

УДК 338.436.32
DOI: 10.17586/2310-1172-2022-16-2-173-185
Научная статья

Эколого-экономическая эффективность применения биологических средств защиты в цепочке поставок продукции растениеводства

Канд. техн. наук **Сергиенко О.И.** oisergienko@itmo.ru
Док. техн. наук **Кипрушкина Е.И.** eikiprushkina@itmo.ru
Миниахметова А.В. minaigul86@mail.ru
Канд. техн. наук **Румянцева О.Н.** rumiantseva@itmo.ru
Д-р экон. наук **Василенок В.Л.** fem1421@yandex.ru
Университет ИТМО
191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Экологизация растениеводства и технологий послеуборочного хранения растительной продукции актуальна с точки зрения реализации принципов устойчивого развития, поскольку одновременно с производством высококачественного продовольствия приводит к снижению экологического воздействия, в том числе к климатическим изменениям. В статье рассматривается использование биопрепаратов в цепочке поставок картофеля, включая сбор урожая, технологии сельскохозяйственного производства, транспортировку и длительное хранение. Целью исследования являлась оценка снижения углеродного следа цепочки поставок картофеля с применением биологических средств защиты, а также определение экономических результатов по сравнению с традиционной технологией выращивания. На примере традиционного для Северо-Запада России картофеля сорта Невский показано, что после биологической обработки урожайность повышается на 17%, массовая доля сухого вещества увеличивается в среднем на 3,5%, снижается содержание нитратов, потери при хранении, что обеспечивает пищевую безопасность картофеля, приводит к снижению углеродного следа и подтверждает необходимость применения биологических средств защиты растительного сырья.

Ключевые слова: цепочка поставок, оценка жизненного цикла, углеродный след, технологии послеуборочной обработки, картофель, нитраты, пищевая ценность, экономические потери, экономические результаты.

Scientific article

Ecological and economic aspects of the application of biological protection means of agricultural crops on the example of potato

Ph.D. **Sergienko O.I.** oisergienko@yandex.ru
D.Sc. **Kipruchkina E.I.** eikiprushkina@itmo.ru
Miniakhmetova A.V. minaigul86@mail.ru
Ph.D. **Rumyantseva O.N.** rumiantseva@itmo.ru
D.Sc. **Vasilenok V.L.** fem1421@yandex.ru
ITMO University
191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosova str., 9

Ecologization of the plant production and technology of post-harvest storage of plant products is relevant in terms of implementing the principles of sustainable development, because simultaneously with the production of high-quality food leads to a decrease in environmental impacts, including to climate change. The article considers the use of biopreparations in the potato supply chain, including harvesting, agricultural production technology, transportation, and long-term storage. The purpose of the study was to assess the reduction of the carbon footprint of the potato supply chain with the use of

biological control agents, as well as to determine the economic results in comparison with the traditional growing technology. On an example of the Nevskiy variety of potatoes traditional for the Northwest of Russia it is shown that after biological treatment yield increases by 17 %, mass fraction of a dry substance increases on the average by 3,5 %, the maintenance of nitrates, losses at storage that on the whole leads to decrease in a carbon footprint and can serve as substantiation of necessity of application of biological means of protection of vegetable raw materials is reduced.

Keywords: supply chain, life cycle assessment, carbon footprint, post-harvest technology, potatoes, nitrates, nutritional value, economic losses, economic results.

Введение

Актуальность и проблема

В предстоящие десятилетия устойчивое обеспечение продовольствием растущего народонаселения мира потребует существенного улучшения глобальной продовольственной системы. Основная задача заключается в том, чтобы производить больше продовольствия с теми же или меньшими ресурсами. Как известно, продовольственная безопасность включает четыре направления: наличие продовольствия, доступ к продовольствию, использование и качество продовольствия и продовольственная стабильность [1].

Для достижения целей в области Устойчивого развития, в частности Цель 2 (ликвидация голода, обеспечение продовольственной безопасности и улучшение питания, и содействие устойчивому развитию сельского хозяйства) и Цель 12 (обеспечение перехода к рациональным моделям потребления и производства), необходима смена традиционной модели производства, которая функционирует по модели «добыть, использовать, захоронить», на принципиально новую – циркулярную экономику замкнутого типа. Такая модель обеспечивает рациональное использование ресурсов и материалов на каждом этапе жизненного цикла продукта – от добычи сырья до потребления и утилизации продукта, когда составляющие жизненного цикла используются повторно, перерабатываются и возвращаются в цикл производства.

В статье анализируется эколого-экономическая эффективность применения средств биологической защиты в цепочке поставок картофеля.

Целью исследования является изучение эколого-экономической эффективности использования биологических средств защиты при производстве сельскохозяйственных культур на примере картофеля.

С этой целью была рассмотрена задача количественной оценки потерь урожая с применением биопрепаратов и без них.

В сельскохозяйственной отрасли страны большие потери продукции происходят на каждом этапе производства: при транспортировке, выращивании и хранении. Поэтому развитие научно обоснованных, экологически безопасных систем производства, с применением биологических методов защиты важно для сохранения потребительских свойств продукции растениеводства и овощеводства, особенно на этапе хранения, и для увеличения сезонного урожая за счет повышения устойчивости культурных растений к погодным и почвенным условиям, фитипатогенам на стадии вегетации и др. неблагоприятным факторам окружающей среды.

По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (FAO) [2], ежегодно во всем мире количество пищевых отходов составляет 1,3 миллиарда тонн — почти треть всех продуктов питания. Отчет Сколково показал, что "вклад" России в эти потери довольно высок и составляет около 82 миллионов тонн (6,3%) [3].

Среди сельскохозяйственных культур картофель является третьей по значимости продовольственной культурой с точки зрения глобального потребления, особенно в развивающихся странах с высоким уровнем нищеты и голода. Картофель был рекомендован FAO в качестве одной из базовых культур продовольственной безопасности, поскольку мир сталкивается с растущим населением и связанными с этим проблемами нехватки продовольствия [4].

Исследования Сколково показали, что картофель создает 15% потребительских отходов и 11% отходов в оптовой и розничной торговле и занимает третье место после зерновых и молочных продуктов в списке продуктов питания, выбрасываемых потребителями [3].

В России из 17 млн тонн пищевых отходов доля потерь картофеля составляет около 2,55 млн тонн, что является не только источником 360 тыс. тонн выбросов метана, образующихся на свалках ежегодно, но и причиной значительных финансовых потерь [3]. Затраты на эти потери можно оценить в 4,85 млрд рублей в ценах продаж 2022 года [5].

Потери продовольствия приводят к появлению серьезных экологических проблем – к нерациональному использованию земельных, водных и энергетических ресурсов, появлению эффектов эко-токсичности в результате

применения пестицидов, процессам эвтрофикации водных объектов и изменению климата, вызванному образованием метана при попадании пищевых отходов на свалки [6, 7].

К числу основных проблем, вызывающих образование пищевых отходов растительного происхождения в России, включая отходы картофеля, относятся отсутствие развитой инфраструктуры для хранения и некачественные методы уборки урожая. Сокращение этих потерь за счет внедрения в цепочке поставок продукции растениеводства биотехнологий служит важным фактором повышения продовольственной безопасности. В настоящее время потенциал биотехнологий растет для достижения устойчивых результатов в агробизнесе, а также для развития органического земледелия в России и во всем мире [2, 8, 9].

На сегодняшний день интерес потребителей к взаимосвязи между питанием и здоровьем повысил спрос не только на информацию о составе и производителе пищевых продуктов, но также на информацию о безопасности пищевых продуктов, включая способах производства, информации об экологических аспектах производства. Со значительным повышением осведомленности общественности о пищевых продуктах, производителям в настоящее время необходимо продемонстрировать приверженность безопасности пищевых продуктов с помощью сторонних аудитов. Такую возможность предоставляет, известная в Европе и США, сертификация Good Agricultural Practices (GAP). Данная сертификация была разработана на основе Закона о модернизации безопасности пищевых продуктов (2011) в США. Целью разработки GAP было разработать правила для установления стандартов безопасного выращивания, сбора урожая, упаковки и хранения для ферм, которые подпадают под «Правило безопасности продукции». «Правило безопасности продукции» распространяется на фермы, которые выращивают продукцию, предназначенную для потребления без дополнительной обработки. Таким образом, внедряя GAP в агропроизводство, в том числе в России, компании могут производить продукты питания более безопасным способом, работая над расширением своего бизнеса и выходом на новые рынки.

Проведение аудита для сертификации GAP связано с проведением индивидуальной оценки технологических процессов в различных производствах продуктов питания. Аудит надлежащей сельскохозяйственной практики (GAP) — это добровольный аудит, который подтверждает, что сельскохозяйственная продукция производится, упаковывается, обрабатывается и хранится с целью минимизации рисков микробиологической безопасности пищевых продуктов. Аудит GAP проверяет соблюдение рекомендаций, содержащихся в «Руководстве Управления по контролю за продуктами питания и лекарствами США» по минимизации микробной опасности пищевых продуктов для свежих фруктов и овощей, а также признанных методов обеспечения безопасности пищевых продуктов.

Пример политики большинства стран Юго-Восточной Азии, которые имеют строгие законы и правила, контролируемые любую сельскохозяйственную или аквакультурную деятельность, связанную с использованием пестицидов, способствует распространению применения GAP. Фактически, Малайзия уже разработала свои собственные государственные национальные стандарты GAP в форме схемы аккредитации фермерских хозяйств (SALM), которая была введена Министерством сельского хозяйства и агропромышленного комплекса еще в январе 2002 года. Позже он был переименован в Malaysian Farm Good Agricultural Practice Scheme (MyGAP), где эта стратегия действует в настоящее время как общая схема сертификации для секторов аквакультуры и сельского хозяйства. Данная инициатива позволяет идентифицировать компании, которые проводят сертификацию по принципам GAP, направленную на безопасное для потребителей и окружающей среды производство продовольственных культур высокого качества [10]. Изучение малайзийского опыта сертификации GAP показывает, что хозяйства, сертифицировавшиеся по GAP, практически не применяют пестициды [11].

В современных реалиях для достижения оптимальных объемов урожая картофеля в регионах РФ необходимо активное внедрение новых биологически безопасных и оправданных систем защиты посевов. Развитие агропромышленного производства ставит задачу обеспечения конкурентоспособности основных групп российских сельскохозяйственных продуктов и экономическое вытеснение импортных продуктов, увеличение доли качественных российских семян и племенного материала; повышение устойчивости функционирования сельского хозяйства и продовольственного снабжения за счет существенного увеличения высокотехнологичного производства в субъектах малого предпринимательства в сельском хозяйстве; рост доли России в мировом экспорте продовольствия; повышение доступности качественного продовольствия для российских граждан [12].

Согласно Доктрины продовольственной безопасности РФ одним из главных направлений национальных интересов РФ является реализация эффективного продовольственного снабжения в долгосрочном периоде, что является важнейшей составляющей социально-экономической политики страны, а также необходимым условием реализации стратегического национального приоритета – повышения качества жизни российских граждан путем гарантирования высоких стандартов жизнеобеспечения.

В развитие национальной безопасности РФ задачами государства в сфере продовольственной безопасности и независимости на долгосрочный период выделяются следующие:

- а) обеспечение населения качественной и безопасной пищевой продукцией;
- б) устойчивое развитие и модернизация сельского и рыбного хозяйства и инфраструктуры внутреннего рынка;
- в) развитие производства сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия, которые соответствуют установленным экологическим, санитарно-эпидемиологическим, ветеринарным и иным требованиям;
- г) восстановление и повышение плодородия земель сельскохозяйственного назначения, предотвращение сокращения площадей земель сельскохозяйственного назначения, рациональное использование таких земель, защита и сохранение сельскохозяйственных угодий от водной и ветровой эрозии и опустынивания;
- д) совершенствование технического регулирования, санитарно-эпидемиологического, ветеринарного и фитосанитарного надзора, контроля в области обеспечения безопасности пищевой продукции для здоровья человека и др.

Для обеспечения продовольственной независимости, которая определяется как уровень самообеспечения в процентах, необходимо достичь в дальнейшей перспективе порогового значения для картофеля – не менее 95% [13].

В свете этих задач становится очевидной актуальность экологизации агропроизводства и послеуборочных технологий хранения растительной продукции, восстановление плодородия почв с минимальным использованием экологически опасных химикатов. Для выхода на международные рынки необходима экологическая сертификация продукции, основанная на рассмотрении жизненного цикла соответствующих продуктов.

Частичная или полная замена химикатов препаратами симбиотических микроорганизмов позволяет внедрять интегрированные системы защиты растений. К числу инноваций в агропроизводстве можно отнести обработку овощных культур в период вегетации, а также после уборки урожая и в условиях хранения.

Экологические и экономические аспекты применения биологических средств защиты картофельных культур

Влияние условий биологической обработки при производстве картофеля на изменение качества и пищевой безопасности клубней рассматривалось авторами в цепочке поставок картофеля на примере сорта Невский, традиционного для Северо-Запада России.

Цепочка поставок картофеля до и после предложенной биологической обработки показана на рис. 1. Транспортировка до потребителей и стадия потребления не рассматриваются в рамках производственной системы.

Программа эксперимента предусматривала внесение биопрепарата на опытном участке площадью один гектар. Предусмотрена трехкратная обработка посадок картофеля биопрепаратом на стадии выращивания: профилактическая, основная и предуборочная [14].

Продолжительность работы сельскохозяйственной техники и, соответственно, расход дизельного топлива и электроэнергии были рассчитаны исходя из необходимости обработки опытного участка такой площадью. Предполагалось, что для выращивания одной тонны картофеля требуется 66,4 кг семян [15].

Для приготовления раствора биопрепарата использовали бактериальную питательную среду следующего состава: кукурузный экстракт 0,5%, крахмал картофельный 1%, сульфат аммония 0,3%, соль поваренная 0,3%, сода 0,3%. В качестве связующего для биопрепарата использовался отход сахарного производства – свекловичная барда. Доза жидкого биопрепарата составляла 1 л на 1 т картофеля, сухая масса биопрепарата составляла 1 мг. При внесении сухого биопрепарата расход составлял 1 кг на тонну картофеля [16].

Для внесения биопрепарата использовалась следующая сельскохозяйственная техника:

- лопастной смеситель типа еврокуб для смешивания жидких и сухих биопрепаратов; потребляемая мощность 0,75 кВт;
- прицепной опрыскиватель RSM TS Satellite с мембранно-поршневым насосом для распыления биологического агента на этапах посадки и вегетации картофеля; потребляемая электрическая мощность составляет 0,5 кВт;
- ранцевый распылитель Patriot PT 800 для сухого распыления биологического агента на этапе хранения.

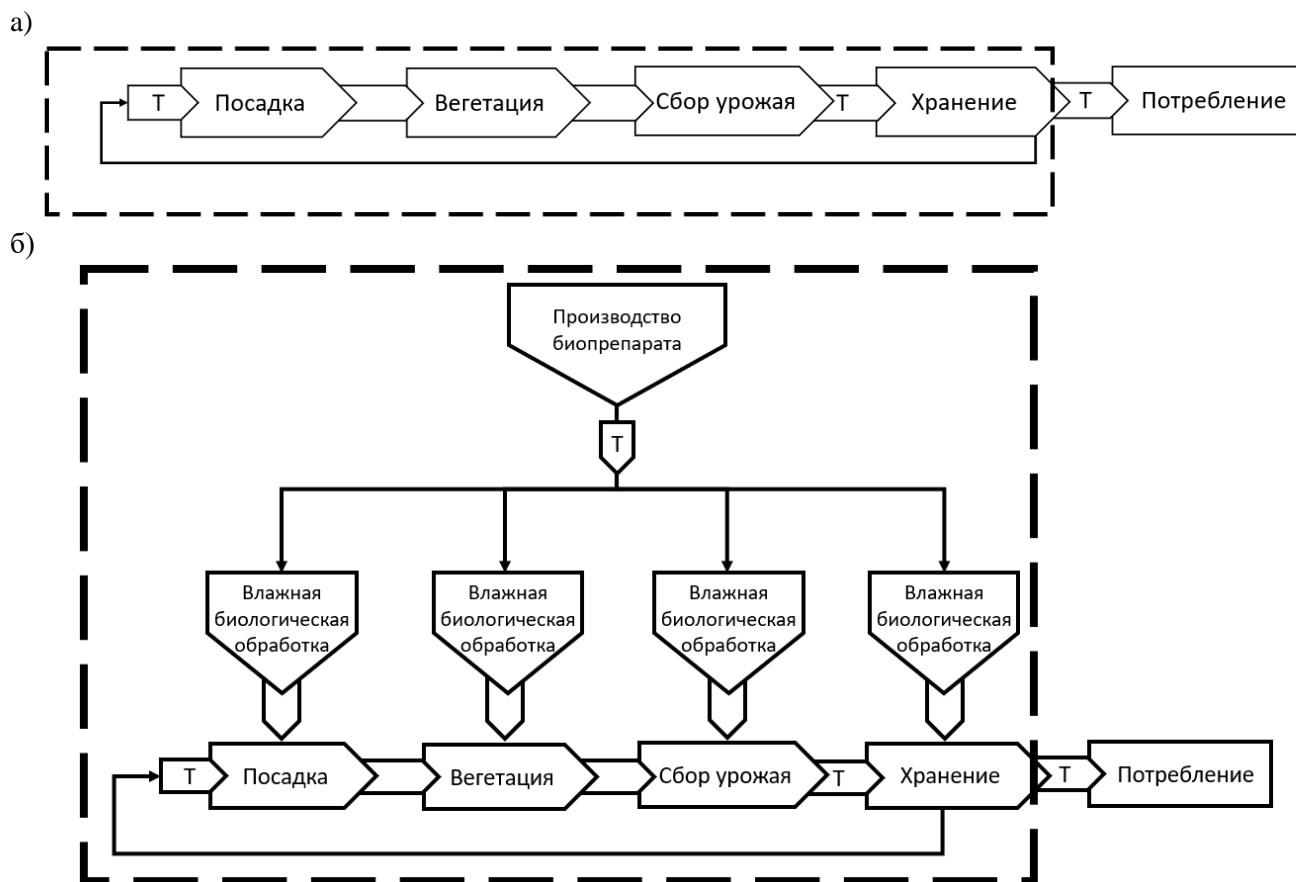


Рис. 1 Цепочка поставок картофеля с указанием границ продукционной системы:
 а) традиционная цепочка поставок картофеля и б) цепочка поставок с биологической обработкой;
 Т - транспортировка

В табл. 1,2 приводятся исходные данные по энергопотреблению на этапах жизненного цикла производства картофеля с применением биопрепарата и традиционным способом [17].

Таблица 1

Энергопотребление на этапах выращивания и хранения картофеля с применением биопрепарата

№	Наименование процесса	Оборудование	Мощность, кВт	Время работы, ч	Общее энергопотребление, кВт*ч
1	Транспортировка семян				
		Самосвал КАМАЗ 43255-69(G5) [18]	178,00	0,83	148,33
2	Обработка жидким биопрепаратом				
		Трактор ЮМЗ-6 [19]	45,60	0,01	0,42
		Прицепные опрыскиватели RSM TS Satellite [20]			0,000
		Мембранно-поршневой насос BERTOLINI POLY 2300 VS [21]	8	0,009	0,074

3	Посадка				
		Трактор ЮМЗ-6	45,60	0,009	0,421
4	Вегетация				
	Обработка жидким биопрепаратом	Трактор ЮМЗ-6	45,60	0,028	1,264
		Прицепный опрыскиватель RSM TS Satellite			0,000
		Мембранно-поршневой насос BERTOLINI POLY 2300 VS	8	0,028	0,222
5	Сбор урожая				
		Трактор ЮМЗ-6	45,60	0,01	0,42
	Обработка жидким биопрепаратом	Трактор ЮМЗ-6	45,60	0,01	0,42
		Прицепные опрыскиватели RSM TS Satellite			0,000
		Мембранно-поршневой насос BERTOLINI POLY 2300 VS	8	0,0092	0,0739
6	Транспортировка				
		Самосвал КАМАЗ 43255-69(G5)	178,00	0,83	148,33
		Конвейер передвижной ленточного типа КЛ(П)	0,38	0,50	0,19
7	Хранение				
	Обработка сухим биопрепаратом	Бензиновый распылитель PATRIOT PT 800 ранцевый	1,03	0,01	0,01
		Мешалка для Еврокуба Лопаста Конус + Фреза [22]	0,75	0,5	0,375
	Итого:				300,56

Таблица 2

Энергопотребление на этапах выращивания и хранения картофеля без применения биопрепарата

№	Наименование процесса	Оборудование	Мощность, кВт	Время работы, ч	Общее энергопотребление, кВт*ч
1	Транспортировка семян				
		Самосвал КАМАЗ 43255-69(G5)	178,00	0,83	148,33
2	Посадка				
		Трактор ЮМЗ-6	45,60	0,010	0,450
3	Вегетация				
		Трактор ЮМЗ-6	45,60	0,028	1,264
		Прицепный опрыскиватель RSM TS Satellite			0,000
		Мембранно-поршневой насос BERTOLINI POLY 2300 VS	8	0,028	0,222

4	Сбор урожая				
		Трактор ЮМЗ-6	45,60	0,01	0,45
5	Транспортировка				
		Самосвал КАМАЗ 43255-69(G5)	178,00	0,83	148,33
		Конвейер передвижной ленточный типа КЛ(П)	0,38	0,50	0,190
6	Хранение				0,00
	Итого:				299,243

Расчетные данные расхода биопрепарата по этапам ЖЦ картофеля представлены в таблице 3 [16].

Таблица 3

Расход биопрепарата для обработки картофеля

№	Этап	Вещество	Расход, кг	
			Биопрепарат	Вода
1	Обработка жидким биопрепаратом	Corn stover	0,000397	0,0776
		Ammonium bicarbonate	0,000795	
		Potato starch	0,000239	
		Sodium chlorid	0,000239	
		Soda ash	0,000239	
2	Вегетация			
		Обработка жидким биопрепаратом		
		Corn stover	0,016262	3,1795
		Ammonium bicarbonate	0,032577	
		Potato starch	0,009773	
		Sodium chlorid	0,009773	
		Soda ash	0,009773	
3	Сбор урожая			
		Обработка жидким биопрепаратом		
		Corn stover	0,005163	1,0094
		Ammonium bicarbonate	0,010342	
		Potato starch	0,003103	
		Sodium chlorid	0,003103	
		Soda ash	0,003103	
4	Хранение			
		Обработка жидким биопрепаратом		
		Corn stover		1,0040
		Ammonium bicarbonate		
		Potato starch		

		Sodium chlorid		
		Soda ash		

В качестве допущений принимали следующие:

- производство биопрепарата находится в границах рассматриваемой производственной системы, при этом транспортировка биопрепарата на экспериментальную площадку не рассматривалась;
- транспортировка клубней для посадки и сбора урожая на хранение осуществлялась трактором ЮМЗ-6;
- этот же трактор использовался для прицепного опрыскивателя спутникового типа RSM TS Satellite для распыления влажного биологического препарата;
- распределение потерь по стадиям жизненного цикла принималось на основе литературных данных и экспертных оценок, как показано в таблице 4 [23, 24].

Таблица 4

Распределение потерь картофеля в цепочке поставок

№	Этап	Вход, т	Выход, т	Потери, %	Потери, т
1	Транспортировка	0,0664	0,0660	0,0060	0,0004
2	Влажная биологическая обработка	0,0660	0,0660	0,0000	0,0000
3	Посадка клубней	0,0660	0,0627	0,0500	0,0033
4	Веgetация	0,0627	1,0859	0,0200	0,0013
5	Сбор урожая	1,0859	1,0342	0,0500	0,0543
6	Транспортировка	1,0342	1,0280	0,0060	0,0062
7	Длительное хранение	1,0280	1,2000	0,0280	0,0280

На основе полученных данных был рассчитан углеродный след в цепочке поставок картофеля "Невский». С внедрением биопрепарата было достигнуто сокращение потерь в цепочке поставок на 17% по сравнению с традиционным методом выращивания и хранения этого картофеля. Расчет был выполнен на основе программного продукта SimaPro 9.1.1.1 и модели IPCC 2013 GWP 500.

Анализ результатов

Результаты биологической обработки в цепочке поставок картофеля подтвердили ее экономическую и экологическую эффективность за счет снижения потерь картофеля и положительного влияния на пищевую ценность и качество продукта на стадии потребления [25, 26].

Обработка картофеля перед посадкой культуральной жидкостью бактерий-антагонистов исследуемых штаммов позволило снизить количество инфицированных клубней и, как следствие, потери урожая на 17%. На 1 тонну картофеля это позволяет получить экономию в размере 4,79 тыс. руб.

Микробиологические препараты, интенсифицирующие синтетические процессы и регулирующие поступление питательных веществ к клубням в период вегетации, ускоряют созревание и улучшают качество картофеля. При более высоком качестве картофеля отпускная цена может быть увеличена на 5-10%, что дает дополнительный доход в размере 3,9 тыс. руб. на тонну картофеля [27].

На основании анализа полученных данных установлено, что использование бактериальной инокуляции при обработке посадочного материала и вегетирующих растений влияет на пищевую ценность клубней нового урожая. Снижалось содержание нитратов, улучшилось товарное качество, токсичные элементы и пестициды не обнаруживались [28].

Результаты изучения содержания общей массы сухих веществ [29, 30] показывают, что пищевая ценность продовольственного картофеля в опытных вариантах за счет увеличения массовой доли сухих веществ выше в среднем

на 3,5% относительно контроля. Активизация биохимических реакций в клубнях картофеля при бактериальной инокуляции, стимулирующая трансформацию нитратов в необходимые азотсодержащие вещества, обуславливает снижение содержания нитратов на 8,6 мг/кг в сравнении с контролем. Количество нитратов в данном варианте опыта сразу после сбора урожая снизилось на 16,17% по сравнению с контролем.

Показана целесообразность периода обработки клубней с глубокими механическими повреждениями с использованием бактерий-антагонистов. Рекомендуется исключить период обработки клубней с незначительными механическими повреждениями, но обработанных суспензией культуральной жидкости микобактерий [26, 27].

Для выращивания картофеля сорта Невский использовали биопрепарат *B. subtilis* Ch13. Использование биопрепарата позволяет увеличить сезонную урожайность семян картофеля и сэкономить семена в среднем на 17%, по отношению к картофелю, выращенному без биологической обработки. Этот способ обработки также позволяет уменьшить площадь посева и количество семян для посева, чтобы получить одну тонну урожая картофеля.

Следует отметить, что содержание нитратов в тканях растений снижается при биологизации картофеля. Это явление, скорее всего, основано на ускорении физиологической зрелости картофеля, так как в ходе эксперимента была отмечена высокая ростостимулирующая активность, активизация роста растений в высоту и формирования стеблей, увеличение массы и количества клубней на растение и на единицу площади. Вероятно, снижение концентрации нитратов связано с их интенсивным участием в азотистом обмене при синтезе органических азотсодержащих соединений. Во время бактериальной инокуляции клетки и продукты их метаболизма индуцируют естественные защитные механизмы растительного организма; ткани растений демонстрируют аналогичный спектр защитных реакций при самозащите в условиях адаптации к биотическим и абиотическим стрессам, и в обоих случаях наблюдается сложность защитных реакций. Это еще раз свидетельствует об экологичности использования биологических средств защиты. Меры биологического контроля растений позволяют повысить урожайность, снизить потери продукции при производстве и хранении сельскохозяйственных культур, а также внедрить интегрированные системы защиты растений.

Результаты расчета углеродного следа в цепочке поставок картофеля «Невский» при традиционном способе выращивания и использовании биологической обработки показаны на рис. 2.

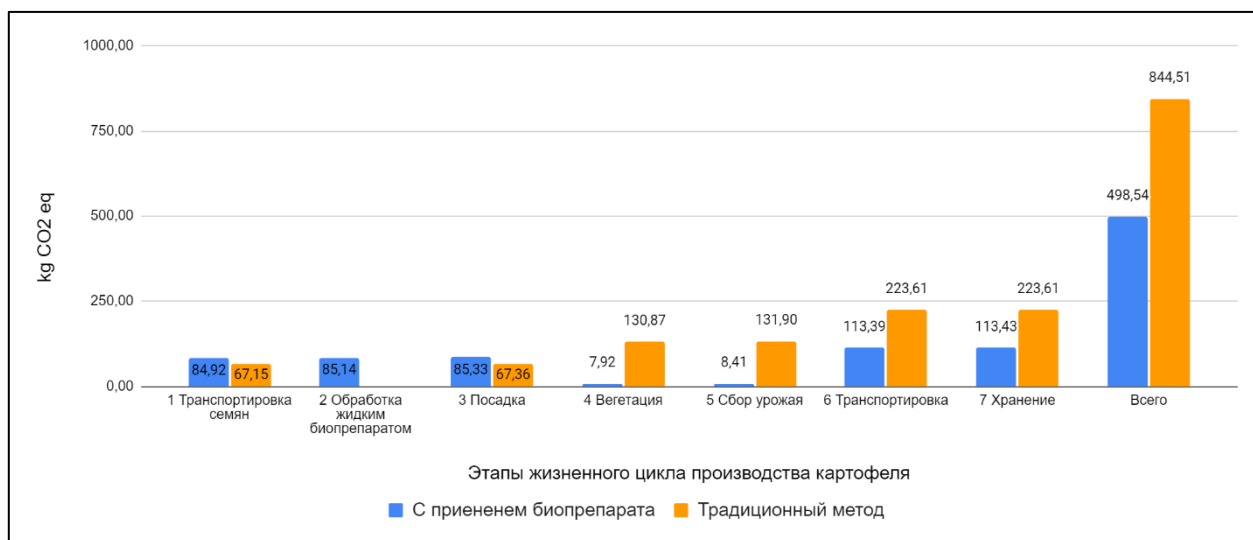


Рис. 2 Результаты расчета углеродного следа в цепочке поставок сорта Невский: традиционным методом и с использованием биологического препарата

Наиболее значительное сокращение углеродного следа наблюдается на стадии вегетации и сбора урожая за счет более энергоемких этапов подготовки и внесения биологического продукта. В целом, за счет внедрения биопрепарата достигается сокращение углеродного следа в цепочке поставок в 1,7 раза.

Данное сокращение можно объяснить уменьшением используемых ресурсов для посадки, выращивания и хранения одной тонны конечного продукта из-за меньшего использования земли и, следовательно, меньшего времени работы оборудования после использования биопрепарата. Следует отметить, что одновременно улучшится качество и безопасность картофеля.

Заключение

В работе проведена оценка влияния биообработки на цепочку поставки корнеплодов картофеля. Необходимо отметить уменьшение содержания нитратов в растительных тканях при биологизации картофеля. Активизация биохимических реакций в клубнях картофеля при бактериальной инокуляции, стимулирующая трансформацию нитратов в необходимые азотсодержащие вещества, обуславливает снижение содержания нитратов на 8,6 мг/кг в сравнении с контролем

Количество нитратов в данном варианте опыта сразу после сбора урожая снизилось на 16,17% по сравнению с контролем.

При оценке результатов снижения количества нитратов необходимо учитывать наличие прямой зависимости между содержанием нитратов в клубнях и пораженностью растений инфекционными заболеваниями.

Экономические потери при биологической обработке 1 тонны клубней картофеля ориентировочно могут быть снижены на 8,69 тыс. руб. Доходы от повышения пищевой ценности и качества картофеля дополнительно могут составить 3,9 тыс. руб. за одну тонну.

Применение биопрепаратов в цепочке поставок сорта Невский снижает на 17% потери пищевого продукта и сокращает в 1,7 раз углеродный след по сравнению с традиционным способом выращивания. Результаты LCA показали наиболее значительное снижение подкисления, эвтрофикации и дефицита воды в цепочке поставок картофеля после биологической обработки. Таким образом, наиболее важные негативные воздействия на окружающую среду, в том числе связанные с изменением климата, могут быть уменьшены за счет обработки биологическими препаратами.

Литература

1. *Devaux A., Goffart JP., Petsakos A., Kromann P., Gatto M., Okello J., Suarez V., Hareau G.* Global Food Security, Contributions from Sustainable Potato Agri-Food Systems. In: Campos H., Ortiz O. (eds) *The Potato Crop*. Springer, Cham, 2020, p. 3-35.
2. *Gustavsson J., Cederberg C., Sonesson U., van Otterdijk R., Meybeck A.* Global Food Losses and Food Waste – Extent, Causes and Prevention. 2011. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.fao.org/3/a-i2697e.pdf>.
3. Tiar Center. Food Sharing in Russia: a way to save up to 1 million tons of food annually. Moscow; Scolcovo Analitica, 2019. Food losses and organic waste in the Russian Federation consumer market. Moscow. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://tiarcenter.com/en/foodsharing-in-russia/>.
4. *Devaux, A., Kromann, P., Ortiz, O.* Potatoes for Sustainable Global Food Security. *Potato Research*, 2014, Vol.57, p. 185–199.
5. Картофель семенной Невский. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://astrussia.com/product/kartofel-semennoj-nevskij/>.
6. *Lytras S.* Quantification and Environmental Impacts of Food Waste across the Agri-Food Chain in Denmark, 2019 (Odense. Southern Denmark University). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://www.sdu.dk/en/om_sdu/institutter_centre/lifecycleengineering/education/msc/19m08.
7. WRAP Food waste measurement roadmap. Progress report. 2021. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://wrap.org.uk/sites/default/files/2021-09/WRAP-Food-Waste-Reduction-Roadmap2021.pdf>.
8. *Compant S., Duffy B., Nowak J. et al.* Use of PGPB for biological control of plant diseases: principles, mechanisms of action and future prospects // *Appl. Environ. Microbiol.* - 2005. - V.71. - N9. - p. 4951-4959.
9. *Whipps JM., Gerhardson B.* Biological pesticides for control of seed- and soil-borne plant pathogens. In: Van Elsas JD, Jansson JD, Trevors JT, editors. *Modern Soil Microbiology*. 2nd Edition. CRC Press; FL: 2007. - P.479–501.
10. *Leong, Wye-Hong, Shu-Yi Teh, Mohammad Moshaddeque Hossain, Thiagar Nadarajaw, Zabidi Zabidi-Hussin, Swee-Yee Chin, Kok-Song Lai and Swee Hua Erin Lim.* “Application, monitoring and adverse effects in pesticide use: The importance of reinforcement of Good Agricultural Practices (GAPs).” *Journal of environmental management* 260 (2020): 109987.
11. *Amekawa, Yuichiro, Ng Chuck Chuan, Linda Lumayag, Guan Huat Tan, Chee Seng Wong, B. Abdulrauf Lukman, Hui Bing Tan, Wen Xi Tai, She Mei Tan, Chai Hong Liu and Jing Lim Chee.* “Producers’ perceptions of public good agricultural practices and their pesticide use: The case of MyGAP for durian farming in Pahang, Malaysia.” *Asian journal of agriculture and rural development* 7 (2017): 1-16.

12. *Шагайда Н.И., Узун В.Я.* Тенденции развития и основные вызовы аграрного сектора России. Аналитический доклад. 2017. 94 с.
13. Указ Президента РФ от 21 января 2020 г. N 20 "Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации".
14. *Udalova E.Yu., Gordeeva A.V.* Peculiarities of applying biological preparations on potatoes // Bulletin of the Mari State University. The series "Agricultural sciences. Economic Sciences". 2017. No.2(10). [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-vneseniya-biopreparatov-na-kartofele>.
15. Картофель. Сельское хозяйство. UniversityAgro.ru. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://universityagro.ru/растениеводство/картофель/#i-4>.
16. *Кипрушкина Е.И., Нагиев Т.Б., Третьяков А.А., Дробкова Д.А.* "Применение биологических средств, адаптированных к условиям производства картофеля, в обеспечении комплексной продовольственной безопасности. 2016. С. 134-138
17. ГОСТ Р 56162-2019 Национальный стандарт Российской Федерации. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Метод расчета количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу потоками автотранспортных средств на автомобильных дорогах разной категории. – М.: Стандартинформ, 2020. – 16 с.
18. Самосвал Камаз 43255-69(G5). [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: <https://astslon.ru/catalog/seriyunaya-tehnika/avtomobili-kamaz/samosvaly-kamaz/samosval-kamaz-43255-69g5#full-features>.
19. ЮМЗ-6 1966-2001 годов выпуска: технические характеристики, обзор, описание. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: <https://exkavator.ru/excapedia/technic/umz6> (дата обращения: 07.04.2022).
20. Прицепные опрыскиватели RSM TS Satellite. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: http://rsm-satellite.ru/?gclid=Cj0KCQjwub-HBhCyARIsAPctr7yWIr4HwMyzQRx2UDkGwXSrT-gYAmDfPzYEJcW4wA83o1O1AqUosaAmGrEALw_wcB.
21. Мембранно-поршневой насос BERTOLINI POLY 2300 VS. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: https://plungers.ru/catalog/membr/bertolini_poly_2300_vs.
22. Мешалка для еврокуба лопасти конус + фреза. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: <https://torgovets.com/c14809-118658.html>.
23. Приказ Минсельхоза РФ N 3, Минтранса РФ N 2 от 14.01.2008 "Об утверждении норм естественной убыли картофеля, овощей и бахчевых культур при перевозках различными видами транспорта" (Зарегистрировано в Минюсте РФ 13.02.2008 N 11152).
24. Способы и организация уборки картофеля. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: <http://k-a-t.ru/sxt/7-kartofl/index.shtml>.
25. *V.S. Kolodyaznaya., E.I. Kiprushkina, I.A. Shestopalova, S.S. Mishin* Biopreparation support of post-harvest technologies // Actual biotechnology. 2019. No. 3 (30). P. 82-84.
26. *Тихонович И.А., Проворов Н.А.* Сельскохозяйственная микробиология как основа экологически устойчивого агропроизводства: фундаментальные и прикладные аспекты // Сельскохозяйственная биология. 2011. № 3. С. 3–9.
27. Цены в Санкт-Петербурге. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: <http://tsenomer.ru/goroda/sankt-peterburg/>.
28. *Shcherbakov A.V., Shcherbakova E.N., Mulina S.A., Rots P.Yu., Daria R.F., Kiprushkina E.I., Gonchar L.N., Chebotar V.K.* Psychrophilic endophytic pseudomonas as potential agents in biocontrol of phytopathogenic and putrefactive microorganisms during potato storage. 2017. 52. - No. 1. - P. 116-128.
29. *Кипрушкина Е.И.* VII Всероссийский конгресс молодых ученых (г.СПб., 17-20 апреля 2018 г.), тема статьи «Исследование изменений физиологического статуса растения при инокуляции бактериями - эндофитами картофеля». – 2018.
30. *Щербаков А.В., Щербакова Е.Н., Мулина С.А., Роц П.Ю., Дарью Р.Ф., Кипрушкина Е.И., Гончар Л.Н., Чеботарь В.К.* Психрофильные псевдомонады-эндофиты как потенциальные агенты в биоконтроле фитопатогенных и гнилостных микроорганизмов при холодильном хранении картофеля // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52. № 1. С. 116-128.

References

1. Devaux A., Goffart JP., Petsakos A., Kromann P., Gatto M., Okello J., Suarez V., Hareau G. Global Food Security, Contributions from Sustainable Potato Agri-Food Systems. In: Campos H., Ortiz O. (eds) *The Potato Crop*. Springer, Cham, 2020, p. 3-35.
2. Gustavsson J., Cederberg C., Sonesson U., van Otterdijk R., Meybeck A. Global Food Losses and Food Waste - Extent, Causes and Prevention. 2011. [Electronic resource]. - Access mode: URL: <http://www.fao.org/3/a-i2697e.pdf>.
3. TiarCenter. Food Sharing in Russia: a way to save up to 1 million tons of food annually. Moscow; Scolcovo Analitica, 2019. Food losses and organic waste in the Russian Federation consumer market. Moscow. [Electronic resource]. - Mode of access: URL: <https://tiarcenter.com/en/foodsharing-in-russia/>.
4. Devaux, A., Kromann, P., Ortiz, O. Potatoes for Sustainable Global Food Security. *Potato Research*, 2014, Vol.57, p. 185-199.
5. Seed potatoes Nevsky. [Electronic resource]. - Mode of access: URL: <https://astrussia.com/product/kartofel-semennoj-nevskij/>.
6. Lytras S. Quantification and Environmental Impacts of Food Waste across the Agri-Food Chain in Denmark, 2019 (Odense. Southern Denmark University). [Electronic resource]. - Access mode: URL: https://www.sdu.dk/en/om_sdu/institutter_centre/lifecycleengineering/education/msc/19m08.
7. WRAP Food waste measurement roadmap. Progress report. 2021. [Electronic resource]. - Access mode: URL: <https://wrap.org.uk/sites/default/files/2021-09/WRAP-Food-Waste-Reduction-Roadmap2021.pdf>.
8. Compant S., Duffy B., Nowak J. et al. Use of PGPB for biological control of plant diseases: principles, mechanisms of action and future prospects // *Appl. Environ. Microbiol.* - 2005. - V.71. - N9. - P. 4951-4959.
9. Whipps JM., Gerhardson B. Biological pesticides for control of seed- and soil-borne plant pathogens. In: Van Elsas JD, Jansson JD, Trevors JT, editors. *Modern Soil Microbiology*. 2nd Edition. CRC Press; FL: 2007. - P. 479-501.
10. Leong, Wye-Hong, Shu-Yi Teh, Mohammad Moshaddeque Hossain, Thiyagar Nadarajaw, Zabidi Zabidi-Hussin, Swee-Yee Chin, Kok-Song Lai and Swee Hua Erin Lim. "Application, monitoring and adverse effects in pesticide use: The importance of reinforcement of Good Agricultural Practices (GAPs)." *Journal of environmental management* 260 (2020): 109987.
11. Amekawa, Yuichiro, Ng Chuck Chuan, Linda Lumayag, Guan Huat Tan, Chee Seng Wong, B. Abdulrauf Lukman, Hui Bing Tan, Wen Xi Tai, She Mei Tan, Chai Hong Liu and Jing Lim Chee. "Producers' perceptions of public good agricultural practices and their pesticide use: The case of MyGAP for durian farming in Pahang, Malaysia." *Asian journal of agriculture and rural development* 7 (2017): P. 1-16.
12. Shagaida N.I., Uzun V.Y. Development trends and main challenges of the agrarian sector in Russia. Analytical report. 2017. 94 p.
13. Decree of the President of the Russian Federation of January 21, 2020 N 20 "On approval of the Doctrine of Food Security of the Russian Federation".
14. Udalova E.Yu., Gordeeva A.V. Peculiarities of applying biological preparations on potatoes // *Bulletin of the Mari State University. The series "Agricultural sciences. Economic Sciences"*. 2017. No.2(10). [Electronic resource]. - Mode of access: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-vneseniya-biopreparatov-na-kartofele>.
15. Potatoes. Agriculture. UniversityAgro.ru. [Electronic resource]. Mode of access: URL: <https://universityagro.ru/растениеводство/картофель/#i-4>.
16. Kiprushkina E.I., Nagiev T.B., Tretiakov A.A., Drobkova D.A. "Application of biological means adapted to potato production conditions in providing comprehensive food security - 2016. - C. 134-138
17. GOST R 56162-2019 National Standard of the Russian Federation. Emissions of pollutants into the atmosphere. Calculation method of pollutant emissions into the atmosphere by motor vehicle flows on roads of different categories. - Moscow: Standartinform, 2020. - 16 p.
18. Dumper Kamaz 43255-69(G5). [Electronic resource]. - Access mode: URL: <https://astslon.ru/catalog/seriynaya-tehnika/avtomobili-kamaz/samosvaly-kamaz/samosval-kamaz-43255-69g5#full-features>.
19. 1966-2001 YMZ-6: technical characteristics, review, description. [Electronic resource]. Mode of access: URL: <https://exkavator.ru/excapedia/technic/umz6>.
20. RSM TS Satellite trailed sprayers. [Electronic resource]. Access mode: URL: http://rsm-satellite.ru/?gclid=Cj0KCQjwubHBhCyARIsAPctr7yWIr4HwMyzQRx2UDkGwXSrT-gYAmDFpIzYEJcW4wA83o1O1AqUosaAmGrEALw_wcB.
21. BERTOLINI POLY 2300 VS diaphragm piston pump. [Electronic resource]. - Access mode: URL: https://plungers.ru/catalog/membr/bertolini_poly_2300_vs.

22. Mixer for eurocube of cone vane + cutter. [Electronic resource]. - Mode of access: URL: <https://torgovets.com/c14809-118658.html>.
23. Order of Ministry of Agriculture of Russian Federation N 3, Ministry of Transport of Russian Federation N 2 from 14.01.2008 "On approval of norms of natural loss of potatoes, vegetables and melons during transportation by different means of transport" (registered in Russian Ministry of Justice 13.02.2008 N 11152).
24. Methods and organization of harvesting potatoes. [Electronic resource]. - Access mode: URL: <http://k-a-t.ru/sxt/7-kartof1/index.shtml>.
25. V.S. Kolodyaznaya, E.I. Kiprushkina, I.A. Shestopalova, S.S. Mishin Biopreparation support of post-harvest technologies // *Actual biotechnology*. 2019. No. 3 (30). P. 82-84.
26. Tikhonovich I.A., Provorov N.A. Agricultural microbiology as the basis for environmentally sustainable agricultural production: fundamental and applied aspects // *Agricultural Biology*. 2011. № 3. P. 3-9.
27. Prices in St. Petersburg. [Electronic resource]. Mode of access: URL: <http://tsenomer.ru/goroda/sankt-peterburg/>.
28. Shcherbakov A.V., Shcherbakova E.N., Mulina S.A., Rots P.Yu., Daria R.F., Kiprushkina E.I., Gonchar L.N., Chebotar V.K. Psychrophilic endophytic pseudomonas as potential agents in biocontrol of phytopathogenic and putrefactive microorganisms during potato storage. 2017. 52. No. 1. P. 116-128.
29. Kiprushkina E.I. VII All-Russian congress of young scientists (St.Petersburg, 17-20 April 2018), subject of the article "Study of changes in the physiological status of the plant during inoculation by bacteria - endophytes of potato". - 2018.
30. Shcherbakov A.V., Shcherbakova E.N., Mulina S.A., Rots P.Y., Daryu R.F., Kiprushkina E.I., Gonchar LN, Chebotar V.K. Psychrophilic pseudomonads-endophytes as potential agents in biocontrol of phytopathogenic and putrefactive microorganisms during refrigerated storage of potatoes // *Agricultural Biology*. 2017. T. 52. № 1. P. 116-128.

Статья поступила в редакцию 17.02.2022
Принята к публикации 16.05.2022

Received 17.02.2022
Accepted for publication 16.05.2022