятиям Федерального закона от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» отходы, образующиеся в жилых помещениях в процессе потребления физическими лицами, а также товары, утратившие свои потребительские свойства в процессе их использования физическими лицами в жилых помещениях в целях удовлетворения личных и бытовых нужд относят к твердым коммунальным отходам. Почти все твердые коммунальные отходы в Российской Федерации сейчас направляются на полигоны [1, 2].

В 2019 году Российская Федерация начала проводить реформу отрасли обращения с отходами, которая призвана уменьшить количество отходов, отправляемых на полигоны и увеличить долю переработки с текущих 7% до 36% к 2024 году.

Целевые показатели данной реформы отражены в национальном проекте «Экология», следовательно, внедрение системы фандоматов выступит эффективным инструментом так называемой «мусорной реформы» [3].

В составе мусора, образованного в результате жизнедеятельности граждан, большую часть занимает использованная тара. К такой таре относят использованные пластиковые бутылки для воды, моющих средств, одноразовые контейнеры. Так, например, в Федеральном классификационном каталоге отходов, утвержденном приказом Федеральной службы по надзору в сфере природопользования от 22.05.2017 № 242, имеются такие отходы, как «тара полиэтиленовая, загрязненная пищевыми продуктами» (код по ФККО 43811801515), «тара полиэтиленовая, загрязненная средствами моющими, чистящими и полирующими» (код по ФККО 43811911514), которые относятся к V и IV классам опасности соответственно. Для того чтобы минимизировать попадание тары, утратившей потребительские свойства, на полигоны, необходимо наладить систему сбора этих отходов, а также эффективное взаимодействие бизнеса, граждан и органов государственной власти по данному вопросу [4].

Так, например, в 2019 году в семи магазинах «Перекрёсток» и трех гипермаркетах «Карусель» в Москве ведущей мультиформатной розничной компанией X5 Retail Group и одной из ведущих производителей товаров повседневного спроса компанией Unilever были установлены фандоматы (рисунок 1) для сбора пластиковой тары для передачи ее на переработку. В рамках данного проекта совместно с Coca-Cola жителям было предложено обменять тару на купон с 10% скидкой на покупку ряда продукции производства Unilever или на купон с 15%-ой скидкой на некоторые напитки Coca-Cola [5].

Фандоматы (или пандоматы) – это специальные автоматы для приема использованных пластиковых бутылок и стеклотары. При сдаче тары гражданину автоматически фандомат выдает деньги или купон на скидку. В Европе такие автоматы очень популярны и используются по настоящее время. Принцип работы фандоматов в Германии заключается в возврате сдавшему тару человеку залоговой стоимости этой тары.



Рисунок 1. Фандоматы в одном из магазинов сети «Перекрёсток»

В ходе анализа имеющейся в сети «Интернет» информации по вопросу внедрения в 2019 году фандоматов в московских магазинах выявлены основные причины, по которым данная система не получила широкого распространения:

1. Отсутствие мотивации граждан к сортировке отходов;
2. Отсутствие разработанных санитарных норм и правил для установки фандоматов;
3. Несвоевременный вывоз накопленной в фандомате тары;
4. Отсутствие широкого освещения в СМИ.

Проект, запущенный при участии X5 Retail Group и компании Unilever, направлен на получение скидки на конкретную продукцию, что значительно сокращает круг заинтересованной аудитории [3, 5]. Также отмечено, что многие фандоматы были

переполнены и граждане, приходившие в магазин с вымытыми и подготовленными для сдачи бутылками, вынуждены были либо нести их обратно домой, либо выбросить в ближайшую урну, что подрывает интерес граждан к проблеме сортировки мусора и его переработки.

Для того чтобы система фандоматов стала работоспособной, необходимо наладить систему стимулирования граждан к сдаче тары, органам государственной власти в рамках компетенции разработать правила и нормы для повсеместной реализации данного проекта, а также определить ответственных за вывоз собранной тары и направление ее на заводы по переработке.

Таким образом для того, чтобы повысить интерес граждан к вопросу ответственной сортировки и переработки отходов, необходимо делать систему скидок, ориентируясь на интересы граждан. Для студентов и молодых людей – это скидки на билеты в кино, театр, выставки, для пенсионеров – скидки на оплату ЖКХ, для работающих слоев населения – скидки на продукты, для семей с детьми – на детские товары. Размер такой скидки должен быть существенным для того, чтобы гражданин был заинтересован в сдаче тары. Для запуска такой поощрительной системы необходима поддержка государства. Также при внедрении данной системы необходимо обратить внимание на освещение темы в СМИ и доведение информации до каждого гражданина. Система сдачи тары через фандоматы призвана снизить нагрузку на полигоны и обеспечить заинтересованность граждан в сортировке отходов, а также достижение показателей, определенных в Национальном проекте «Экология».

### Список литературы

1. Утилизация мусора в России. Как реформируют отрасль [Электронный ресурс]. URL: <https://tass.ru/info/6000776>
2. Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления»
3. Судьба фандоматов в России под угрозой [Электронный ресурс]. URL: <https://futuresussia.gov.ru/nacionalnye-proekty/658817>
4. Приказ Федеральной службы по надзору в сфере природопользования от 22.05.2017 № 242 «Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов»
5. X5 и Unilever установили фандоматы в «Перекрёстках» и «Каруселях» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.x5.ru/ru/Pages/Media/News/020819-unilever.aspx>

УДК 504.064.45

Диканская О.П., Еремина Е.А., Тихонова И.О.

## ЭФФЕКТИВНОЕ СТИМУЛИРОВАНИЕ ГРАЖДАН К РАЗДЕЛЬНОМУ СБОРУ ОТХОДОВ С ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОДДЕРЖКОЙ

**Диканская Ольга Павловна**, студентка 2 курса магистратуры факультета биотехнологии и промышленной экологии, e-mail: [olga-dikanskaya3@yandex.ru](mailto:olga-dikanskaya3@yandex.ru)

**Еремина Елена Александровна**, студентка 2 курса магистратуры факультета биотехнологии и промышленной экологии;

**Тихонова Ирина Олеговна**, к.т.н., доцент кафедры промышленной экологии;

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия

*Сфера обращения с твердыми коммунальными отходами с помощью региональных операторов требует дополнительных нововведений. В статье рассмотрены способы эффективного стимулирования людей к разделному сбору отходов с помощью поддержки государства. В результате уровень переработки коммунальных отходов будет увеличен, финансовое благосостояние граждан улучшено за счет снижения коммунальных платежей, количество размещаемых отходов будет постепенно снижаться.*

**Ключевые слова:** твердые коммунальные отходы, раздельный сбор.

## EFFECTIVE STIMULATION OF CITIZENS TO SEPARATE WASTE COLLECTION WITH PUBLIC SUPPORT

Dikanskaya O.P., Eremina E.A., Tikhonova I.O.

D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

*The area of solid municipal waste management with the help of regional operators requires additional innovations. The article discusses ways to effectively stimulate people to separate waste collection using state support. As a result, the level of processing of municipal waste will be increased, the financial well-being of citizens will be improved by reducing utility bills, and the amount of waste disposed of will gradually decrease.*

**Keywords:** municipal solid waste, separate waste collection.

В настоящее время объем коммунальных отходов увеличивается такими темпами, что уже через 6 лет не останется полигонов для их размещения, а в отдельных субъектах это произойдет намного раньше. Ежегодно образуется примерно 4 млрд тонн отходов производства и потребления, из которых 55-60 млн тонн составляют твердые коммунальные отходы. Увеличивается количество отходов, которые не вовлекаются во вторичный хозяйственный оборот, а размещаются на полигонах и свалках, что приводит к выводу продуктивных сельскохозяйственных угодий из оборота. Около 15 тыс. санкционированных объектов размещения отходов занимают территории общей площадью примерно 4 млн га, и которые ежегодно увеличиваются на 300-400 тыс. га. Емкости имеющихся полигонов в 10 субъектах Российской Федерации будут исчерпаны с 2020 по 2024 год [1].

С 1 января 2019 года стартовала новая реформа по обращению с твердыми коммунальными отходами (далее – ТКО). Создан единый оператор новой отрасли – публично-правовая компания «Российский экологический оператор» (РЭО), а также внедрены системы региональных операторов. На 2019 год были запланированы работы по ликвидации 16 несанкционированных свалок в границах городов и 17 наиболее опасных объектов окружающей среде. Федеральный проект «Комплексная система обращения с твердыми коммунальными отходами» предполагает увеличение к 2024 году долю утилизируемых твердых коммунальных отходов до 36%, а направленных на обработку — до 60%. Для этого планируется ввести в эксплуатацию 31,7 млн

тонн мощностей по обработке ТКО и 23,1 млн тонн мощностей по утилизации отходов и фракций после обработки ТКО.

Вместе с тем, как показал анализ плана мероприятий по реализации федерального проекта «Комплексная система обращения с ТКО» [2], не учтены необходимые мероприятия, направленные на решение задачи по формированию комплексной системы обращения с ТКО, включая создание условий для вторичной переработки. Только в апреле 2020г. заместитель председателя Правительства РФ Виктория Абрамченко одобрила первый проект федеральной схемы обращения с ТКО. По оптимистичным планам РЭО к 2024 г. на обработку планируется направлять ~ 58 млн т ТКО, что составит более 80% отходов, в то время как в 2019 году направлялись на обработку всего лишь 18,2% отходов. Однако полностью отказаться от захоронения отходов не получится, и проект федеральной схемы обращения с отходами включает в себя строительство полигонов для размещения отходов. Проект предполагает строительство и реконструкцию 868 «мусорных» объектов (700 новых), включая 148 предприятий по сжиганию мусора общей мощностью 4,3 млн т/год. Минимальная стоимость инфраструктуры оценена в 101 млрд руб. Также в планах — постройка и модернизация 351 полигона (253 новых) мощностью 22,9 млн тонн и 355 сортировочных станций — всего в РФ образуется порядка 70 млн тонн ТКО в год, из них 35% составляют пищевые отходы. 53 станции предполагают компостирование отходов, 24 станции

— производство топлива RDF (измельчение и прессование полезных фракций для того же сжигания). Предприятий же по переработке среди новых объектов — не более десяти, в основном это также мощности по компостированию или производству RDF. В этом виде документ явно противоречит и целям реформы управления отходами, и обновленному на старте «мусорной» реформы законодательству — в нем сжигание и захоронение отходов стоят на последнем месте в перечне приоритетов государственной политики.

Долгое время даже само понятие «раздельный сбор» в РФ было вне законодательных формулировок. Лишь в 2017 году в основном законе об отходах – Федеральном законе № 89-ФЗ [3] появились соответствующие термины и полномочия у органов власти. Согласно ст. 13.4 раздельное накопление – накопление отходов путем их раздельного складирования по видам отходов, группам отходов, группам однородных отходов. Места (площадки) накопления должны соответствовать требованиям законодательства. Органы местного самоуправления определяют схему размещения мест (площадок) накопления твердых коммунальных отходов и осуществляют ведение реестра мест (площадок) накопления твердых коммунальных отходов в соответствии с правилами, утвержденными Правительством РФ. Обустройство мест накопления ТКО регламентируется Постановлением Правительства РФ от 31.08.2018 г. N 1039 «Правила обустройства мест (площадок) накопления твердых коммунальных отходов и ведения их реестра».

Отходы граждан относятся к IV классу опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду [3], базовая ставка платежа за который составляет 689,7 руб./тонну [4]. Во избежание роста тарифов для граждан в Минприроды РФ предлагают зафиксировать до 2024 года размер платы за НВОС на уровне 95 руб./тонну. В дальнейшем предполагается, что в течение 7 лет ставка будет расти на 15% в год [5]. Но вряд ли это приведет к повышению степени сортировки ТКО до значений, запланированных в Национальном проекте «Экология» [6]. В сложившейся ситуации операторам выгоднее размещение отходов на полигонах, чем развитие сортировки и обработки.

В мире существует множество методик расчета и взимания платы за вывоз и утилизацию мусора, которые базируются на соблюдении баланса интересов государства и общества. С одной стороны, государство должно обеспечить выполнение экологических стандартов и минимальных требований к экологической безопасности в части обращения с отходами. С другой стороны, утилизация отходов – это услуга, и население (основной источник образования отходов) заинтересовано в сокращении своих расходов по оплате этой услуги. Для достижения баланса интересов в Европе стали применять систему оплаты услуг по обращению с отходами, которая позволяет формировать размер коммунального платежа, исходя из количества

выбрасываемого каждым плателем мусора - «pay as you throw» (PAYT), или «плати столько, сколько выбрасываешь». Эта система основана на осознанном подходе населения к самостоятельной сортировке производимых отходов (раздельный сбор отходов). PAYT принципиально отличается от классического подхода к формированию платы за вывоз мусора, когда регулярные платежи определяются расчетным путем исходя из нормативов образования отходов и не учитывают индивидуальных показателей образования отходов для каждого человека.

Подход PAYT является экономическим инструментом, который реализует принцип «платит загрязнитель» на уровне конкретного муниципалитета. Согласно этому подходу потребитель (собственник отходов) платит за услуги по обращению с отходами, исходя из количества определенных видов отходов, которые он представляет для сбора местным властям. Основной задачей PAYT является стимулирование населения к сокращению количества выбрасываемых отходов: чем меньше потребитель производит отходов, тем меньше он платит за их вывоз и утилизацию. Как правило, население платит за услугу по обращению с так называемыми «хвостами» (отходами, не подлежащими дальнейшей переработке), органическими отходами и крупногабаритными отходами.

Исходя из международного опыта, в России требуется изменение системы государственного регулирования в сфере обращения с ТКО. Например, если гражданин отсортировал свои отходы по фракциям (пластик, стекло, бумага и прочее), отнес в пункт приема вторсырья в шаговой доступности (важна именно шаговая доступность, т.к. многие отказываются прибегнуть к сортировке ввиду удаленности от пункта приема), в этом же пункте приема в зависимости от веса сданного вторсырья получил купон с QR-кодом, который может реализовать в одном из нескольких направлений, предложенных ниже.

В Москве и Московской области контейнеры с синей наклейкой и надписью «Вторсырье» предназначены для отходов, которые подлежат переработке (бумага, пластик, стекло и металл), а контейнеры с серой наклейкой и надписью «Смешанные отходы» предназначены для всех остальных ТКО, включая: пищевые отходы, средства личной гигиены, неперерабатываемые емкости из-под продуктов питания и другое.

Однако предложенная в настоящее время система раздельного сбора по видам («сухие» и «мокрые») [7] отходы не воспринимается жителями. Социальные сети пестрят записями, фото и видео, на которых отходы из двух баков загружаются в одну машину. Граждане не понимают, что данные отходы могут и будут отсортированы на сортировочных станциях, закрадывается подозрение, что приложенные усилия по сортировке (а в идеальном случае – и отмывке) мусора оказались напрасными, а отходы в конечном счете попадут на полигон для размещения.

Направления для реализации могут быть различными, но крайне необходима государственная поддержка. В первую очередь, жителей городов стимулирует получение скидки на оплату коммунальных услуг и скидка/полный билет на любой из видов транспорта. Т.к. плата за размещение отходов юридически не входит в тариф, однако фактически включена в эту сумму, справедливо было бы снижать эту величину пропорционально количеству сданного вторсырья на переработку. Ведь гражданин сам отсортировал свой мусор и отнес в пункт приема, значит, фактически количество отходов, попавших на ОРО, снизилось в общей массе.

Существует также немалое количество людей, живущих в арендуемом жилье, поэтому скидка на коммунальные услуги им будет неактуальна, но в то же время транспортными услугами пользуется большинство.

Рассмотрим ситуацию, когда гражданин живет на съемной квартире в шаговой доступности от работы и транспортом не пользуется. Здесь существует два пути: скидка на услуги в культурно-образовательной сфере (снижение стоимости оплаты за государственный детский сад или секции, скидка на посещение театров, кино, музеев) или скидка на товары народного потребления (молоко, крупы, хлеб) / на весь чек (исключая алкоголь и табачную продукцию). Но в случае со скидкой на продовольствие возникает нюанс – для скидки необходимо либо договориться с производителем товара (тогда скидка будет ограничивать покупателей в выборе производителя), либо покрывать недостаток выручки производителя за счет государственного бюджета.

Возможно, будут люди, которые откажутся от сортировки отходов по каким-либо своим причинам (недостаток места в жилье или времени для сортировки, а может быть финансы позволяют или человеку безразлично). В подобной ситуации гражданин вправе выбросить несортированный мусор, но заплатить за это будет обязан в полной мере. Т.к. за него необходимо будет провести сортировку, а может часть отходов будет невозможно переработать ввиду загрязненности сырья, следовательно, отходы придется размещать на объекте размещения отходов. Тогда при оплате повышенной ставки за отходы часть этой суммы может покрывать предоставленные скидки для вышеуказанных категорий граждан.

Не менее важно провести масштабную рекламную кампанию, чтобы все граждане были оповещены о возможностях получения скидки в обмен на вторсырье. Это может быть реклама в платежных квитанциях на оплату коммунальных услуг, рекламные ролики по телеканалам, в метро, в газетах, социальных сетях. Также многие из опрошенных нами жителей отмечали необходимость создания небольших памяток по сокращению образования отходов в повседневной жизни (какие из предметов

обихода можно заменить, как правильно сортировать отходы и т.д.).

Таким образом, при внедрении системы эффективного стимулирования граждан, уровень переработки ТКО будет увеличен, финансовое благосостояние граждан улучшено за счет снижения коммунальных платежей, количество размещаемых отходов на полигонах будет постепенно снижаться.

В своем отчете [1] Счетная палата Российской Федерации указала на отсутствие мер и целевых показателей по стимулированию отдельного сбора отходов, в первую очередь пищевых, что препятствует эффективной работе предприятий по переработке отходов, являющихся для них сырьем. В мае 2020г. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации направило проект [8] для согласования в заинтересованные ведомства, в котором предлагает освободить от оплаты за вывоз мусора россиян, которые сортируют свои отходы. Надеемся, точка зрения, отраженная в статье, совпадает с видением Минприроды.

### Список литературы

1. Отчет о результатах экспертно-аналитического мероприятия «Мониторинг хода реализации мероприятий национального проекта «Экология», в том числе своевременности их финансового обеспечения, достижения целей и задач, контрольных точек, а также качества управления», Счетная палата Российской Федерации, 2020.
2. Паспорт федерального проекта «Комплексная система обращения с твердыми коммунальными отходами». Утв. Президиумом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол № 16 от 24.12.2018.
3. Федеральный закон "Об отходах производства и потребления" от 24.06.1998 N 89-ФЗ.
4. Постановление Правительства РФ от 13.09.2016 № 913 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах».
5. Постановление Правительства от 29.06.2018 № 758 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду при размещении твердых коммунальных отходов IV класса опасности (малоопасные) и внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации»;
6. Паспорт национального проекта «Экология». Утв. Президиумом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол № 16 от 24.12.2018;
7. Распоряжение № 350-РВ от 26.06.2019 «Об утверждении Порядка накопления твердых коммунальных отходов (в том числе их отдельного накопления) на территории Московской области».
8. Письмо Минприроды России от 30.04.2020 № 01-25-07/10257 «О внесении проекта Плана мероприятий «дорожная карта».

УДК 628.316.13

Кузин Е.Н., Фадеев А.Б.

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ТИТАНСОДЕРЖАЩИХ  
КОАГУЛЯНТОВ**Фадеев Андрей Борисович**, аспирант факультета биотехнологии и промышленной экологии,  
e-mail: fadeev89@mail.ru**Кузин Евгений Николаевич**, к.т.н., доцент, заведующий лабораторией кафедры промышленной экологии;  
Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия  
125480, Москва, ул. Героев Панфиловцев, д. 20

*Комплексные титансодержащие коагулянты новые и весьма эффективные реагенты для очистки сточных вод различного происхождения. На сегодняшний день не существует технологии производства титансодержащих реагентов, а все образцы комплексных коагулянтов являются бинарными смесями чистых реагентов. В рамках исследования в процессе сернокислотного вскрытия ильменитового и сфенового концентрата были получены титансодержащие растворы, которые были подвергнуты процессу химической дегидратации с образованием 18-водного кристаллогидрата сульфата алюминия (Комплексный титансодержащий коагулянт). Полученные образцы были испытаны на реальной сточной воде машиностроительного производства. Доказано, что эффективность комплексных титансодержащих коагулянтов в среднем на 15 % выше, чем у традиционного реагента на основе сульфата алюминия.*

**Ключевые слова:** комплексный коагулянт, химическая дегидратация, водоочистка, ильменит, сфен

## TECHNOLOGY OF PRODUCING INTEGRATED TITANIUM-CONTAINING COAGULANTS

Kuzin E.N., Fadeev A. B.

D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

*Complex titanium-containing coagulants are new and highly effective reagents for wastewater treatment of various origins. To date, there is no technology for the production of titanium-containing reagents, and all samples of complex coagulants are binary mixtures of pure reagents. As part of the study, titanium-containing solutions were obtained during the sulfuric acid opening of ilmenite and sphene concentrate, which were subjected to chemical dehydration with the formation of aluminum sulfate 18-hydrate crystalline (complex titan contained coagulant). The obtained samples were tested on real wastewater of engineering production. It is proved that the effectiveness of complex titanium-containing coagulants is on average 15% higher than that of a traditional reagent based on aluminum sulfate.*

**Keywords:** complex coagulant, chemical dehydration, water treatment, ilmenite, sphene

Объемы промышленного производства возрастают ежегодно, при этом соответственно увеличиваются объемы образующихся сточных вод. Одним из наиболее весомых источников образования сточных вод является машиностроительное производство. Обычно для очистки подобных стоков применяют локальные сооружения физико-химической очистки.

В качестве основной стадии физико-химической очистки является коагуляция. Обычно в качестве коагулянта применяют соли железа или алюминия, однако несмотря на низкую стоимость и относительно высокую эффективность данным реагентам присущи определенные недостатки. Так, например, соединения алюминия неэффективны при низкой температуре воды и имеют ограниченный диапазон pH применения. Соединения железа обладают ярко выраженными коррозионными свойствами и могут образовывать органические комплексы что приводит к вторичному загрязнению воды [1].

В последнее время все чаще встречается информация о перспективности комплексных коагулянтов. Комплексные алюмокремниевые реагенты показали свою высокую эффективность, однако низкая концентрация активного компонента и процессы поликонденсации реагента существенно ограничивают его промышленное применение.

Другим альтернативным реагентом являются титансодержащие реагенты, эффективность значительно превосходит традиционные реагента, при этом они лишены практически всех недостатков. Существенным фактором, ограничивающим повсеместное применение титансодержащих коагулянтов, является их высокая стоимость [2].

В качестве решения могут быть использованы комплексные титансодержащие коагулянты – традиционные реагенты, модифицированные соединениями титана. Согласно данным различных источников и результатам предварительных экспериментов эффективное содержание соединений титана в зависимости от типа сточной воды может изменяться от 2,5 до 20 % масс [3,4]. В настоящее время не существует промышленной технологии производства комплексных титансодержащих коагулянтов, а все комплексные реагенты являются бинарными смесями.

Основной задачей данной работы является разработка технологии получения комплексных титансодержащих коагулянтов из крупнотоннажного сырья, при этом предполагаемая технологическая схема должна быть легко адаптируема под традиционные процессы переработки указанного сырья.

В качестве основы для получения комплексного коагулянта была принята сернокислотная технология

переработки химически активного титаносодержащего сырья с получением пигментного диоксида титана. Сегодня подобный процесс переработки ильменита используют на ЧАО «Крымский титан» [5], а также на Кольском полуострове разрабатывается аналогичная технология переработки сфена [6].

Процесс получения образцов комплексного коагулянта состоит из двух стадий:

1. Сернокислотное вскрытие сырья с получением титаносодержащих растворов.
2. Нейтрализация свободной серной кислоты и повышение содержание активных компонентов.

В качестве объекта исследования были выбраны образцы ильменита и сфена. Данные по химическому составу исследуемых образцов представлен на диаграмме 1 и 2.

Из данных рисунков 1 и 2 видно, что исследуемые образцы содержат в своем составе значительные количества титана, при этом в литературных источниках описана высокая эффективность извлечения титана из указанных минералов серной кислотой.

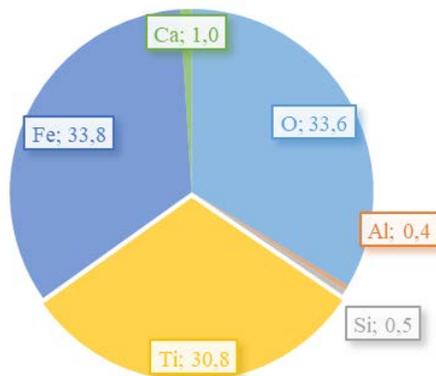


Рисунок 1. Химический состав ильменита

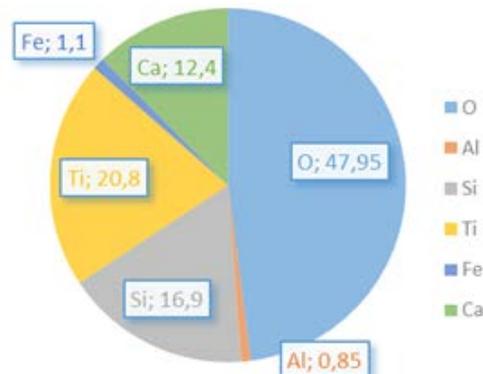
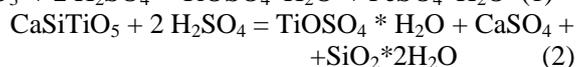
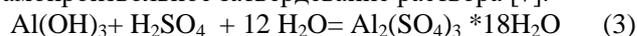


Рисунок 2. Химический состав сфена

Вскрытие проводили 80-85 % серной кислотой при нагревании, в течение 6 часов. В процессе эксперимента варьировали соотношение фаз сырье:кислота. Процесс разложения минералов серной кислотой протекает по реакциям 1 и 2.



В полученные многокомпонентные, растворы с различным содержанием сульфата титана (25 – 150 г/л) при поддержании температуры (80 – 90 °С) и перемешивании вводили суспензию гидроксида алюминия в воде. Гидроксид алюминия нейтрализует свободную серную кислоту с образованием 18-водного кристаллогидрата сульфата алюминия по реакции 3 и происходит самопроизвольное затвердевание раствора [7].



В полученных твердых образцах определяли нерастворимую часть. Содержание водорастворимых соединений на атомно-эмиссионном спектрометре с магнитной плазмой «Спектро-Скай». Данные о количественном составе в пересчете на продукты кристаллизации приведены в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав полученных образцов

Т:Ж	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}, \%$	$\text{TiOSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}, \%$	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}, \%$	Нерастворимая часть, %
Ильменит				
1:2	69,3	14,5	12,5	3,7
1:4	85,0	6,8	5,8	2,4
1:6	90,3	4,4	3,8	1,5
Сфен				
1:1	51,7	20,6	-	27,7
1:2	74,3	10,3	-	15,4
1:3	84,8	5,1	-	10,1

Из данных таблицы 1 видно, что в процессе сернокислотной переработки ильменита возможно получение комплексных коагулянтов тройного состава, при этом нерастворимая часть лежит в пределах 1 – 4 % масс. Содержание нерастворимой фазы в коагулянтах, полученных в процессе сернокислотной переработки сфена превосходит данный параметр для ильменитового сырья примерно в 5 – 7 раз, что можно объяснить образованием нерастворимого гипса и коллоидного кремнезема. В качестве возможной меры снижения

нерастворимой части может быть применено отстаивание или центрифугирование раствора перед введением в него гидроксида алюминия.

Исследование эффективности полученных образцов коагулянтов проводили объединенном промышленном стоке машиностроительного предприятия города Электросталь (Московская область). Эффективность очистки оценивали по изменению содержания взвешенных веществ, железа и нефтепродуктов. Данные по эффективности очистки представлены в таблице 2.

Таблица 2.

## Остаточные концентрации загрязняющих веществ и эффективность очистки

Остаточные концентрации	Fe <sub>общ</sub> , мг/л		НП, мг/л		Взв. Вещ-ва, мг/л	
Исходная концентрация	11,3		4,76		196	
Доза коагулянта (Me <sub>x</sub> O <sub>y</sub> ), мг/л	40	80	40	80	40	80
КК (ильменит) Т:Ж 1:6	0,87	0,35	0,62	0,17	1,26	0,14
КК (сфен неф.) Т:Ж 1:3	1,15	0,60	0,58	0,10	2,68	1,12
КК (сфен фил.) Т:Ж 1:3	0,92	0,33	0,66	0,22	1,28	0,13
Сульфат алюминия	1,18	0,50	1,18	0,67	1,55	0,53

Из данных таблицы 2 видно, что эффективность комплексных коагулянтов, полученных из титаносодержащего сырья, по отношению к исследуемым загрязняющим веществам превышает эффективность традиционных реагентов (сульфат алюминия) в среднем на 10 – 15%. Повышенная эффективность комплексных коагулянтов можно объяснить, процессами, протекающими на поверхности продуктов гидролиза соединений титана. Данные процессы могут иметь флокуляционный характер (полимеризация титановых кислот) [8-9], или основываться на нейтрализационной коагуляции за счет разницы заряда продуктов гидролиза алюминия и железа и соединений титана. Добавка к положительно заряженным гидроксидам алюминия и железа отрицательно заряженных продуктов гидролиза соединений титана будет запускать процесс зародышеобразования [10], что также позволяет повысить эффективность очистки [1, 10].

Сернокислотная технология получения комплексных титаносодержащих коагулянтов – новое перспективное направление, позволяющее расширить линейку выпускаемых реагентов. Комплексные коагулянты, полученные на базе сернокислотной переработки ильменита и сфена, показали свою высокую эффективность в процессах водоочистки промышленных сточных вод. Предлагаемая схема производства комплексных титаносодержащих коагулянтов может быть интегрирована в действующие производства (например, ЧАО Крымский титан).

## Список литературы

1. Драгинский В. Л., Алексеева Л. П., Гетманцев С. В. Коагуляция в технологии очистки природных вод. М., Науч. изд. 2005. 576 с.
2. Kuzin E. N., Krutchinina N. E. Purification of circulating and waste water in metallurgical industry using complex coagulants // CIS Iron and Steel Review — Vol. 18 (2019), pp. 72–75
3. Измайлова Н.Л., Лоренцсон А.В. Исследование гидролиза разбавленных водных

растворов TiOSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O и TiCl<sub>4</sub> и электроповерхностных свойств образующихся продуктов// Тезисы VI Всероссийской конференции молодых ученых, аспирантов и студентов с международным участием «Менделеев -2012» - СПб: Издательство Соло, 2012. – С. 205 – 207.

4. H. Shon, S. Vigneswaran, J. Kandasamy, M. Zareie, J. Kim, D. Cho, J.H. Kim, Preparation and characterization of titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) from sludge produced by TiCl<sub>4</sub> flocculation with FeCl<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> and Ca(OH)<sub>2</sub> coagulant aids in wastewater, Sep. Sci. Technol. 44 (2009) P. 1525–1543

5. Копьёв Д.Ю., Садыхов Г.Б., Гончаренко Т.В., Олюнина Т.В., Леонтьев Л.И. К вопросу об использовании лейкоксенового концентрата для производства пигментного диоксида титана сернокислотным способом В книге: V Международная конференция-школа по химической технологии сборник тезисов докладов спутниковой конференции XX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии : в 3х томах. 2016. С. 246-247.

6. Герасимова Л.Г., Щукина Е.С., Маслова М.В. Технология переработки сфенового концентрата с получением титановых солей// Химические технологии. – 2008. – № 6. –С. 241-244.

7. Патент. RU 2 588 535, от 02.04.2015 г. Е.Н. Кузин, Н. Е. Кручинина Способ получения алюмокремниевого флокулянта-коагулянта

8. H. Shon, S. Vigneswaran, J. Kandasamy, M. Zareie, J. Kim, D. Cho, J.H. Kim, Preparation and characterization of titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) from sludge produced by TiCl<sub>4</sub> flocculation with FeCl<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> and Ca(OH)<sub>2</sub> coagulant aids in wastewater, Sep. Sci. Technol. 44 (2009) P. 1525–1543

9. Шабанова Н.А., Попов В.В., Саркисов П.Д. Химия и технология нанодисперсных оксидов. Учебное пособие Текст. // М.: ИКЦ «Академкнига». -2007. -309 с.

10. Гетманцев С. В., Нечаев И. А., Гандурина Л. В. Очистка производственных сточных вод коагулянтами и флокулянтами. М.: «АСВ», 2008. 271 с.

УДК: 631.824:658.567.1

Фролова С.Р., Кузин Е.Н., Кручинина Н.Е., Азопков С. В.

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ПЛАСТОВЫХ ВОД ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯЦИЕЙ

**Фролова София Романовна** – студент группы Э-43 кафедры промышленной экологии, e-mail: sofi.fr3@gmail.com;

**Кузин Евгений Николаевич** – к.т.н., доцент кафедры промышленной экологии;

**Кручинина Наталия Евгеньевна** – д.т.н, проф., заведующая кафедрой промышленной экологии;

**Азопков Сергей Валерьевич** – аспирант кафедры промышленной экологии

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия

125480, Москва, ул. Героев Панфиловцев, д. 20

*Процесс нефтедобычи сопровождается образованием огромных объемов пластовых высокоминерализованных вод с содержанием нефтепродуктов до 500 мг/л. В рамках эксперимента была проведена оценка возможности использования процесса электрокоагуляции для очистки данного типа сточных вод. Произведена оценка эффективности очистки модельной воды методом электрокоагуляции с использованием алюминиевых, железных и титановых электродов, а также оценка влияния добавки соединений титана на общую эффективность удаления нефтепродуктов из воды.*

**Ключевые слова:** пластовые воды, электрокоагуляция, титансодержащий коагулянт, нефтедобыча.

## EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF RESERVOIR WATER TREATMENT BY ELECTROCOAGULATION PROCESSES

Frolova S.R., Kuzin E. N., Krutchinina N. E., Azopkov S. V.

D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

*The oil production process is accompanied by the formation of huge volumes of highly mineralized formation water with an oil content of up to 500 mg / l. As part of the experiment, an assessment was made of the possibility of using the electrocoagulation process for purification of this type of wastewater. The efficiency of model water purification by the electrocoagulation method using aluminum, iron and titanium electrodes was evaluated, as well as the effect of the addition of titanium compounds on the overall efficiency of removing oil products from water was evaluated.*

**Keywords:** reservoir water, electrocoagulation, titanium-containing coagulant, oil production.

Из года в год увеличивается потребность в различных видах продуктах нефтехимического синтеза, что приводит к неизбежному росту производственных мощностей нефтеперерабатывающих предприятий и увеличению количеств нефтедобывающих скважин.

Процесс нефтедобычи включает в себя операцию заводнения нефтеносных пластов, что приводит к образованию больших объемов пластовых высокоминерализованных вод. В среднем, добыча одной тонны нефти влечет за собой образование до 5 тонн загрязненных вод [1].

Попадая в водоем, нефтепродукты и их производные значительно ухудшают показатели качества воды и нарушают такие процессы, как тепло- и кислородообмен уже при концентрации выше 2 мг/л, а, как известно, в пластовых водах концентрация нефтепродуктов может достигать до 500 мг/л.

Основным способом очистки пластовых вод от нефтепродуктов является коагуляция (или ее частный случай электрокоагуляция), наиболее распространенными веществами для интенсификации процесса – соединения алюминия или железа в форме сульфатов или хлоридов. Однако они имеют ряд существенных ограничений, что делает их малоэффективными [2-3]. Это делает задачу поиска новых высокоэффективных

коагулянтов, на сегодняшний момент, очень актуальной.

Основная задача данной работы – оценка эффективности очистки пластовых вод от нефтепродуктов с использованием процесса электрокоагуляции [4]. В качестве дополнительной задачи стоял вопрос оценки возможности интенсификации процесса очистки за счет введения в обрабатываемую воду соединений титана. В качестве объекта исследования была выбрана модельная пластовая вода с концентрацией солей 200 г/л и концентрацией нефтепродуктов ~ 100 мг/л.

В ходе первого этапа были определены оптимальные параметры процесса электрокоагуляции. К основным параметрам процесса относятся: материал электродов и сила тока, при которых достигается наилучшая эффективность очистки модельной воды от нефтепродуктов. Время процесса 10 минут. После завершения процесса очищенную воду отстаивали в течение 30 минут и анализировали на содержание нефтепродуктов в осветленной части.

Определение содержания нефтепродуктов проводили с использованием ИК-Концентраметра Кн-2М с экстракцией на CCl<sub>4</sub>. Данные по эффективности очистки модельной воды в процессе электрокоагуляционной обработки представлены в таблице 1.

Таблица 1. Эффективность очистки модельной воды, в зависимости от силы тока и материала электрода

	Электрод								
	Al			Fe			Ti		
I, A	1	2	3	1	2	3	1	2	3
C, мг/л	86,29	16,03	18,87	7,32	13,21	12,31	4,225	8,59	9,14
$\eta$ , %	13,71	83,97	81,13	92,68	86,79	87,69	95,775	91,41	90,86

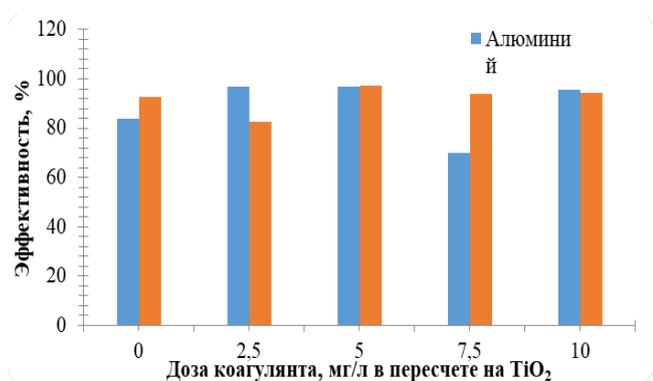
Из данных таблицы 1 можно сделать вывод о том, что наилучшая эффективность очистки достигается при использовании титановых электродов. Исходя из полученных данных, также можно сделать вывод, что доза солей титана необходимая для эффективной очистки пластовой воды была существенно ниже, чем для алюминия или железа. На основании предварительных расчетов сформулировано предположение, что практическое использование титановых электродов может быть затруднено ввиду высокой стоимости процесса и возможных явлений пассивации. На основании этих данных для дальнейшего исследования будут рассмотрены железные и алюминиевые электроды.

Согласно ряду литературных источников, добавка соединений титана к традиционным реагентам позволяет существенно повысить эффективность очистки [5-6]. На следующем этапе исследования была проведена оценка влияния добавки хлорида титана (IV) на эффективность очистки модельной воды. Водные растворы  $TiCl_4$  добавляли в качестве добавки в воду, прошедшую стадию электрокоагуляции с использованием алюминиевых или железных электродов. Содержание титановой добавки варьировали 2,5 – 10% от масс растворенного металла электрода. Данные по влиянию добавки соединений титана на эффективность очистки представлены в таблице 2.

Таблица 2. Эффективность очистки модельной воды от нефтепродуктов, с использованием хлорида титана (IV) в качестве коагулянта

Электрод	Al					Fe				
Добавка соединений титана %, масс.	0	2,5	5,0	7,5	10	0	2,5	5,0	7,5	10
Остаточная концентрация нефтепродуктов, мг/л	16,03	3,09	3,095	29,93	4,51	7,32	17,29	2,74	6,17	5,74

Из данных таблицы 2 видно, что добавка соединений титана в количестве 5,0 – 7,5 % масс от массы растворенного в процессе электролиза металла позволяет существенно понизить остаточную концентрацию нефтепродуктов в очищаемой воде. Оценка влияния соединений титана на эффективность очистки представлена на графике рисунок 1.

Рисунок 1. Эффективность очистки модельной воды при использовании  $TiCl_4$ 

На основании данных таблицы 2 и рисунка 1, можно сделать вывод о том, что добавление данного коагулянта позволяет значительно (15 – 20 %) повысить эффективность очистки воды от нефтепродуктов. Повышенная эффективность очистки при добавлении соединений титана обусловлена процессами поликонденсации соединений титана [7] и процессами нейтрализационной коагуляции заряда на поверхности частиц (зародышеобразование) [2, 3]. С учетом того, что добавка хлорида титана (IV) не превышает 10 % масс., расчётная стоимость реагента для водоочистки возрастает незначительно.

Заключительным этапом исследования стала оценка влияния соединений титана на скорость фильтрации образующихся коагуляционных шламов. В качестве объекта исследования были взяты образцы, полученные при добавке 5 % масс. тетраоксида титана к воде, прошедшей электрокоагуляционную очистку с использованием алюминиевых или железных электродов. Измерение скорости фильтрации проводили пропуская заданного объема предварительно обработанной воды через фильтр «красная лента» в течение 60 секунд. Данные по изменению скорости фильтрации представлены на диаграмме (Рисунок 2).

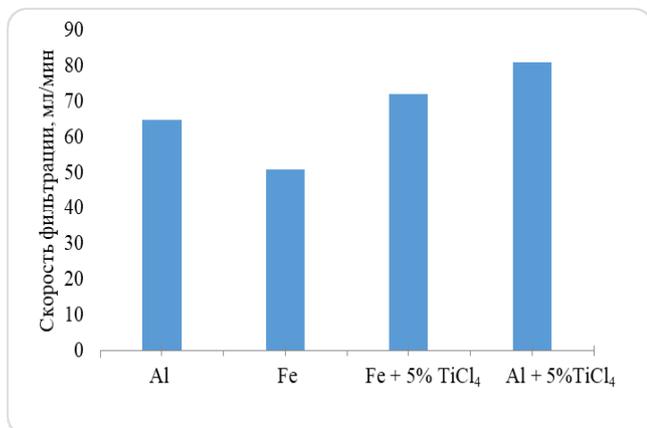


Рисунок 2. Скорость фильтрации осадков

Из данных рисунка 2 видно, что добавка соединений титана в количестве 5 % позволяет увеличить скорость фильтрации примерно на 20 %, что позволит сократить габариты используемого оборудования и увеличить скорость процесса.

#### Заключение

В результате эксперимента установлено, процесс электрокоагуляции является эффективным решением процесса удаления и нефтепродуктов из пластовых вод. На основании предварительных экономических расчетов установлено, что наиболее целесообразно использовать алюминиевые или железные электроды. Доказано, что добавка соединений титана в процессе электрокоагуляционной очистки пластовых вод позволяет существенно (15 – 20 %) повысить эффективность очистки, а также интенсифицировать процесс фильтрации образующихся осадков, что определенно окажет положительное влияние на стоимость процесса очистки.

#### Список литературы:

1. Мещурова Т.А., Ходяшев М.Б. К вопросу о пластовой и подтоварной воде // Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства, Пермь, 2018. №4.–С. 68-73.
2. Бабенков Е. Д. Очистка воды коагулянтами. М.: "Наука", 1997. 347 с.
3. Драгинский В. Л., Алексеева Л. П., Гетманцев С. В. Коагуляция в технологии очистки природных вод. М., Науч. изд. 2005. 576 с.
4. Ганоцкая Е.Д. Разработка экологически безопасной технологии электрокоагуляционной деминерализации нефтяных сточных пластовых вод (на примере месторождения Дыш Краснодарского края): Дисс. / ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный университет».- Казань.,2015. с.
5. Кручинина Н.Е., Кузин Е. Н., Азопков С. В. Комплексные коагулянты в процессах очистки сточных вод с высоким содержанием нефтепродуктов / Материалы 8-й международной научно-технической конференции Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства - Омск: Изд-во ОмГТУ, 2018. С. 209-210
6. Кузин Е.Н., Аверина Ю. М., Курбатов А. Ю, Сахаров П. А, Очистка сточных вод гальванического производства с использованием комплексных коагулянтов-восстановителей // Цветные металлы. Москва 2019. N10.- С.91-96
7. Wang T.-H., Navarrete-López A.M., Li S., Dixon D.A., Gole J.L. Hydrolysis of TiCl<sub>4</sub>: Initial steps in the production of TiO<sub>2</sub>. *J. Phys. Chem. A*. 2010. 114(28). P. 7561–7570. DOI: 10.1021/jp102020h.

**Российский химико-  
технологический  
университет  
имени Д.И. Менделеева**



**При поддержке**

**Российского химического  
общества им. Д. И. Менделеева**



**ООО «БИНАКОР-ХТ»**



Научное издание

**УСПЕХИ В ХИМИИ И ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

**Том XXXIV**

**№ 11 (234)**

Компьютерная верстка: Зверева О.В.  
Текст репродуцирован с оригиналов авторов

Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева  
Студенческое трансферное агентство разработок и технологий (С.Т.А.Р.Т)

Адрес университета: 125047, г. Москва,

Миусская пл., д. 9