

БИОТЕХНОЛОГИЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

DOI: 10.15593/2224-9400/2020.3.01

УДК 636.086.783

Ю.А. Смятская

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия

БИОТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ИЗ БИОМАССЫ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ ХЛОРЕЛЛА И ХИТОЗАНА КОРМОВОЙ ДОБАВКИ

В данной работе рассматривается возможность создания нетрадиционных кормовых добавок из микроводорослей рода хлорелла и хитозана для мелкого и крупного рогатого скота и птицы. Сбалансированное питание сельскохозяйственных животных позволяет снизить их заболеваемость, увеличить прирост массы и повысить удои. Комплексное использование микроводорослей рода хлорелла и хитозана позволяет решить указанные проблемы.

Использование микроводорослей позволяет обогатить рацион сельскохозяйственных животных рядом полезных компонентов, таких как белки, полиненасыщенные жирные кислоты, пигменты, витамины и микроэлементы. Хитозан обладает противомикробными, иммуномодулирующими и ранозаживляющими свойствами.

*В статье предлагается использовать нативную биомассу микроводорослей *Chlorella sorokiniana* и остаточную биомассу для получения кормовой добавки.*

Культивирование биомассы проводили при следующих условиях: оптимальная интенсивность освещения 2500 ± 300 лк, температура для роста биомассы 28 ± 2 °C, кислотность среды $8,0 \pm 0,5$ ед. рН, длительность культивирования 8–10 дней.

*После извлечения из биомассы микроводорослей *C. sorokiniana* липидного комплекса остается целый спектр ценных компонентов, которые могут быть использованы для обогащения кормовой добавки. В свою очередь хитозан выполняет двойную функцию как связующий компонент для формирования гранул, так и рядом полезных свойств.*

*Гранулирование кормовой добавки проводится покапельным методом, путем растворения хитозана в уксусной кислоте и с последующим смешением с биомассой микроводоросли. Для формирования гранул смесь покапельно вводят в раствор 5%-ной щелочи. Предлагается изготавливать 2 вида гранул на основе нативной и остаточной биомассы микроводоросли *C. sorokiniana*.*

Полученные гранулы имеют небольшой размер и могут быть использованы для введения в рацион как крупных, так и мелких сельскохозяйственных животных, а также как компонент питания птиц.

Ключевые слова: биомасса микроводоросли *C. sorokiniana*, хитозан, кормовая добавка, гранулирование, ценные компоненты.

Yu.A. Smyatskaya

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg, Russian Federation

BIOTECHNOLOGY OF CREATING A FEED ADDITIVE FROM BIOMASS OF MICROALGAE CHLORELLA AND CHITOSAN

This paper discusses the possibility of using unconventional feed additives for microalgae of the genus Chlorella and chitosan for small and cattle and poultry. A balanced diet can reduce morbidity, increase weight gain, increase milk yield and improve the quality of life of farm animals.

The use of microalgae of the genus Chlorella allows you to enrich the diet of farm animals with a number of useful components, such as proteins, polyunsaturated fatty acids, pigments, vitamins and trace elements. Chitosan, in turn, has antimicrobial, immunomodulatory and wound healing properties.

The article proposes to use the native biomass of the microalgae Chlorella sorokiniana and the residual biomass to obtain a feed additive.

Biomass cultivation was carried out under the following conditions: optimal illumination intensity – 2500 ± 300 Lx, temperature for biomass growth – 28 ± 2 °C, medium acidity is 8.0 ± 0.5 units. pH, cultivation time 8-10 days.

After the extraction of the lipid complex from the biomass of microalgae C. sorokiniana, a whole spectrum of valuable components remains, which can be used to enrich the feed additive. Chitosan serves a dual function as a binder for the formation of granules and a number of beneficial properties.

Granulation of the feed additive is carried out by the drop-by-drop method, by dissolving chitosan in acetic acid and followed by mixing with microalgae biomass. To form granules, the mixture is introduced dropwise into a solution of 5% alkali. It is proposed to produce 2 types of granules based on the native and residual biomass of the microalga C. sorokiniana.

The resulting granules are small and can be used for introducing into the diet of both large and small farm animals, as well as a food element for birds.

Keywords: *biomass of microalgae C. sorokiniana, chitosan, feed additive, granulation, valuable components.*

В настоящее время очень остро стоит проблема качественного питания. К сожалению, мясные продукты, попадающие на стол потребителя, не всегда соответствуют вкусовым качествам и нормативам безопасности. Использование безопасных кормовых добавок при выращивании позволит получить качественный продукт к столу потребителя.

Основные задачи кормовых добавок – это повышение усвояемости питательных веществ, внесение дополнительных витаминов и ценных компонентов, снижение токсичности и бактериальной обсеменен-

ности традиционных кормов. Использование кормовых добавок позволит значительно снизить заболеваемость птиц и животных [1, 2].

Мировое сообщество приходит к тому, чтобы максимально снизить и в дальнейшем полностью исключить использование антибиотиков в кормовых добавках. Антибиотики по пищевой цепочке попадают в организм человека, а их неконтролируемый прием приводит к негативным последствиям, таким как сбои в работе иммунной системы, нарушаются обменные процессы, возникают дисбактериозы, диспепсии, другие болезни. Данное обстоятельство обуславливает необходимость поиска безопасных компонентов с положительным влиянием на продуктивные и биологические особенности организма сельскохозяйственных животных и птиц.

Уникальной альтернативой является хитозан, обладающий противомикробным действием, он положительно воздействует на обмен веществ, обладает иммуностимулирующей и ранозаживляющей активностью. Хитозан не токсичен, не обладает кумулятивными свойствами, не изменяет антитоксическую функцию печени [3, 4]. В настоящее время хитозан находит все более широкое применение в животноводстве и птицеводстве [5–7].

Для обогащения кормов витаминами, микроэлементами, полиненасыщенными жирными кислотами, белками широко используют микроводоросли рода хлорелла. Хлорелла – род одноклеточных пресноводных водорослей из отдела зеленых водорослей с характерным изумрудно-зеленым цветом и травянистым запахом, которые обусловлены высоким содержанием в клетках хлорофилла. Клетка хлореллы является объектом повышенного интереса ученых в качестве сырья для получения новых продуктов питания из-за своего химического состава. В сухом веществе хлореллы содержится 40–55 % сырого протеина, включая незаменимые аминокислоты, около 15 % липидов, до 30 % углеводов и до 10 % зольных веществ. Однако при изменении концентрации компонентов питательной среды во время культивирования можно добиться следующего состава биомассы: 9–88 % белка, 5–86 % липидов, 6–38 % углеводов.

В составе клетки наблюдаются незаменимые в питании животных аминокислоты: лизин, метионин, триптофан, аргинин, гистидин, лейцин, изолейцин, фенилаланин, треонин и валин, а также витамины группы В (В₁, В₂, В₆, В₁₂), С, провитамин D, РР, Е, витамин К (филохинон), аскорбиновая кислота, пантотеновая кислота, фолиевая кислота,

биотин, лейковорин и даже вещество с антибиотическим эффектом, названное «хлореллин». Количество указанных выше веществ сильно варьируется в зависимости от условий культивирования и фазы развития микроводоросли. Таким образом, по своей питательности хлорелла не уступает мясу и превосходит многие другие продукты питания, отчего она и приобрела громкое название «суперфуд» [8].

При введении в рацион телят биомассы с полученным учеными штаммом *C. vulgaris* живая масса телят увеличивалась до 40 %, поросят – до 30 %, а бройлеров – до 20 %. Также наблюдалось увеличение сохранности молодняка [9]. Полученные положительные результаты стимулировали изучение возможностей и перспектив применения хлореллы в качестве компонента комбикормов для крупного рогатого скота и птиц [10]. Как было обосновано в работе [11], хлорелла имеет преимущества над антибиотиками и другими кормовыми добавками, а также не изменяет химический состав мяса.

Установлено, что использование микроводорослей в кормлении повышает устойчивость животных к различным заболеваниям, в первую очередь, связанных с авитаминозом, ускоряют их рост и размножение, повышают объем и качество товарной продукции. Микроводоросли находят применение и в рыбном хозяйстве в качестве белково-витаминных кормовых добавок к рациону рыб. Также доказано, что применение загущенной суспензии микроводорослей является эффективным лекарственным средством против диспении молодняка. Целесообразность использования микроводорослей в животноводстве заключается в том, что она способствует более полной усвояемости кормов и, следовательно, получению дополнительных привесов, увеличению молочной продуктивности, лучшей сохранности поголовья [12].

Учеными из города Пенза запатентован новый штамм микроскопической водоросли хлореллы, состав которого содержит в себе все биологически активные вещества в больших количествах. Данный штамм является основой корма «Суспензия хлореллы». Включение этого корма в кормовые рационы способствует увеличению продуктивности, сохранности молодняка, репродуктивности и стимуляции обменных процессов у сельскохозяйственных животных. Попадая в желудочно-кишечный тракт животного, суспензия хлореллы становится оптимальной питательной средой, на которой бурно развиваются молочнокислые бактерии – полезная микрофлора. Активизация деятельности этих бактерий повышает усвояемость основных, традицион-

ных кормов – сена, отрубей, зерна и т.д. В результате значительно повышается рентабельность производства в свиноводстве, птицеводстве, молочном и мясном скотоводстве.

Хлорелла легко вводится в процесс кормления любого вида сельскохозяйственных животных. Ее можно скармливать животным как напрямую через поилки, так и в смеси с кормами непосредственно перед кормлением. Высокая биологическая активность хлореллы дает возможность использовать эту кормовую добавку краткосрочно и в небольших дозах, а эффект последствия позволяет сохранять высокие темпы роста и продуктивность животных [13].

Создание кормовой добавки на основе микроводорослей хлореллы и хитозана позволяет получить уникальный продукт с комплексом полезных свойства.

Экспериментальная часть. Объектом исследования явилась биомасса микроводоросли *Chlorella sorokiniana*, остаточная биомасса микроводоросли *C. sorokiniana* и отход переработки ракообразных – хитозан.

Для исследования был выбран музейный штамм микроводоросли *C. sorokiniana* 211-К, полученный из Геттингенского университета. Биомасса микроводоросли *C. sorokiniana* культивируется в фотобиореакторе объемом 100 л, сконструированный по специальному заказу. Фотобиореактор имеет конусообразную форму, которая облегчает сбор биомассы, состоящей из мельчайших клеток микроводорослей [14, 15].

Высокой скорости культивирования биомассы удается достичь при следующих условиях: оптимальная интенсивность освещения 2500 ± 300 лк, температура для роста биомассы 28 ± 2 °С, кислотность среды $8,0 \pm 0,5$ ед. рН. В результате культивирования в процессе жизнедеятельности микроводорослей значение рН среды начинает меняться в сторону ее увеличения, поэтому необходимо поддерживать оптимальное значение рН путем корректировки с помощью химических реагентов. Процесс культивирования проводят в течение 8–10 дней до достижения оптической плотности суспензии 1,7. Измерения проводили с помощью спектрофотометра UNICO-1208 (Shumadzy).

Еще одним важным фактором для культивирования биомассы является скорость подачи воздуха. Ранее проведенные исследования показали, что для достижения максимального прироста биомассы необходимо осуществлять аэрацию со скоростью 1,5 л/мин.

Для достижения максимального прироста новых клеток культивирование необходимо проводить в питательной среде, содержащей макро- и микроэлементы.

Были подобраны наилучшие характеристики процесса, позволяющие за короткое время разделить биомассу и водную составляющую: 3500 об/мин в течение 5 мин.

После центрифугирования биомасса микроводорослей имеет высокую влажность (более 20 %). Для высушивания биомассы предлагается наиболее щадящий способ – лиофилизация (рис. 1).

Высушивание проводили с помощью аппарата АК (Профлаб) в течение 24 ч, при давлении 0,5 бар и температуре конденсора минус 50 °С, в один этап без подогрева полок.

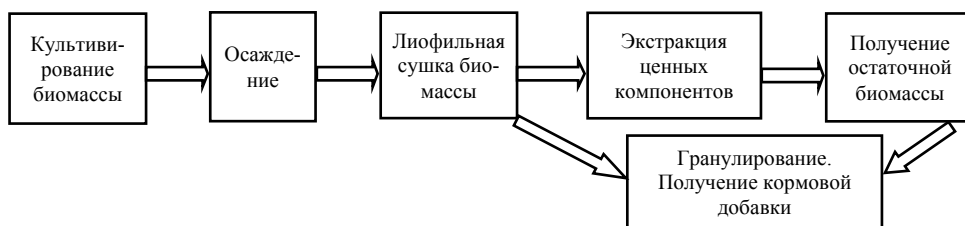


Рис. 1. Блок-схема получения кормовой добавки

Для изготовления гранул использовали хитозан производителя ООО «Хитозановые технологии», данный продукт имеет сертификат безопасности и соответствует ТУ 9289-067-00472124-03. Показатели безопасности хитозана приведены в таблице.

Таблица 1

Показатели безопасности хитозана

Наименование показателя	Норма по ТУ	Результаты испытаний
<i>Токсичные элементы</i>		
Ртуть, мг/кг	Не более 0,03	0,005
Мышьяк, мг/кг	Не более 0,2	0,003
Свинец, мг/кг	Не более 1,0	0,32
Кадмий, мг/кг	Не более 0,1	0,019
<i>Пестициды</i>		
ГХЦГ (α,β,γ,-изомеры), мг/кг	Не более 0,5	Не обнаружено
ДДТ и его метаболиты, мг/кг	Не более 0,02	Не обнаружено
Гептахлор, мг/кг	Не допускается	Не обнаружено
Алдрин, мг/кг	Не допускается	Не обнаружено

Окончание табл. 1

Наименование показателя	Норма по ТУ	Результаты испытаний
<i>Радиологические испытания</i>		
Цезий 137, Бк/кг	200	28,0
Стронций 90, Бк/кг	100	8,0
<i>Микробиологические показатели</i>		
Количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов, КОЕ/г	Не более $5 \cdot 10^4$ КОЕ/г	0
БГКП (колиформы)	Не допускаются в 0,1 г	Не выделены
<i>E. coli</i>	Не допускаются в 1,0 г	Не выделены
Патогенные, в том числе сальмонеллы	Не допускаются в 25 г	Не выделены
Дрожжи, плесени	Не более 100 КОЕ/г	Не выделены

Результаты и их обсуждение. Для проведения процесса культивирования маточную культуру биомассы микроводорослей *C. sorokiniana* разводят питательной средой до оптической плотности 0,2. Для сбережения энергоресурсов целесообразно культивирование проводить циклически, после каждого цикла биомассу сливают не полностью, а оставляют часть суспензии для дальнейшего культивирования и обновляют питательной средой до первоначальных концентраций веществ. После 5-го цикла необходимо проводить полную промывку фотобиореактора и промывать оборудование 3%-ным раствором перекиси водорода с последующей промывкой водопроводной водой.

Высокой скорости культивирования биомассы микроводоросли удается достичь при следующих условиях: оптимальная интенсивность освещения 2500 ± 300 лк, температура для роста биомассы 28 ± 2 °С, кислотность среды $8,0 \pm 0,5$ ед. рН. В результате культивирования в процессе жизнедеятельности микроводорослей значение рН среды начинает меняться в сторону ее увеличения, поэтому необходимо поддерживать оптимальное значения рН путем корректировки с помощью химических реагентов. Процесс культивирования проводят в течение 8–10 дней до достижения оптической плотности суспензии 1,7. Еще одним важным фактором для культивирования биомассы является подача углекислого газа.

Выращенная биомасса через технологическое отверстие сливается в цилиндрические сосуды и под действием силы тяжести происходит ее осаждение, что облегчает ее дальнейший сбор.

После центрифугирования биомасса микроводорослей имеет высокую влажность (более 20 %). Для высушивания биомассы предлагается наиболее щадящий способ – лиофилизация. Лиофильная сушка позволяет высушить биомассу до влажности 3–5 %, при этом не разрушив ценные компоненты. Биомасса микроводорослей может быть использована для получения гранул с хитозаном.

После извлечения ценных компонентов, липидного комплекса (20–25 %) образуется остаточная биомасса, которая содержит целлюлозу, лигнин и гемицеллюлозу. Ценные компоненты из биомассы микроводорослей извлекаются частично, остаются белки до 12 %, пигменты до 36 мг/г сухой биомассы, микроэлементы Al, Ze, P, Ca, Mg, Mn, Ni, Se, нуклеиновые кислоты (РНК и ДНК) и различные ферменты [16].

Остаточная биомасса после извлечения липидного комплекса термически обрабатывается при температуре 150 °С для удаления остатков органических растворителей, которые применяются для экстракции липидного комплекса (гексан и этиловый спирт) [17]. Отсутствие токсичности проверяется методом биотестирования на двух тест-объектах *Daphnia magna Straus* и микроводоросли *Chlorella vulgaris* [18].

Для изготовления кормовой добавки предлагается использовать как нативную биомассу микроводорослей *C. sorokiniana*, так и остаточную биомассу после частичного извлечения ценных компонентов (рис. 2).

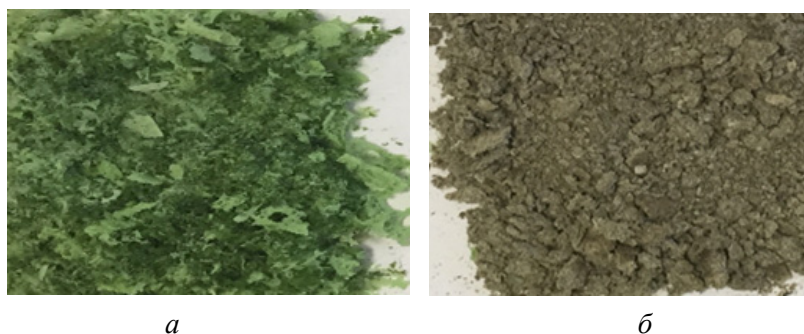


Рис. 2. Внешний вид: *а* – исходная биомасса микроводорослей *C. sorokiniana*; *б* – остаточная биомасса, после извлечения ценных компонентов

Нативная биомасса и остаточная биомасса микроводорослей *C. sorokiniana* представляет собой сыпучий порошок, который сложно использовать при кормлении сельскохозяйственных животных, поэто-

му предложено добавлять к сыпучему продукту раствор хитозана с целью формирования гранул.

Хитозан не только выполняет роль связующего, а также обладает рядом полезных свойств, что значительно повышает пищевую ценность кормовой добавки.

Для приготовления гранул из биомассы микроводорослей *C. sorokiniana* использовали методику покапельного гранулирования [19]. Технология включает в себя несколько этапов:

1. Приготовление 4%-ного раствора хитозана в уксусной кислоте. Для этого хитозан растворяли в 3%-ном растворе уксусной кислоты с последующим перемешиванием в течение 4–5 ч до полного растворения хитозана.

2. В полученную густую смесь объемом 1000 мл вносили 50 г биомассы или остаточной биомассы микроводорослей *C. sorokiniana* и перемешивали до однородной суспензии и вливали покапельно ($V = 0,5 \dots 1$ мл) через шприц в 5%-ный раствор едкого натрия (NaOH).

3. Сформированные гранулы выдерживали в течение суток в растворе щелочи (NaOH), с последующей промывкой водой до значений pH 7,0–7,5, затем высушивали на воздухе.

Размер полученных гранул до сушки составляет 3–5 мм в диаметре, после сушки 2–3 мм в диаметре. Внешний вид полученных гранул представлен на рис. 3.

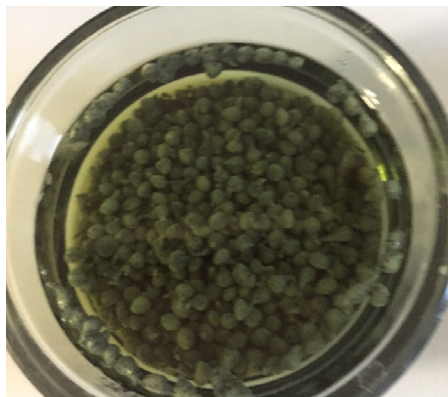


Рис. 3. Внешний вид гранулированной пищевой добавки

Полученные гранулы очень удобны в использовании при кормлении птиц и сельскохозяйственных животных. Небольшой размер гранул позволяет смешивать их с основным кормом и вводить в рацион мелких

животных и птиц, обеспечивая полноценное и сбалансированное питание. Гранулированная кормовая добавка состоит из отходов производства: из остаточной биомассы микроводоросли *C. sorokiniana* и отхода переработки ракообразных – хитозана, что позволяет решить важную экологическую проблему переработки и утилизации отходов.

Список литературы

1. Егоров И.А., Чесноков Н.Я., Давтян Д.А. Микосорб в слаботоксичных кормах для бройлеров // Птица и птицепродукты. – 2004. – № 1. – С. 15–17.
2. Егоров И.А., Шевяков А.Н. Контроль за качеством кормления птицы // V Междунар. ветеринар. конгр. по птицеводству. – М., 2009. – С. 38–44.
3. Таирова А.Р., Молоканов В.А. Иммунологические свойства хитинового препарата // Ветеринария. – 2002. – № 1. – С. 45–48.
4. Таирова А.Р., Самуйленко А.Я., Албулов А.И. Токсикологическая оценка хитозана из панциря камчатского краба // Доклады РАСХН. – 2002. – № 1. – С. 40–41.
5. Филимонова И., Попова Л., Еригина Р. Хитозан в кормлении несушек // Птицеводство. – 2007. – № 3. – С. 10–11.
6. Вахрамова О.Г, Овчаренко Э.В., Веротченко М.Н. Экологические и продуктивные аспекты влияния различных форм хитозана на организм кур-несушек // Известия ТСХА. – 2008. – Вып. 3. – С. 118–125.
7. Юдин М.Ф., Юдина Н.А. Влияние хитозана на молочную продуктивность коров и состав молока // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2012. – № 5. – С. 124–126.
8. Культивирование и использование микроводорослей *Chlorella* и высших водных растений ряска *Lemma* / Н.А. Политаева, Ю.А. Смятская, Т.А. Кузнецова, Л.Н. Ольшанская, Р.Ш. Валиев. – Саратов: Наука, 2017. – 125 с.
9. Богданов Н.И. Использование хлореллы в рационе сельскохозяйственных животных // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2004. – № 1. – С. 34–36.
10. Применение суспензии хлореллы в составе комбикормов / А.А. Шевцов [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2008. – № 6. – С. 68–69.
11. Черванев В.А., Тарасенко П.А., Петрова Ж.Г. Хлорелла – новый уровень повышения возможностей животноводства // Свиноводство. – 2011. – № 1. – С. 38–40.
12. Муханов Н.Б., Шорабаев Е.Ж., Дастанов Ж.К. Возможности использования биомассы хлореллы в кормлении сельскохозяйственных животных // Молодой ученый. – 2015. – № 7.2 (87.2). – С. 21–22.
13. Хлорелла – перспективный резерв животноводства. – URL: http://www.altagro22.ru/management/docs/?ELEMENT_ID=50946 (дата обращения: 18.07.2020).

14. Photobioreactors for microalga *Chlorella Sorokiniana* cultivation / N. Politaeva, Y. Smyatskaya, A.L. Timkovskii [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 337(1), 012076.

15. Смятская Ю.А., Политаева Н.А., Собгайда В.С. Фотобиореакторы для культивирования микроводоросли *Chlorella sorokiniana* // Вестник Технологического университета. – 2018. – Т. 21, № 2. – С. 224–227.

16. Jimé nez C., Coss'io B.R., Niell F.X. Relationship between physico-chemical variables and productivity in open ponds for the production of Spirulina: a predictive model of algal yield // Aquaculture – 2003. – № 221. – P. 331–345

17. Пат. 2694405 РФ, МПК C12N1/12 (2006.01) A01G33/00(2006/01) C12M1/02 (2006/01). Способ извлечения липидов из микроводоросли / Политаева Н.А., Смятская Ю.А., Трухина Е.В.; заявитель, патентообладатель ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», RU. – № 2018142404/10(070696); заявл. 01.12.2018; опубл. 12.07.2019.

18. Смятская Ю.А. Оценка токсичности остаточной биомассы микроводоросли *Chlorella sorokiniana* // Бутлеровские сообщения. – 2019. – Т. 59, № 7. – С. 92–98.

19. Тарановская Е.А., Собгайда Н.А., Маркина Д.В. Технология получения и использования гранулированных сорбентов на основе хитозана // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2016. – № 5. – С. 42–44.

References

1. Egorov I.A., Chesnokov N.Ya., Davtian D.A. Mikosorb v slabotoksi-chnykh kormakh dlia broilerov [Mikosorb in slightly toxic feed for broilers]. *Ptitsa i ptitseproduktu*, 2004, no. 1, pp. 15-17.

2. Egorov I.A. Sheviakov A.N. Kontrol' za kachestvom kormleniia ptitsy [Control over the quality of poultry feeding]. *V Mezhdunarodnyi veterinarnyi kongress po ptitsevodstvu*. Moscow, 2009, pp. 38-44.

3. Tairova A.R., Molokanov V.A. Immunologicheskie svoistva khitinovogo preparata [Immunological properties of the chitin preparation]. *Veterinariia*, 2002, no. 1, pp. 45-48.

4. Tairova A.R., Samuilenko A.Ya., Albulov A.I. Toksikologicheskaia otsenka khitozana iz pantsiria kamchatskogo kraba [Toxicological evaluation of chitosan from the shell of the king crab]. *Doklady RASKhN*. 2002, no. 1, pp. 40-41.

5. Filimonova I., Popova L., Erigina R. Khitozan v kormlenii nesushek [Chitosan in feeding hens]. *Ptitsevodstvo*. 2007, no. 3, pp. 10-11.

6. Vakhramova O.G, Ovcharenko E.V., Verotchenko M.N. Ekologicheskie i produktivnye aspekty vliianiia razlichnykh form khitozana na organizm kurnesushek [Ecological and productive aspects of the influence of various forms of chitosan on the body of laying hens]. *Izvestiia TSKhA*, 2008, Ser.3, pp. 118-125.

7. Yudin M.F., Yudina H.A. Vliianie khitozana na molochnuui produktivnost' korov i sostav moloka [The effect of chitosan on milk production of cows and

milk composition]. *Izvestiia Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2012, no. 5, pp. 124-126.

8. Politaeva N.A., Smiatskaia Yu.A., Kuznetsova T.A., Ol'shanskaia L.N., Valiev R.Sh. Kul'tivirovanie i ispol'zovanie mikrovdoroslei Chlorella i vysshikh vodnykh rastenii riaska Lemna [Cultivation and use of microalgae Chlorella and higher aquatic plants Lemna duckweed]. Saratov, Nauka, 2017, 125 p.

9. Bogdanov N.I. Ispol'zovanie khlorelly v ratsione sel'skokhoziaistvennykh zhyvotnykh [The use of chlorella in the diet of farm animals]. *Doklady Rossiiskoi akademii sel'skokhoziaistvennykh nauk*, 2004, no. 1, pp. 34–36.

10. Shevtsov A.A. [et al.] Primenenie suspenzii khlorelly v sostave kombikormov [The use of a suspension of chlorella in compound feed]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyria*. 2008, no. 6, pp. 68–69, Bibliogr.: p. 69.

11. Chervanov V.A., Tarasenko P.A., Petrova Zh.G. Khlorella – novyi uroven' povysheniia vozmozhnostei zhyvotnovodstva [Chlorella – the next level of raising livestock opportunities]. *Svinovodstvo*, 2011, no. 1, pp. 38–40.

12. Mukhanov N. B., Shorabaev E. Zh., Dastanova Zh. K. Vozmozhnosti ispol'zovaniia biomassy khlorelly v kormlenii sel'skokhoziaistvennykh zhyvotnykh [Possibilities of using chlorella biomass in feeding farm animals]. *Molodoi uchenyi*. 2015, no 7.2 (87.2), pp. 21-22. URL: <https://moluch.ru/archive/87/17222/> (accessed 16.07.2020).

13. Chlorella is a promising livestock reserve: сайт. URL: http://www.altagro22.ru/management/docs/?ELEMENT_ID=50946 (accessed 18.07.2020).

14. Politaeva N., Smyatskaya Y., Timkovskii A.L. et al. Photobioreactors for microalga Chlorella Sorokiniana cultivation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 337(1), 012076.

15. Smiatskaia Yu.A., Politaeva N.A., Sobgaida V.S. Fotobioreaktory dlia kul'tivirovaniia mikrovdorosli Chlorella sorokiniana [Photobioreactors for the cultivation of the microalgae Chlorella sorokiniana]. *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta*, 2018, vol. 21, no. 2, pp. 224-227.

16. Jimé'nez C, Coss'io B.R., Niell FX Relationship between physicochemical variables and productivity in open ponds for the production of Spirulina: a predictive model of algal yield. *Aquaculture*, 2003, 221, pp.331–345.

17. Politaeva N.A., Smiatskaia Iu.A., Trukhina E.V. Spособ izvlecheniia lipidov iz mikrovdorosli [Method for extracting lipids from microalgae]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2694405 (2019).

18. Smiatskaia Yu.A. Otsenka toksichnosti ostatochnoi biomassy mikrovdorosli Chlorella sorokiniana [Evaluation of the toxicity of the residual biomass of the microalgae Chlorella sorokiniana]. *Butlerovskie soobshcheniia*, 2019, vol. 59, no. 7, pp. 92-98.

19. Taranovskaia E.A., Sobgaida N.A., Markina D.V. Tekhnologiia polucheniia i ispol'zovaniia granulirovannykh sorbentov na osnove khitozana [Technology for the production and use of granular sorbents based on chitosan]. *Khimicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie*, 2016, no. 5, pp. 42-44.

Получено 19.07.2020

Об авторах

Смятская Юлия Александровна (Санкт-Петербург, Россия) – кандидат технических наук, ведущий специалист НИЛ «Промышленная экология» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, Инженерно-строительный институт (194064, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29; e-mail: Makarovayulia169@mail.ru).

About the authors

Yuliya A. Smyatskaya (St. Petersburg, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Institute of Civil Engineering (29, Politechnical., St. Petersburg, 194064; e-mail: Makarovayulia169@mail.ru).