



ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭНТОМОЛОГИЯ: ИСТОРИЯ, СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

✉ Андреева И.В., Шаталова Е.И., Ульянова Е.Г., Ходакова А.В.,
Агриколянская Н.И., Голохваст К.С.

Сибирский федеральный научный центр агробιοтехнологий Российской академии наук
Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

✉ e-mail: iva2008@ngs.ru

Представлены направления технической энтомологии, включающие производство живых насекомых и продуктов их жизнедеятельности, переработку насекомыми органических отходов с получением биоудобрений. Освещены исторические аспекты становления, развития и современное состояние этой практической отрасли биотехнологии в России и в других странах. Разведение насекомых и клещей предусматривает их использование в качестве опылителей растений; энтомофагов и гербифагов – для защиты культурных растений от вредителей и сорняков; фитофагов, служащих в качестве тест-объектов, – для оценки средств контроля их численности; кормовых видов насекомых – для кормления домашних и сельскохозяйственных животных. Затронута проблема редких и исчезающих видов полезных насекомых. Показана необходимость их искусственного разведения с целью дальнейшего обогащения ими агро- и биоценозов. Проанализирован опыт использования разных видов насекомых для переработки отходов органического происхождения с получением зоогумуса. Отмечено важное практическое значение биологически активных веществ, получаемых от представителей класса Insecta. Помимо традиционных продуктов жизнедеятельности насекомых (продукты пчеловодства, шелководства), на мировом рынке пользуются спросом белковый концентрат, хитин и его производные, комплекс жирных кислот, органические формы минеральных веществ, меланины, антимикробные пептиды, гормоны насекомых, нашедшие применение в медицине и ветеринарии, косметологии, животноводстве, растениеводстве и защите растений, пищевой промышленности и в других отраслях человеческой деятельности. Рассматривается вопрос о возможности и целесообразности использования белковой муки, полученной из ряда видов насекомых, для питания человека. В обзоре основной акцент сделан на достижениях и опытных разработках в области технической энтомологии, полученных учеными и практиками в условиях Западной Сибири.

Ключевые слова: технобиоценоз, фитофаги, энтомофаги, кормовые насекомые, продукты жизнедеятельности насекомых

TECHNICAL ENTOMOLOGY: HISTORY, CURRENT STATE AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT

✉ Andreeva I.V., Shatalova E.I., Uyanova E.G., Khodakova A.V.,
Agrikolyanskaya N.I., Golokhvast K.S.

Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences
Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

✉ e-mail: iva2008@ngs.ru

Areas of technical entomology, including the production of living insects and their products, processing of organic waste by insects to produce bio-fertilizers are presented. Historical aspects of the formation, development and current state of this practical branch of biotechnology in Russia

and other countries are covered. Breeding insects and mites includes their use as plant pollinators; entomophages and herbophages - to protect cultivated plants from pests and weeds; phytophagans serving as test objects - to evaluate means of controlling their numbers; feeder insect species - to feed domestic and farm animals. The problem of rare and endangered species of useful insects is touched upon. The necessity of their artificial breeding for further enrichment of agro- and biocenoses is shown. The experience of using different types of insects to process waste of organic origin to produce zoogumus is analyzed. The important practical value of biologically active substances derived from members of the class Insecta are noted. In addition to traditional insect products (bee products, sericulture products), protein concentrate, chitin and its derivatives, complex fatty acids, organic forms of minerals, melanins, antimicrobial peptides, insect hormones, which find use in medicine and veterinary medicine, cosmetology, animal husbandry, crop production and plant protection, food industry and other areas of human activity are in demand in the global market. The question of the possibility and expediency of using protein meal obtained from a number of insect species for human nutrition is being considered. The review focuses on the achievements and experiential developments in technical entomology obtained by scientists and practitioners in the conditions of Western Siberia.

Keywords: technobiocenosis, phytophagans, entomophages, feeder insects, insect waste products

Для цитирования: Андреева И.В., Шаталова Е.И., Ульянова Е.Г., Ходакова А.В., Агриколянская Н.И., Голохваст К.С. Техническая энтомология: история, современное состояние и перспективы развития // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2022. Т. 52. № 4. С. 32–47. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2022-4-4>

For citation: Andreeva I.V., Shatalova E.I., Ulyanova E.G., Khodakova A.V., Agrikolyanskaya N.I., Golokhvast K.S. Technical entomology: history, current state and prospects of development. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2022, vol. 52, no. 4, pp. 32–47. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2022-4-4>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Техническая энтомология как отдельная отрасль биотехнологии в России сформирована в 70–80-е годы XX в. и в настоящее время имеет непосредственное отношение ко многим областям человеческой деятельности. Основной целью технической энтомологии является изучение теоретических и практических аспектов воспроизводства культур насекомых как искусственных популяций с заданными свойствами в условиях технобиоценоза. Под технобиоценозом понимают жизненную систему искусственной популяции, упрощенную по пищевым связям, стабильную по условиям существования и направленно контролируруемую экспериментатором. Это замкнутая биотехнологическая экосистема, созданная человеком [1, 2].

Началом формирования нового направления в биотехнологии послужило проведенное в 1984 г. Всесоюзное совещание «Современные вопросы биотехнологии», где

впервые насекомые рассматривались как объекты этой науки. В 1986 г. состоялась первая Всесоюзная конференция по промышленному разведению насекомых, где определились основные задачи технической энтомологии¹, а также выделены три ее ключевых направления:

- производство живых насекомых, используемых в различных целях;
- переработка насекомыми органических отходов с получением биоудобрений;
- производство продуктов жизнедеятельности насекомых.

Сформулированные в 80-е годы прошлого столетия направления технической энтомологии не потеряли актуальности и в настоящее время. Каждое из данных направлений на современном этапе включает еще более широкий круг задач.

Цель статьи – проанализировать исторические аспекты и современное состояние

¹Тамарина Н.А. Зоокультуры как искусственные популяции // Тезисы докладов первого Всесоюзного совещания по проблемам зоокультуры. М., 1986. Ч. 1. С. 69–72.

научных и практических направлений использования насекомых и продуктов их жизнедеятельности для нужд человека, а также оценить перспективы дальнейшего развития методов технической энтомологии, в том числе в Западно-Сибирском регионе.

Производство живых насекомых, используемых в различных целях. Целенаправленное разведение насекомых и клещей (которые также являются объектами технической энтомологии) предполагает реализацию различных задач. В качестве насекомых-опылителей разводят шмелей, медоносных пчел, пчел-листорезов. Опыление сельскохозяйственных культур насекомыми многократно увеличивает урожайность и качество семян и плодов [3, 4]. В целом насчитывается более 100 видов сельскохозяйственных культур, которые нуждаются в перекрестном опылении насекомыми. К ним относятся гречиха, подсолнечник, эспарцет, горчица, рапс, арбузы, дыни, тыквы, огурцы, кабачки, семенники капустовых растений, лука, многие плодово-ягодные культуры. По данным Ш.Р. Суяркулова², в Ферганской долине урожайность плодов миндаля при дополнительном опылении пчелами увеличивалась в 17 раз, яблонь и слив – соответственно в 8 и 11 раз. Использование медоносных пчел в качестве опылителей позволяет фермерам, выращивающим плодово-ягодную продукцию, повысить доход от их применения в 10–12 раз. В Западной Сибири сотрудниками Сибирского научно-исследовательского института земледелия и химизации (СибНИИЗХим) разработана методика ускоренного выведения шмелиных семей и их использования, позволяющая вдвое увеличить семенную продуктивность клевера [5], а также рекомендации³ по охране и рациональному использованию диких одиночных пчел, гнездящихся в почве, для опыления люцерны. Получение пчелоопыляемых гибридов огурца и томата в совре-

менном тепличном овощеводстве становится невозможным без использования специально разводимых шмелей. В настоящее время в России их используют практически во всех крупных тепличных хозяйствах. Из известных 300 видов шмелей на практике используется преимущественно один вид – крупный земляной шмель (*Bombus terrestris* L.)⁴. Ведущими производителями коммерческих шмелей в мире являются компании BioBest (Бельгия), Koppert (Нидерланды) и BioBee (Израиль). На российском рынке на сегодняшний день остались только компании «Компас» и «Бамблби Компани», производящие соответственно около 10 тыс. и 30 тыс. шмелиных колоний в год⁵.

Необходимо отметить, что в последнее время в России, как и во всем мире, часто регистрируют массовую гибель пчелиных семей на пасеках из-за нарушений технологий использования инсектицидов [6], сокращение числа природных популяций пчел и шмелей под влиянием антропогенных факторов и изменения климатических условий [7, 8]. В связи с этим искусственное разведение и применение насекомых-опылителей является одной из важнейших задач в растениеводстве.

Некоторые виды насекомых выращивают и используют в качестве корма для животных. Домашние и экзотические виды животных – ящерицы, земноводные, некоторые млекопитающие, птицы, рыбы – охотно используют в пищу насекомых, особенно в живом виде. Из кормовых видов наибольшим спросом пользуются представители отрядов прямокрылых насекомых (сверчки, кузнечики, саранчовые), таракановых (мраморный, туркменский, мадагаскарский тараканы), жесткокрылых (большой и малый мучные хрущаки, зофобас), двукрылых (личинки разных видов мух, комары-звонцы) и др. [9–12]. Эта продукция в последнее вре-

²Суяркулов Ш.Р. Роль опылителей в условиях интенсивного земледелия. Состав. URL: <http://asprus.ru/blog/rol-opylitej-v-usloviyah-intensivnogo-zemledeliya/>

³Земляные пчелы – опылители люцерны Новосибирской и Омской областей: метод. рекомендации / Состав. В.С. Гребенников. Новосибирск: СО ВАСХНИЛ, 1983. 12 с.

⁴Технология промышленного разведения шмелей. Использование шмелей в современных тепличных предприятиях. URL: <https://www.shmel.org/article/article.php?storyid=5>

⁵Коммерческое разведение шмелей. URL: <https://zen.yandex.ru/media/pchelovod/kommercheskoe-razvedenie-shmelei-5c626ef1ad73a000adfe2eaf>

мя становится все более востребованной в зоомагазинах, зоопарках, у заводчиков экзотических видов домашних питомцев.

Большой блок в технической энтомологии занимает разведение насекомых в целях защиты растений. Насекомых-фитофагов разводят в качестве тест-объектов для определения эффективности инсектицидов, оценки устойчивости растений к вредителям, генетических методов борьбы (получения стерильных насекомых), разведения энтомофагов и наработки энтомопатогенов. В настоящее время как в нашей стране, так и за рубежом, известно большое количество методик и способов разведения тех или иных видов растительноядных насекомых, в том числе особо опасных вредителей. В лаборатории биометода СибНИИЗХим СО ВАСХНИЛ были разработаны методики разведения лугового мотылька⁶ и других чешуекрылых вредителей, предназначенных для оценки биологических средств защиты растений и наработки энтомопатогенных вирусов, служащих основой биопрепаратов. В настоящее время в лаборатории биологического контроля фитофагов и фитопатогенов Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук – СФНЦА РАН (приемник СО ВАСХНИЛ и РАСХН) разработана методика массового размножения капустной моли⁷, содержатся маточные культуры лугового и кукурузного мотыльков, ряда других растительноядных насекомых и клещей, а также ряда видов кормовых насекомых (см. рисунок).

Разведение гербифагов в нашей стране крайне ограничено и предназначено в основном для биоконтроля карантинных видов сор-

няков. К ним относятся, например, муха-фитомиза *Phytomyza orobanchia* Wert., повреждающая завязи и незрелые семена злостного сорняка заразики, полосатый листоед *Zygogramma saturalis* F., питающийся карантинным сорняком амброзией полынолистной, для которых разработаны способы их разведения^{8,9} [13]. В Западной Сибири (Новосибирская область) в 1966–1967 гг. по программе обмена гербифагами для биологической борьбы с сорняками изучали насекомых, питающихся на сорных артишоковых (семейство Сложноцветные). Изучение местных фитофагов проводили с целью выявления возможности интродукции перспективных видов в Канаду. В частности, выявлен большой видовой состав насекомых, повреждающих вегетативные и генеративные органы бодяка щетинистого, чертополоха курчавого, василька шероховатого, определена их эффективность в природных условиях [14, 15]. Однако в связи с отсутствием дальнейшего финансирования темы исследования в этом направлении прекратились, а возможности развития биометода для регуляции численности сорняков до сих пор остаются нереализованными.

Одним из наиболее перспективных сегментов российского рынка биологических средств защиты растений в настоящее время является производство энтомофагов^{10–12}. В частности, с начала XXI в. значительно расширился ассортимент энтомофагов и акарифагов, применяемых для защиты сельскохозяйственных, лесных и декоративных культур от вредителей. По данным Л.П. Красавиной¹³, на период 2013 г. на ми-

⁶Определение биологической активности препарата ЛЕСТ (лепидодида стабилизированного порошка) на луговом мотыльке: метод. рекомендации / Сост. М.В. Штерншис, Н.И. Ермакова, Э.Р. Зурабова, Ф.С. Исангалин. М., 1990. 14 с.

⁷Андреева И.В., Шаталова Е.И., Ульянова Е.Г. Способ разведения капустной моли *Plutella xylostella* L. Патент № 2735251 от 29.10.2020.

⁸Бронштейн Ц.Г. Биологический способ борьбы с заразихой (Orobanchaceae). Патент № 1136388/30-15, 1967.

⁹Штерншис М.В., Томилова О.Г., Андреева И.В., Шпатов Т.В. Биотехнология в защите растений: электронное учебное пособие. Новосибирск: НГАУ, 2015.

¹⁰Рынок биологических средств защиты растений. URL: <http://биомедиа.рф/biznes/marketing/348-rynok-biologicheskikh-sredstv-zaschity-rasteniy.html>

¹¹Челябинский агрохолдинг «Чурилово» вложит 9 млрд рублей в производство энтомофагов. URL: <http://greentalk.ru/topic/4922/>

¹²Использование и замена агентов биологической защиты продуктов питания и сельскохозяйственных культур. Доклад МОБЗР. URL: http://www.iobc-global.org/download/Executive_Summary_FAO_report_2009_Russian.pdf

¹³Красавина Л.П. Проблемы массового разведения энтомофагов в тепличных комбинатах России // Фитосанитарная оптимизация агроэкосистем: материалы 3-го Всероссийского съезда по защите растений. СПб., 2013. С. 68–70.



Виды кормовых насекомых: а – большой мучной хрущак *Tenebrio molitor* L.(имаго); б – *Tenebrio molitor* L. (личинки); в – зофобас *Zophobas morio* Fabr. (имаго); г – *Zophobas morio* Fabr. (личинки); д – таракан черный *Pycnoscelus nigra* Brun.; е – таракан мраморный *Nauphoeta cinerea* Oliver; ж – сверчок домовый *Acheta domestica* L.; з – черная львинка (*Hermetia illucens* L.)

Species of feeder insects: а - yellow mealworm beetle *Tenebrio molitor* L. (adult insects); б – *Tenebrio molitor* L. (larvae); в – superworm *Zophobas morio* Fabr. (adult insects); г – *Zophobas morio* Fabr. (larvae); д – cockroach *Pycnoscelus nigra* Brun.; е – marble cockroach *Nauphoeta cinerea* Oliver; ж – cricket *Acheta domestica* L.; з – black soldier fly *Hermetia illucens* L.

ровом рынке энтомоакарифагов, используемых только в условиях защищенного грунта, представлены культуры более 90 видов полезных насекомых и клещей, в то время как в 1990 г. их было не более 50, в 1985 г. – только 20. Ежегодно список энтомофагов, используемых на практике в РФ и в других странах, пополняется новыми видами.

В условиях Сибирского региона в 80-х годах XX в. энтомофагов нарабатывали и применяли преимущественно в условиях защищенного грунта. Например, в биолaborаториях при тепличных комбинатах «Кировец» и «Иня» (Новосибирск) разводили и применяли фитосейулюса для регуляции численности паутинного клеща, энкарзию – против тепличной белокрылки, афидиуса – против тлей¹⁴. В настоящее время в таких крупных тепличных комплексах, как «Новосибирский», «Толмачевский», ассортимент импортных и собственно произведенных энтомофагов и опылителей значительно расширился и включает более 10 видов.

Учитывая современные реалии, обусловленные изменениями климата в Сибири, становится возможным и целесообразным использование энтомоакарифагов в регуляции численности вредителей не только в условиях защищенного, но и открытого грунта¹⁵. Особенно актуально использование энтомофагов для получения продукции органического земледелия. Все больший спрос на биологические средства, в том числе на полезных насекомых и клещей, появляется у индивидуальных предпринимателей (фермеров) и частных лиц.

В этом контексте нельзя обойти еще и такую проблему, как сохранение редких и исчезающих насекомых. Во всем мире регулярно регистрируют случаи сокращения

численности или исчезновения тех или иных видов насекомых, в том числе хищных или паразитических, в результате существенно увеличивается количество вредителей. Например, в 1971, 1972 гг. в Среднем Приобье (Западная Сибирь) на растениях желтой акации, вязе и шиповнике, заселенных паутинным клещом, находили на одном листе до 5–12 личинок его специализированного хищника стеторуса точечного *Stethorus punctillum* Ws. [16]. Исследования последних лет (2019 г.), проведенные в этой же зоне, показали, что в годы с массовым размножением паутинных клещей на различных культурных и дикорастущих растениях в открытом грунте стеторуса находили в ограниченных количествах¹⁶. О сокращении численности *S. punctillum* в разных зонах его обитания сообщали также и другие исследователи [17]. Такая ситуация приводит к необходимости внутриареального расселения кокциnellид¹⁷ или массового разведения с последующим выпуском в агро- и биоценозы.

Для биологического контроля фитофагов представляют интерес хищные клопы из семейства Pentatomidae. Известна эффективность интродуцированных в нашу страну клопов *Podisus maculiventris* Say и *Perillus bioculatus* Fab., предназначенных для контроля численности колорадского жука и некоторых других вредителей [18, 19]. Однако аборигенные виды – представители родов *Arma*, *Troilus*, *Rhacognathus*, *Jalla*, *Zicrona*, *Picromerus* – могут стать источником для получения новых агентов биологической защиты растений.

Так, зикрона голубая *Zicrona caerulea* L. играет важную роль в биорегуляции численности фитофагов в агроценозах картофе-

¹⁴ Андреева И.В. Микробиологический контроль обыкновенного паутинного клеща (*Tetranychus urticae* Koch.) в защищенном грунте: дис... канд. с.-х. наук. Новосибирск, 1996. 175 с.

¹⁵ Андреева И.В., Цветкова В.П., Зенкова А.А. Перспективы использования энтомоакарифагов для биологического контроля фитофагов в условиях Сибирского региона // Актуальные проблемы агропромышленного комплекса: сб. трудов науч.-практ. конф. преподавателей, студентов, магистрантов и аспирантов, посвященный 80-летию Новосибирского ГАУ. Т. «Сельскохозяйственные науки. Биологические науки. Ветеринарные науки». Новосибирск: ИЦ «Золотой колос», 2016. С. 3–6.

¹⁶ Андреева И.В., Ульянова Е.Г., Шаталова Е.И. Обыкновенный паутинный клещ и его акарифаги в биоценозах открытого грунта Западной Сибири // Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Сибири, Монголии, Казахстана, Белоруссии, Китая и Болгарии: материалы 22-й междунар. науч.-практ. конф. Красноярск: СФНЦА РАН, 2019. С. 77–78.

¹⁷ Карбозова Б.Е. Хозяйственное значение хищных кокциnellид-энтомофагов. URL: http://www.rusnauka.com/1_NNM_2015/Biologia/7_185104.doc.htm

ных полей [20]. В частности, В.П. Петрова приводит сведения о том, что в мае 1967 г. на юге Сибири этот вид был достаточно многочисленным, и на каждые 25 взмахов сачком приходилось в среднем по 6 особей зикрон¹⁸. В энтомологических сборах 2021 г. в восточных районах Западной Сибири найдены лишь единичные особи *Z. caerulea*. Также ограниченно встречается в нашем регионе и щитник двузубый *Picromerus bidens* L., в число жертв которого входят около 250 видов насекомых различных отрядов, в связи с этим данный вид является чрезвычайно перспективным для массового разведения.

С учетом несомненной роли в регуляции численности вредных членистоногих, перечисленные выше и многие другие виды энтомофагов нуждаются в охране и искусственном разведении для последующего обогащения агро- и биоценозов. Уникальный опыт сохранения биоразнообразия насекомых в природных ценозах впервые реализован в условиях Сибири. По инициативе выдающегося энтомолога В.С. Гребенникова, нашего земляка, создан первый в стране микрозаповедник для охраны полезных насекомых в Омской области в 1971 г. Позже такие микрозаказники созданы под Новосибирском на землях Сибирского научно-исследовательского института кормов (1979 г.) [5], в ОПХ «Элитное» Новосибирской области (1987 г.)¹⁹. К сожалению, в настоящее время эти микрозаказники не поддерживаются.

Переработка насекомыми органических отходов с производством биоудобрений. Жизнедеятельность человека и выращивание сельскохозяйственных животных приводит к накоплению огромного количества органических и неорганических отходов, требующих их утилизации. Одним из способов конверсии органических отходов (пищевые отходы и отходы мясного производства, помет птиц и навоз животных и др.) для вторичного использования является их перера-

ботка насекомыми с получением органического удобрения, или зоогумуса.

Первыми в нашей стране начали исследования по переработке свиного навоза личинками комнатной мухи (*Musca domestica*) ученые Новосибирского сельскохозяйственного института (в настоящее время – НГАУ). Разработанная технология включала разведение отселектированной популяции мухи «Новосибирская» и собственно переработку субстрата личинками с получением зоогумуса, содержащего целый набор макро- и микроэлементов и белковой личиночной муки. По данным разработчиков, из 1 т свиного навоза или куриного помета получали до 80–90 кг личинок и 400–450 кг зоогумуса [21]. В дальнейшем в разных регионах страны стали заниматься переработкой куриного, перепелиного помета, навоза других животных, в том числе и с использованием зеленых падальных мух (род *Lucilia*).

В настоящее время одним из наиболее эффективных видов является черная львинка (*Hermetia illucens*). Ее разводят во многих странах мира [22, 23], однако лидером по переработке пищевых и органических отходов в настоящее время признается Китай, где программа строительства заводов по разведению этого вида насекомого пользуется поддержкой государственных структур и включена в список приоритетных направлений²⁰.

В России изучением биоэкологических особенностей *H. illucens* занимается Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова (ИПЭЭ РАН) и другие научные учреждения. Результаты исследований подтвердили, что к преимуществам данного вида мух тропического происхождения относится то, что они не являются переносчиком инфекций и не способны выживать вне биолaborаторий в условиях нашего климата [24, 25]. Массовым разведением черной львинки в России занимаются несколько

¹⁸Петрова В.П. Щитники Западной Сибири (Hemiptera, Pentatomidae): пособие для студентов и преподавателей. Новосибирск: НГПИ, 1975. 235 с.

¹⁹Музей агроэкологии и охраны окружающей среды (проспект). Новосибирск, 1988. 18 с.

²⁰Государственная программа Китая по переработке сельхозотходов с помощью личинок мух *Hermetia illucens*. URL: http://www.nasadki.net/index/kita_j_stanovitsja_mirovym_liderom_po_razvedeniju_oparysha_na_pishhevykh_otkhodakh/0-593

компаний, территориально расположенных в Европейской части страны: ООО «Энтопротэк» (Международная биотехнологическая компания), ООО «ЭкоБелок» (Москва), ООО «Биогенезис» (Москва).

Компания «Энтопротэк» запатентовала уникальную технологию по переработке органических отходов с помощью личинок *H. illucens* и построила завод в Пензенской области, где только в 2021 г. переработано 5,5 тыс. т органических отходов, что позволило не только получить полезную продукцию, но и значительно снизить выбросы парниковых газов по сравнению с другими методами переработки. В дальнейшем компания рассматривает возможность расширения производственных мощностей по переработке органических отходов, а также масштабирование проекта как в России, так и за рубежом²¹.

Кроме личинок двукрылых, переработка отходов органического происхождения возможна с использованием некоторых видов тараканов, жуков, личинок чешуекрылых насекомых.

Относительно недавно зафиксированы факты питания некоторых насекомых пластиком²². Биотехнологи из Якутии провели эксперимент, в ходе которого установили, что жуки *Zophobas morio* Fabr. могут поедать и разлагать пластик. С помощью метода газовой хроматографии они определили, что и в личинках, питавшихся пластиком, и в их экскрементах он практически отсутствует, так как расщепляется на вторичные метаболиты и октакозан. Опираясь на эти данные, исследователи создали портативные министанции для утилизации пластика с помощью жуков в домашних условиях и в офисных помещениях²³.

Несколько ранее сообщалось об открытии способности большой вощинной огневки *Galleria mellonella* L. поедать полиэ-

тилен²⁴. Однако этот факт был давно известен ученым, проводивших эксперименты с галлерией в качестве тест-объектов: содержание гусениц этого насекомого предполагало использование стеклянных емкостей и металлических крышек, так как полиэтиленовые крышки легко прогрызали гусеницы старших возрастов. При этом данная способность личинок не рассматривалась в качестве возможности использования их для переработки пластиковых отходов в связи с малыми количествами перерабатываемого сырья.

Производство продуктов жизнедеятельности насекомых. Это направление известно издавна благодаря развитию пчеловодства и шелководства. Помимо традиционных видов сырья (мед, воск, шелк, лак и др.), в настоящее время востребованы и многие другие продукты, получаемые из насекомых. Из высушенных (или лиофилизированных) насекомых получают высококачественную белковую муку, содержащую ряд ценных веществ. У истоков этого направления в России стояли ученые Новосибирского сельскохозяйственного института. Разработанная в проблемной лаборатории института биотехнология переработки органических отходов с помощью личинок комнатной мухи позволяла получать не только органическое удобрение (как отмечено выше), но и высокоценный белково-липидный концентрат, содержащий незаменимые аминокислоты и биологически активные вещества. Корм, обогащенный белковой мукой насекомых, обеспечивал высокую продуктивность животных, птицы, рыбы, насекомых, микроорганизмов и устойчивость растений к заболеваниям. Из 100 кг личинок комнатной мухи производили 18–20 кг белково-липидной муки [21].

²¹«Энтопротэк» переработала 5,5 тысячи тонн органических отходов при помощи черной львинки. URL: <https://www.agroxxi.ru/stati/-yentoprotyek-pererabotala-5-5-tysjachi-tonn-organicheskikh-othodov-pri-pomoschi-chnoi-lvinki.html>

²²Carrington D. Microplastics can spread via flying insects, research shows. URL: <https://www.theguardian.com/environment/2018/sep/19/microplastics-can-spread-via-flying-insects-research-shows#img-1>

²³Жуки едят пластик – их научились разводить в Якутии. URL: <https://goarctic.ru/news/zhuki-edyat-plastik-ikh-nauchilis-razvodit-v-yakutii/>

²⁴Баринаева А. Гусеницы спасут мир от пластика. URL: <https://nat-geo.ru/nature/gusenitsy-spasut-mir-ot-plastika/> National Geographic Россия, 2017.

В настоящее время производством кормового белка из личинок мух популяции *Lucilia Caesar* при переработке измельченных мясных отходов занимается липецкая компания «Новые биотехнологии»²⁵. Компания «ИнагроБио» (Ярославская область), специализирующаяся на аквакультуре, осуществляет разведение домашней мухи (*Musca domestica*) для обеспечения мальков кормами собственного производства²⁶.

Кормовой белок для животных производят также компании «Энтопротэин»²⁷, «Биогенезис»²⁸, «ЭкоБелок», архангельский «НордТехСад», используя для этого черную львинку. Личинки этой мухи содержат около 40% протеина и около 40% жира, богаты кальцием, фосфором. По результатам исследований ставропольской и белгородской межобластных ветеринарных лабораторий Россельхознадзора, мука, полученная из них, не токсична, не содержит условно-патогенных грибов и бактерий²⁹.

Белковую муку применяют и для включения в искусственно питательную среду (ПС) при массовом разведении самих насекомых. Известно, что ПС для разведения полезных видов членистоногих, как правило, включает дефицитные и дорогостоящие компоненты, а их замена на более доступную муку из насекомых позволяет значительно удешевить состав среды, сохраняя при этом ее питательную ценность. В Новосибирском ГАУ разработана питательная среда для насекомых-фитофагов с включением высушенной личиночной муки мух. Замена соевой муки на личиночную муку в ПС для пчелиной огневки позволила на

10% увеличить среднюю массу имаго и на 34% плодовитость самок³⁰. Эта же личиночная мука необходима и для включения в ПС для культивирования энтомопатогенных грибов – продуцентов инсектицидных препаратов. Известно, что для повышения вирулентности штаммов грибных патогенов прибегают к пассированию их через насекомого-хозяина, что является трудоемким, достаточно длительным и дорогостоящим процессом. Включение личиночной муки насекомых в состав питательной среды позволяет получить высоковирулентные штаммы, значительно сокращая и удешевляя эту процедуру³¹. Также сибирскими учеными разработана питательная среда для культивирования энтомопатогенных грибов, состоящая из смеси измельченных личинок синантропных мух, древесных опилок и пшена³².

Белковая мука и пищевые добавки, произведенные на основе биомассы насекомых, в настоящее время рассматриваются и для включения в рацион питания человека [26]. К основным игрокам рынка продуктов из биомассы насекомых в мире относятся компании Entomotech (Испания), Meertens (Нидерланды), Agriprotein (Великобритания-ЮАР), Ynsect (Франция), Proteinsect (Нидерланды), Protix (Нидерланды), Enterra (Канада), Big Cricket Farms (США). ФАО прогнозирует рост рынка съедобных насекомых к 2023 г. до 1,2 млрд дол. Однако не все эксперты в данной области относятся к этому столь оптимистично. Есть мнение, что производство и использование в России пищевых продуктов, полученных на осно-

²⁵Переработка органических отходов сельского хозяйства личинками мух с получением белка для животных, птицы и рыбы, и получением органических удобрений. URL: <https://www.zooprotein.com/>

²⁶Протеин XXI века: сверчки, тараканы и личинки мух. URL: <https://agrarii.com/protein-xxi-veka-sverchki-tarakany-i-lichinki-muh>

²⁷Максимов А.Н., Зорин Г.В. Способ выращивания личинок мух и переработки органических отходов – Энтопротэин. Патент 2 734 522 С1, 2020.

²⁸Бабаев Н.А., Бастраков А.И., Соколов И.В. Способ переработки органических отходов личинками мух *Hermetia illucens* с получением белка животного происхождения и биогумуса. Патент 654 220 С1, 2017.

²⁹Протеин XXI века: сверчки, тараканы и личинки мух. URL: <https://agrarii.com/protein-xxi-veka-sverchki-tarakany-i-lichinki-muh>

³⁰Штерниис М.В., Томилова О.Г., Андреева И.В., Шнатов Т.В. Биотехнология в защите растений: электронное учебное пособие: Новосибирск: НГАУ, 2015.

³¹Томилова О.Г., Усова О.Н., Штерниис М.В. Модификация среды для культивирования энтомопатогенных грибов // Современная микология в России: тез. докл. Первого съезда микологов России. М., 2002. 214 с.

³²Штерниис М.В., Сороколетов О.Н. Томилова О.Г., Андреева И.В. Питательная среда для культивирования энтомопатогенных грибов. Патент на изобретение № 2421512, 2011.

ве биомассы насекомых, бесперспективно вследствие ряда причин. В частности, отмечается, что возможное отрицательное воздействие продуктов из насекомых на человека еще плохо изучено³³. Тем не менее, такие протеиновые добавки начали производить и в нашей стране. Например, ООО «Кормилица» (Москва) предлагает для спортсменов белково-липидный концентрат (БЛК) из высушенных личинок мух черной львинки, содержащий 46–50% протеина и 14–28% жира³⁴.

Важное практическое значение имеют отдельные биологически активные вещества насекомых. На мировом рынке пользуются спросом хитин и его производное – хитозан, комплекс жирных кислот, органические формы минеральных веществ, меланины, антимикробные пептиды, гормоны и др.

В настоящее время известно более 70 направлений практического применения хитина (хитозана) и их разнообразных модификаций и композитов. По мнению ряда исследователей, хитин из насекомых по качеству в 20–50 раз превосходит хитин ракообразных [27–29].

В медицине и ветеринарии используют такие свойства хитозана и его производных, как высокая ранозаживляющая и сорбционная способность, противоопухолевая, противовирусная, антибактериальная и антиоксидантная активность, способность снижать уровень холестерина в крови, иммуномодулирующее и успокаивающее действие на центральную нервную систему, благодаря чему эти биополимеры широко используются в разработке новых перспективных лекарственных препаратов, средств доставки лекарств, раневых покрытий и шовных материалов для медицины, косметологических средств, радиопротекторов и др. [28–35].

В пищевой промышленности хитозан находит применение в качестве диетического волокна, эмульгатора, загустителя и др. На базе ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горба-

това РАН ведут работы по созданию биогибридного упаковочного материала на основе хитозана с включением различных антимикробных агентов животного происхождения. Такие пленочные материалы проявляют консервирующее действие, предотвращают микробную контаминацию и окислительные процессы в мясе, что позволяет значительно увеличить его сроки хранения³⁵.

Хитин, хитозан и его производные способны образовывать прочные хелатные связи с металлами, селективно извлекать ионы ртути, кобальта, золота и других металлов из сточных вод и морской воды. Так, хитин-меланиновый комплекс благодаря высокому содержанию меланина способен эффективно связывать тяжелые металлы, радионуклиды и другие поллютанты и может найти применение в качестве сорбента для очистки воды, почвы от этих антропогенных загрязнителей [36, 37]. Обладая мощными антиоксидантными свойствами, меланин используется как средство, способствующее снижению накопления радионуклидов в организме животных и человека.

Препараты на основе хитозана нашли также применение и в сельском хозяйстве, и в защите растений. Благодаря хорошей биоразлагаемости и в то же время наличию биологической активности, хитозан используется для гранулирования удобрений, в качестве элиситора, вызывающего системную и продолжительную устойчивость растений к возбудителям различных заболеваний [35, 36]. Основываясь на противогрибном действии этого биополимера, в последние годы ученые и практики изучают возможность его применения в качестве фунгицидов. Установлено, что хитозан и его производные подавляют развитие таких экономически важных грибных фитопатогенов, как *Botrytis cinerea* Pers., *Fusarium oxysporum*, *F. moniliforme*, *Colletotrichum lagenarium* (Pass) Ell. et Halst. [38–42], возбудителей бактериальных болезней растений – *Agrobacterium tumefaciens* и *Erwinia*

³³Протеин XXI века: сверчки, тараканы и личинки мух. URL: <https://agrarii.com/protein-xxi-veka-sverchki-tarakany-i-lichinki-muh>

³⁴Кормовой белок для спортсменов (животный протеин). URL: <https://kormilitsa.com/kormovoj-belok-zhivotnyj-protein/>

³⁵О хитозане, или как наука превращает бесполезные отходы в инновации. URL: <https://rossaprimavera.ru/article/8e191caf>.

carotovora [43], а также проявляют противовирусную активность [44].

Ценным продуктом являются жирные кислоты, извлекаемые из биомассы насекомых при их переработке [45]. Разработан способ получения масла из личинок *Musca domestica*, богатого омега-3 и омега-6, омега-7 и омега-9, предназначенного для получения чистых фракций различных типов жирных кислот³⁶. Уникальный жирно-кислотный состав имеют личинки черной львинки, включая высокое содержание линолевой, олеиновой, лауриновой и других кислот, предназначенных для использования в кормопроизводстве, мыловарении, косметологии и фармацевтике [22, 25, 26].

Представленная информация была бы неполной, если не упомянуть о значении насекомых для науки и технологий. Перечень открытий, сделанных с помощью шестиногих членистоногих, достаточно обширен, результаты которых используются человеком в области сельскохозяйственного производства, в медицине, химической промышленности, инженерии и во многих других областях практической деятельности. Это и хромосомная теория наследственности, доказанная Томасом Морганом в экспериментах с плодовой мушкой дрозофилой; конструирование роботов по «прототипу» насекомых и других членистоногих; создание эффективных покрытий «Super Black» на основе изучения дифракционных решеток чешуек на крыльях бабочек, способных воздействовать на световые волны и улавливать свет и многое другое. «Изобретения» насекомых – неисчерпаемы, регулярно открываются все новые грани и возможности их мира. В связи с этим перспективы дальнейшего развития технической энтомологии чрезвычайно актуальны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Злотин А.З. Техническая энтомология: монография. Киев: Наукова думка, 1989. 184 с.
2. Тамарина Н.А. Основы технической энтомологии: монография. М: Издательство МГУ, 1990. 203 с.
3. Наумкин В.П., Мазалов В.И. Насекомые – опылители агроценозов энтомофильных культур // Зернобобовые и крупяные культуры. 2016. № 3 (19). С. 114–118.
4. Васильева Т.В. Видовой состав и влияние насекомых-опылителей на урожай горчицы белой // Молочнохозяйственный вестник. 2017. № 3 (27). С. 40–45.
5. Гребенников В.С. Шмели – опылители клевера: монография. М.: Россельхозиздат, 1984. 62 с.
6. Диденко А.О. Гибель пчел в России и мире: состояние проблемы // АгроФорум. 2020. № 5. С. 28–30.
7. Крыленко С.В., Ясюкевич В.В. Кризис опыления и вклад в него изменений климата // Фундаментальная и прикладная климатология. 2021. Т. 7. №. 3. С. 15–49.
8. Decourtye A., Alaux C., Le Conte Y., Henry M. Toward the protection of bees and pollination under global change: present and future perspectives in a challenging applied science // Current opinion in insect science. 2019. N 35. P. 123–131. DOI: 10.1016/j.cois.2019.07.008.
9. Ясюкевич В.В., Давидович Е.А., Ясюкевич Н.В. Особенности биологии и культивирования тараканов // Прикладная энтомология. 2012. № 3 (7). С. 17–25.
10. Колесник И.И. Энтомоиндустрия как направление импортозамещения в России // Современный научный вестник. 2016. № 4 (2). С. 33–41.
11. Васильев А.А., Кузнецов М.Ю., Серебрянский Д.М. Перспективы использования личинок мух в кормлении рыб // Рыбное хозяйство. 2017. № 3. С. 85–99.
12. Кидов А.А. Рост, выживаемость и эффективность использования различных живых кормов у гирканской луговой ящерицы, *Darevskia praticola hyrcanica* (Lacertidae, Reptilia) в зоокультуре // Современная герпетология. 2020. № 1/2. С. 35–42. DOI: 10.18500/1814-6090-2020-20-1-2-35-42.
13. Мисриева Б.У., Шаронова А.И. Эффективность амброзиевого полосатого листоеда *Zygogramma suturalis* F. в ограничении численности опасного аллергена амброзии полыннолистной // Вестник социально-педагогического института. 2014. № 2 (10). С. 41–45.

³⁶Аранеда Патрисио. Получение жирных кислот из личинок насекомых. Публикация патента: 27.01.2014.

14. Рунева Т.Д. Фитофаги – обитатели генеративных органов сорных артишоковых (сем. Compositae) в Западной Сибири // Бюллетень «Защита растений». 1973. Вып. 6. С. 19–24.
15. Рунева Т.Д. Фитофаги вегетативных органов артишоковых Synagaeae Compositae в Западной Сибири // Бюллетень «Защита растений». 1973. Вып. 6. С. 40–44.
16. Алеева М.Н. Стеторус (*Stethorus punctillum* Ws.) в Среднем Приобье // Биологические методы борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур. Новосибирск, 1975. Вып. 9. С. 29–33.
17. Пекин В.П. Эколого-фаунистический обзор кокциnellид Урала и юга Западной Сибири // Вестник Челябинского государственного университета. 2007. № 6. С. 95–107.
18. Агасьева И.С., Исмаилов В.Я., Федоренко Е.В., Неведова М.В. Разведение и применение хищных клопов пентатомид против колорадского жука // Защита и карантин растений. 2013. № 11. С. 21–23.
19. Исмаилов В.Я., Агасьева И.С., Киль В.И., Федоренко Е.В., Неведова М.В., Беседина Е.Н. Биология, фенотипическая и генотипическая структура популяций хищного клопа *Perillus bioculatus* Fabr. (Heteroptera, Pentatomidae) в Краснодарском крае // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54. № 1. С. 110–120. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.1.110rus.
20. Agas'eva I.S., Ismailov V.Y., Nefedova M.V., Fedorenko E.V. The species composition and bioregulatory activity of entomophages in potato pest control system // Agricultural Biology. 2016. Vol. 51 (3). P. 401–410.
21. Гудилин И.И., Кондратов А.Ф., Баяндина Г.В., Бродская Н.М., Токарев В.С., Чичин А.А., Кунавин Г.А. Биотехнология переработки органических отходов и экология: монография. Новосибирск: Новосибирское книжное издательство, 1999. 392 с.
22. Wang Y.-S., Shelomi M. Review of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as Animal Feed and Human Food // Foods. 2017. Vol. 6 (10). 91 p. DOI: 10.3390/foods6100091.
23. Liu C., Wang C., Yao H. Comprehensive Resource Utilization of Waste Using the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) // Animals (Basel). 2019. Vol. 13. N 9 (6). 349 p. DOI: 10.3390/ani9060349.
24. Антонов А.М., Лутовиновас Е., Иванов Г.А., Пастухова Н.О. Адаптация и перспективы разведения мухи черная львинка (*Hermetia illucens*) в циркумполярном регионе // Принципы экологии. 2017. № 3. С. 4–19. DOI: 10.15393/j1.art.2017.6302.
25. Ушакова Н.А., Понамарев С.В., Федоровых Ю.В., Бастрарева А.И., Павлов Д.С. Физиологические основы питательной ценности концентрата личинок *Hermetia illucens* в рационе рыб // Известия Российской академии наук. Серия Биология. 2020. № 3. С. 293–300.
26. Чой Е.Д., Ли В.В., Деркембаева Ж.С., Жолборсов А.А., Джурарева С.Д., Тукушов С.К., Эшмуратов А.Б., Туркменов А.А. Глобальные перспективы использования личинок мухи черная львинка (Black soldier fly) в животноводческом корме, питании, фармакологии и косметологии (обзор литературы) // Уральский медицинский журнал. 2020. № 10. С. 193–204.
27. Веротченко М.А., Терещенко А.П., Злочевский Ф.И. Биопереработка свиного навоза – основа получения хитина и хитозана // Аграрная Россия. 2000. № 5. С. 57–59.
28. Балабаев В.С., Антипова Л.В. Хитин и хитозан – материалы XXI века // Успехи современного естествознания. 2012. № 6. С. 130–138.
29. Khayrova A., Lopatin S., Varlamov V. Obtaining chitin, chitosan and their melanin complexes from insects // International Journal of Biological Macromolecules. 2021. Vol. 167. P. 1319–1328. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.11.086.
30. Liu H.T., Li W.M., Xu G., Li X.Y., Bai X.F., Wei P., Yu C., Du Y.G. Chitosan oligosaccharides attenuate hydrogen peroxide- induced stress injury in human umbilical vein endothelial cells // Pharmacological Research. 2009. N 59. P. 167–175.
31. Xia W., Liu P., Zhang J., Chen J. Biological activities of chitosan and chitoooligosaccharides // Food Hydrocolloids. 2011. N 25. P. 170–179.
32. Zou P., Yang X., Wang J., Li Y., Yu H., Zhang Y., Liu G. Advances in characterisation and biological activities of chitosan and chitosan oligosaccharides // Food Chemistry. 2015. N 190. P. 1174–1181. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.06.076.
33. Chang S.H., Wu C.H., Tsai G.J. Effects of chitosan molecular weight on its antioxidant and antimutagenic properties // Carbohydrate Polymers. 2018. N 181. P. 1026–1032. DOI: 10.1016/j.carbpol.2017.11.047.
34. Anraku M., Gebicki J.M., Iohara D., Tomida H., Uekama K., Maruyama T., Hirayama F., Otagi-

- ri M. Antioxidant activities of chitosans and its derivatives in in vitro and in vivo studies // *Carbohydrate Polymers*. 2018. N 199. P. 141–149.
35. Варламов В.П., Ильина А.В., Шагдарова Б.Ц., Луньков А.П., Мысякина И.С. Хитин/хитозан и его производные // *Успехи биологической химии*. 2020. Т. 60. С. 317–368.
36. Курченко В.П., Буга С.В., Петрашкеви Н.В., Буткевич Т.В., Ветошкин А.А., Демченков Е.Л., Лодыгин А.Д., Зуева О.Ю., Варламов В.П., Бородин О.И. Технологические основы получения хитина и хитозана из насекомых // *Труды Белорусского государственного университета*. 2016. Т. 11. Ч. 1. С. 110–126.
37. Тарановская Е.А., Собгайда Н.А., Маркина Д.В. Сорбционные материалы на основе хитозана для очистки стоков от ионов тяжелых металлов // *Экология и промышленность России*. 2016. № 20 (5). С. 34–39. DOI: 10.18412/1816-0395-2016-5-34-39.
38. Guo Z., Xing R., Liu S., Zhong Z., Ji X., Wang L., Li P. Antifungal properties of Schiff bases of chitosan, N-substituted chitosan and quaternized chitosan // *Carbohydrate Research*. 2007. N 342. P. 1329–1332.
39. Park Y., Kim M.-H., Park S.-C., Cheong H., Jang M.-K., Nah J.-W., Hahm K.-S. Investigation of the antifungal activity and mechanism of action of LMWS- chitosan // *Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2008. N 18. P. 1729–1734.
40. Verlee A., Mincke S., Stevens C.V. Recent developments in antibacterial and antifungal chitosan and its derivatives // *Carbohydrate Polymers*. 2017. N 164. P. 268–283.
41. Yang G., Jin Q., Xu C., Fan S., Wang C., Xie P. Synthesis, characterization and antifungal activity of coumarin-functionalized chitosan derivatives // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2018. N 106. P. 179–184.
42. Карпова Н.В., Шагдарова Б.Ц., Лялина Т.С., Ильина А.В., Терешина В.М., Варламов В.П. Влияние основных характеристик низкомолекулярного хитозана на рост фитопатогенного гриба *Botrytis cinerea* // *Прикладная биохимия и микробиология*. 2019. № 5. С. 386–395.
43. Badawy M.E.I., Rabea E.I., Taktak N.E.M. Antimicrobial and inhibitory enzyme activity of N-(benzyl) and quaternary N-(benzyl) chitosan derivatives on plant pathogens // *Carbohydrate Polymers*. 2014. N 111. P. 670–682.
44. Куликов С.Н., Чирков С.Н., Ильина А.В., Лопатин С.А., Варламов В.П. Влияние молекулярной массы хитозана на его противовирусную активность в растениях // *Прикладная биохимия и микробиология*. 2006. № 42. С. 224–228.
45. Мальцева Т.А. Исследование свойств высушенной личинки мухи *Hermetia illucens* и жира применительно к процессу отжима // *Научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2021. № 173. С. 1–11.

REFERENCES

1. Zlotin A.Z. *Technical entomology*. Kiev, Naukova dumka Publ., 1989, 184 p. (In Ukrainian).
2. Tamarina N.A. *Fundamentals of technical entomology*. Moscow: MGU Publ., 1990, 203 p. (In Russian).
3. Naumkin V.P., Mazalov V.I. Insect-pollinators of agrocenoses of entomophilous crops. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury = Legumes and Groat Crops*, 2016, no. 3 (19), pp. 114–118. (In Russian).
4. Vasil'eva T.V. Species composition and the influence of insects-pollinators on crops of sinapis alba. *Molochnokhozyaistvennyi vestnik = Dairy Farming Journal*, 2017, no. 3 (27), pp. 40–45. (In Russian).
5. Grebennikov V.S. *Bumblebees are pollinators of clover*. Moscow, Rossel'khozizdat Publ., 1984, 62 p. (In Russian).
6. Didenko A.O. The death of bees in Russia and the world: the state of the problem. *AgroForum = AgroForum*, 2020, no. 5, pp. 28–30. (In Russian).
7. Krylenko S.V., Yasyukevich V.V. Pollination crisis and the contribution of climate change. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya = Fundamental and Applied climatology*, 2021, vol. 7, no. 3, pp. 15–49. (In Russian).
8. Decourtye A., Alaux C., Le Conte Y., Henry M. Toward the protection of bees and pollination under global change: present and future perspectives in a challenging applied science. *Current opinion in insect science*, 2019, no. 35, pp. 123–131. DOI: 10.1016/j.cois.2019.07.008.
9. Yasyukevich V.V., Davidovich E.A., Yasyukevich N.V. Features of biology and cultivation of cockroaches. *Prikladnaya entomologiya = Applied entomology*, 2012, no. 3 (7), pp. 17–25. (In Russian).

10. Kolesnik I.I. Entomoindustry as a direction of import substitution in Russia. *Sovremennyyi nauchnyi vestnik = Modern Scientific Bulletin*, 2016, no. 4 (2), pp. 33–41. (In Russian).
11. Vasil'ev A.A., Kuznetsov M.Yu., Serebryanskii D.M. Prospects of flies' larvae using in fish feeding. *Rybnoe khozyaistvo = Fisheries*, 2017, no. 3, pp. 85–99. (In Russian).
12. Kidov A.A. Growth, survival and live feed utilization efficiency of the Hyrcanian Meadow Lizard, *Darevskia praticola hyrcanica* (Lacertidae, Reptilia) in captivity. *Sovremennaya gerpetologiya = Current Studies in Herpetology*, 2020, no. 1/2, pp. 35–42. (In Russian). DOI: 10.18500/1814-6090-2020-20-1-2-35-42.
13. Misrieva B.U., Sharonova A.I. The effectiveness of the ambrosia striped leaf beetle *Zygo-gramma suturalis* F. in limiting the number of dangerous allergen ragweed. *Vestnik sotsial'no-pedagogicheskogo instituta = Bulletin of the Social-Pedagogical Institute*, 2014, no. 2 (10), pp. 41–45. (In Russian).
14. Runeva T.D. Phytophages are inhabitants of generative organs of weed artichokes (Compositae family) in Western Siberia. *Byulleten' «Zashchita rastenii» = Bulletin "Plant Protection"*, 1973, vol. 6, pp. 19–24. (In Russian).
15. Runeva T.D. Phytophages of vegetative organs of artichoke Cynareae Compositae in Western Siberia. *Byulleten' «Zashchita rastenii» = Bulletin "Plant Protection"*, 1973, vol. 6, pp. 40–44. (In Russian).
16. Aleeva M.N. *Stethorus* (*Stethorus punctillum* Ws.) in the Middle Ob. Biological methods of pest control of agricultural crops. Novosibirsk, 1975, vol. 9, pp. 29–33. (In Russian).
17. Pekin V.P. Ecological and faunal review of the coccinellidae of the Urals and the south of Western Siberia. *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Chelyabinsk State University*, 2007, no. 6, pp. 95–107. (In Russian).
18. Agas'eva I.S., Ismailov V.Ya., Fedorenko E.V., Nefedova M.V. Rearing and use of pentatomidae predacious bugs against the Colorado potato beetle. *Zashchita i karantin rastenii = Board of Plant Protection and Quarantine*, 2013, no. 11, pp. 21–23. (In Russian).
19. Ismailov V.Ya., Agas'eva I.S., Kil' V.I., Fedorenko E.V., Nefedova M.V., Besedina E.N. Biological characterization, phenotypic and genotypic structure of predatory stink-bug *Perillus bioculatus* Fabr. (Heteroptera, Pentatomidae) population in Krasnodar region. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya = Agricultural Biology*, 2019, vol. 54, no. 1, pp. 110–120. (In Russian). DOI: 10.15389/agrobiology.2019.1.110rus.
20. Agas'eva I.S., Ismailov V.Y., Nefedova M.V., Fedorenko E.V. The species composition and bioregulatory activity of entomophages in potato pest control system. *Agricultural Biology*, 2016, vol. 51 (3), pp. 401–410.
21. Gudilin I.I., Kondratov A.F., Bayandina G.V., Brodskaya N.M., Tokarev B.C., Chichin A.A., Kunavin G.A. *Biotechnology of organic waste processing and ecology*. Novosibirsk, Novosibirsk Book Publishing House, 1999, 392 p. (In Russian).
22. Wang Y.-S., Shelomi M. Review of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as Animal Feed and Human Food. *Foods*, 2017, vol. 6 (10), pp. 91. DOI: 10.3390/foods6100091.
23. Liu C., Wang C., Yao H. Comprehensive Resource Utilization of Waste Using the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* (L.)) (Diptera: Stratiomyidae). *Animals (Basel)*, 2019, vol. 13, no. 9 (6), 349 p. DOI: 10.3390/ani9060349.
24. Antonov A.M., Lutovinovas E., Ivanov G.A., Pastukhova N.O. Adaptation and prospects of breeding flies Black Ivink (*Hermetia illucens*) in circumpolar region. *Printsipy ekologii = Principles of the Ecology*, 2017, no. 3, pp. 4–19. (In Russian). DOI: 10.15393/j1.art.2017.6302.
25. Ushakova N.A., Ponamarev S.V., Fedorovych Yu.V., Bastrakova A.I., Pavlov D.S. Physiological basis of the nutritional value of a concentrate of *Hermetia illucens* larvae in fish diets. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya biologiya = Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Biological series*, 2020, no. 3, pp. 293–300. (In Russian).
26. Choi E.D., Li V.V., Derkembayeva Zh.S., Zholborsov A.A., Dzhuraeva S.D., Tukeshev S.K., Eshmuratov A.B., Turkmenov A.A. Global prospects for the use of black Soldier fly larvae in livestock feed, nutrition, pharmacology and cosmetology (literature review). *Ural'skii meditsinskii zhurnal = Ural Medical Journal*, 2020, no. 10, pp. 193–204. (In Russian).
27. Verotchenko M.A., Tereshchenko A.P., Zlochevskii F.I. Bio-processing of pig manure is the basis for obtaining chitin and chitosan. *Agrarnaya Rossiya = Agrarian Russia*, 2000, no. 5, pp. 57–59. (In Russian).

28. Balabaev V.S., Antipova L.V. Chitin and chitosan – materials of the XXI century. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya = Advances in Current Natural Sciences*, 2012, no. 6, pp. 130–138. (In Russian).
29. Khayrova A., Lopatin S., Varlamov V. Obtaining chitin, chitosan and their melanin complexes from insects. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2021, vol. 167, pp. 1319–1328. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.11.086.
30. Liu H.T., Li W.M., Xu G., Li X.Y., Bai X.F., Wei P., Yu C., Du Y.G. Chitosan oligosaccharides attenuate hydrogen peroxide- induced stress injury in human umbilical vein endothelial cells. *Pharmacological Research*, 2009, no. 59, pp. 167–175.
31. Xia W., Liu P., Zhang J., Chen J. Biological activities of chitosan and chitooligosaccharides. *Food Hydrocolloids*, 2011, no. 25, pp. 170–179.
32. Zou P., Yang X., Wang J., Li Y., Yu H., Zhang Y., Liu G. Advances in characterisation and biological activities of chitosan and chitosan oligosaccharides. *Food Chemistry*, 2015, no. 190, pp. 1174–1181. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.06.076.
33. Chang S.H., Wu C.H., Tsai G.J. Effects of chitosan molecular weight on its antioxidant and antimutagenic properties. *Carbohydrate Polymers*, 2018, no. 181, pp. 1026–1032. DOI: 10.1016/j.carbpol.2017.11.047.
34. Anraku M., Gebicki J.M., Iohara D., Tomida H., Uekama K., Maruyama T., Hirayama F., Otagiri M. Antioxidant activities of chitosans and its derivatives in in vitro and in vivo studies. *Carbohydrate Polymers*, 2018, no. 199, pp. 141–149.
35. Varlamov V.P., Il'ina A.V., Shagdarova B.Ts., Lun'kov A.P., Mysyakina I.S. Chitin/chitosan and its derivatives. *Uspekhi biologicheskoi khimii = Biological chemistry reviews*, 2020, vol. 60, pp. 317–368. (In Russian).
36. Kurchenko V.P., Buga S.V., Petrashkevi N.V., Butkevich T.V., Vetoshkin A.A., Demchenkov E.L., Lodygin A.D., Zueva O.Yu., Varlamov V.P., Borodin O.I. Technological background for producing chitine and chitosan from insects. *Trudy Belorusskogo Gosudarstvennogo Universiteta = Proceedings of the Belarusian State University*, 2016, vol. 11 (1), pp. 110–126. (In Russian).
37. Taranovskaya E.A., Sobgaida N.A., Markina D.V. Absorbent Materials Based on Chitosan for Sewage Treatment from Heavy Metal Ions. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii = Ecology and Industry of Russia*, 2016, no. 20 (5), pp. 34–39. (In Russian). DOI: 10.18412/1816-0395-2016-5-34-39.
38. Guo Z., Xing R., Liu S., Zhong Z., Ji X., Wang L., Li P. Antifungal properties of Schiff bases of chitosan, N-substituted chitosan and quaternized chitosan. *Carbohydrate Research*, 2007, no. 342, pp. 1329–1332.
39. Park Y., Kim M.-H., Park S.-C., Cheong H., Jang M.-K., Nah J.-W., Hahm K.-S. Investigation of the antifungal activity and mechanism of action of LMWS- chitosan. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2008, no. 18, pp. 1729–1734.
40. Verlee A., Mincke S., Stevens C.V. Recent developments in antibacterial and antifungal chitosan and its derivatives. *Carbohydrate Polymers*, 2017, no. 164, pp. 268–283.
41. Yang G., Jin Q., Xu C., Fan S., Wang C., Xie P. Synthesis, characterization and antifungal activity of coumarin-functionalized chitosan derivatives. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018, no. 106, pp. 179–184.
42. Karpova N.V., Shagdarova B.Ts., Lyalina T.S., Il'ina A.V., Tereshina V.M., Varlamov V.P. Influence of the main characteristics of low weight chitosan on the growth of the plant pathogenic fungus *Botrytis cinerea*. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya = Applied biochemistry and microbiology*, 2019, no. 55, pp. 386–395. (In Russian).
43. Badawy M.E.I., Rabea E.I., Taktak N.E.M. Antimicrobial and inhibitory enzyme activity of N-(benzyl) and quaternary N-(benzyl) chitosan derivatives on plant pathogens. *Carbohydrate Polymers*, 2014, no. 111, pp. 670–682.
44. Kulikov S.N., Chirkov S.N., Il'ina A.V., Lopatin S.A., Varlamov V.P. Effect of the molecular weight of chitosan on its antiviral activity in plants. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya = Applied biochemistry and microbiology*, 2006, no. 42, pp. 224–228. (In Russian).
45. Mal'tseva T.A. Research of the properties of dried *Hermetia illucens* fly larvae and fat in relation to the extraction process. *Nauchnyi zhurnal KubGAU = Scientific journal of KubSAU*, 2021, no. 173, pp. 1–11. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Андреева И.В.**, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией, **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск; а/я 463; e-mail: iva2008@ngs.ru

Шаталова Е.И., кандидат биологических наук, старший научный сотрудник

Ульянова Е.Г., кандидат биологических наук, старший научный сотрудник

Ходакова А.В., аспирант, младший научный сотрудник

Агриколянская Н.И., аспирант, младший научный сотрудник

Голохваст К.С., доктор биологических наук, профессор РАН, член-корреспондент РАО, директор СФНЦА РАН

AUTOR INFORMATION

✉ **Irina V. Andreeva**, Candidate of Science in Agriculture, Laboratory Head; **address:** PO Box 463, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: iva2008@ngs.ru

Elena I. Shatalova, Candidate of Science in Biology, Senior Researcher

Ekaterina G. Ulyanova, Candidate of Science in Biology, Senior Researcher

Alevtina V. Khodakova, Postgraduate student, Junior Researcher

Nataliya I. Agrikolyanskaya, Postgraduate student, Junior Researcher

Kirill S. Golokhvast, Doctor of Science in Biology, Professor RAS, Corresponding Member RAE, Director SFSCA RAS

Дата поступления статьи / Received by the editors 26.04.2022

Дата принятия к публикации / Accepted for publication 24.06.2022

Дата публикации / Published 26.09.2022