

А.П. Кожемяков¹
В.Б. Минин² ✉
Ю.В. Лактионов¹
С.П. Мельников³
А.М. Захаров²

¹ Всероссийский НИИ
сельскохозяйственной микробиологии,
Пушкин, Санкт-Петербург, Россия

² Институт агроинженерных
и экологических проблем
сельскохозяйственного производства —
филиал ФГБНУ «Федеральный научный
агроинженерный центр ВИМ», Тярлево,
Санкт-Петербург, Россия

³ Санкт-Петербургский
государственный аграрный
университет, Пушкин, Санкт-Петербург,
Россия

✉ minin.iamfe@mail.ru

Поступила в редакцию:
16.12.2023

Одобрена после рецензирования:
13.03.2024

Принята к публикации:
29.03.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-94-100

Andrey P. Kozhemyakov¹
Vladislav B. Minin² ✉
Yuri V. Laktionov¹
Sergey P. Melnikov³
Anton M. Zakharov²

¹ All-Russian Research Institute of
Agricultural Microbiology, Pushkin,
St. Petersburg, Russia

² Institute of Agroengineering and
Environmental Problems of Agricultural
Production — Branch of the Federal State
Budgetary Institution “Federal
Scientific Agroengineering Center VIM”,
Tyarlevo, St. Petersburg, Russia

³ Saint Petersburg State Agrarian
University, Pushkin, Saint Petersburg,
Russia

✉ minin.iamfe@mail.ru

Received by the editorial office:
16.12.2023

Accepted in revised:
13.03.2024

Accepted for publication:
29.03.2024

Особенности воздействия микробиологического препарата «Флавобактерин» на урожайность и качество клубней картофеля сорта Удача

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Производство органической продукции ориентировано на максимальное использование природных ресурсов. Особое значение придается природной азотфиксации, которая обеспечивает агроценозы азотом, фиксированным из атмосферы и переведенным в формы, доступные растениям, а также повышает урожайность благодаря выделению бактериями питательных элементов, гормонов роста и осуществления биоконтрольной функции. Во Всероссийском институте сельскохозяйственной микробиологии был создан микробиологический препарат «Флавобактерин», который проявляет азотфиксирующую активность, а также подавляет широкий спектр фитопатогенных грибов и бактерий, вызывающих заболевания растений.

Методы. Полевые исследования воздействия «Флавобактерина» на картофель проводились с 2018 по 2022 год в органическом севооборотном опыте, расположенном на экспериментальной площадке Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства — филиала ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ». Почва опытного участка дерново-подзолистая легкосуглинистая глееватая на остаточном карбонатном моренном суглинке, характеризующаяся слабокислой реакцией и высоким содержанием органического вещества. Возделывался картофель сорта Удача. Исследования проводились с органическим удобрением — компостом «БИАГУМ», приготовленным из куриного помета индустриальным способом. Клубни картофеля обрабатывались биопрепаратом «Флавобактерин» при посадке, а затем по листьям.

Результаты. Погодные условия в летний период в годы исследований существенно отличались друг от друга. Во все годы исследования, за исключением засушливого 2021-го, внесение «Флавобактерина» достоверно повышало продуктивность картофеля в среднем на 4,6 т/га (даже без компоста). В эти же годы использование компоста совместно с «Флавобактерином» повышало продуктивность картофеля в среднем на 2,6 т/га по сравнению с вариантами, где компост использовался без биопрепарата.

Ключевые слова: азотфиксация, биопрепарат, компост, картофель, крахмал, погодные условия, органическое производство

Для цитирования: Кожемяков А.П., Минин В.Б., Лактионов Ю.В., Мельников С.П., Захаров А.М. Особенности воздействия микробиологического препарата «Флавобактерин» на урожайность и качество клубней картофеля сорта Удача. *Аграрная наука*. 2024; 381(4): 94–100.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-94-100>

© Кожемяков А.П., Минин В.Б., Лактионов Ю.В., Мельников С.П., Захаров А.М.

Features of the microbial biological “Flavobacterin” impact on the yield and quality of potato tubers of the Udacha variety

ABSTRACT

Relevance. Organic production is focused on maximizing the use of natural resources. Particular importance is attached to natural nitrogen fixation. Nitrogen fixation provides agricultural systems with nitrogen fixed from the atmosphere and converted into forms accessible to plants. The microbial biological “Flavobacterin”, which exhibits nitrogen-fixing activity and also suppresses a wide range of phytopathogenic fungi and bacteria, was created at the All-Russian Institute of Agricultural Microbiology.

Methods. Field studies of the “Flavobacterin” effects on potatoes were carried out from 2018 to 2022 in an organic crop rotation located at the Experimental Station of the Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production Branch of FSAC VIM.

Results. The soil of the experimental plot is soddy-podzolic, light loamy gleyic on residual carbonate moraine loam, characterized by a slightly acidic reaction and a high content of organic matter. Udacha variety potatoes were cultivated. The studies were carried out with organic fertilizer — BIAGUM compost, prepared from chicken manure by industrial method. Potato tubers were treated with a “Flavobacterin” when planting, and then on the leaves. Weather conditions in summer during the years of research differed significantly from each other. In all years of the study, with the exception of the dry year 2021, the application of “Flavobacterin” significantly increased potato productivity by an average of 4.4 t/ha, without compost. In the same years, the use of compost together with “Flavobacterin” increased potato productivity by an average of 2.6 t/ha compared to options where compost was used without biological.

Key words: nitrogen fixation, biological product, compost, potatoes, starch, weather conditions, organic production

For citation: Kozhemyakov A.P., Minin V.B., Laktionov Yu.V., Melnikov S.P., Zakharov A.M. Features of the microbial biological Flavobacterin impact on the yield and quality of potato tubers of the Udacha variety. *Agrarian science*. 2024; 381(4): 94–100 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-94-100>

© Kozhemyakov A.P., Minin V.B., Laktionov Yu.V., Melnikov S.P., Zakharov A.M.

Введение/Introduction

Производство органической продукции ориентировано на максимальное использование природных ресурсов, включая те, что предоставляет почва. При этом необходимо обеспечить бережное и восстанавливающее отношение к почве, организацию эффективной переработки органических отходов рециклинга во всей сельскохозяйственной деятельности, подбор и возделывание устойчивых сортов и применение эффективных биопрепаратов для борьбы с болезнями и вредителями [1]. Особое значение придается природной азотфиксации, которая обеспечивает агроценозы азотом, фиксированным из атмосферы и переведенным в формы, доступные растениям.

Существует несколько экологических групп азотфиксаторов: свободноживущие (ассоциативные) и симбиотические. Первая группа преимущественно обитает в ризосфере растений и выполняет ряд полезных для растений функций, таких как стимуляция роста и развития растений, защита от фитопатогенов, уменьшение воздействия стрессовых факторов на растения. Симбиотические микроорганизмы (клубеньковые бактерии) более тесно взаимодействуют с бобовыми растениями, образуя специализированный симбиотический аппарат — клубеньки, благодаря которым растение приобретает способность фиксировать атмосферный азот воздуха и переводить его в доступную для растений форму [1–3].

За последние годы интерес к микробиологическим препаратам на основе ассоциативных ризобактерий стремительно растет. Прежде всего это обусловлено способностью микробиологических препаратов значительно повышать урожайность благодаря выделению бактериями питательных элементов, гормонов роста, фиксации азота и увеличению фосфорного питания за счет подкисления труднорастворимых форм данного элемента в почве, а также осуществлять биоконтрольную функцию, то есть защиту сельскохозяйственной продукции от патогенов. В сравнении с минеральными удобрениями и химическими средствами защиты растений микробиологические препараты имеют более низкую стоимость, благодаря чему увеличивается рентабельность производства растениеводческой продукции [4–7]. Большая часть микробиологических препаратов имеют сертификаты, позволяющие их использование в производстве органической продукции. Обзор по использованию биологических препаратов в России и за рубежом представил Р.Р. Азизбеян. Он отметил, что в России общий объем потребления средств биологического контроля составляет лишь 1% от объема применения синтетических пестицидов, при этом примерно 90% используемых в России биопрепаратов являются импортными [8].

На протяжении многих лет вопросами изучения микроорганизмов, обладающих хозяйственно ценными свойствами, занимаются ученые Всероссийского НИИ сельскохозяйственной микробиологии. Там создана коллекция культур полезных микроорганизмов, которая является основой для разработки биопрепаратов [9–11]. Свободноживущие (ассоциативные) азотфиксаторы — это микроорганизмы, образующие ассоциации на корнях и в ризосфере небобовых растений. Основной зоной обитания ассоциативных азотфиксаторов является объем почвы, непосредственно окружающий корень растения. Здесь количество диазотрофов у некоторых видов растений от 400 до 10 тыс. раз

превышает их концентрацию в других пространствах почвы, в филлосфере растений и т. д. [12]. Наибольшая численность ассоциативных бактерий в базальной части корня, где происходит интенсивное выделение органических веществ. У молодых растений бактериальное покрытие в этой корневой части составляет 2–9% корневой поверхности [13]. Микробиологический препарат «Флавобактерин» создан на основе штамма *Flavobacterium* sp. L-30, депонированного во Всероссийском научно-исследовательском институте сельскохозяйственной микробиологии (ВНИИСХМ). Штамм обладает высокой азотфиксирующей активностью, а также способностью подавлять широкий спектр фитопатогенных грибов и бактерий, вызывающих заболевания растений. В исследованиях с яровой пшеницей использование «Флавобактерина» способствовало повышению продуктивности зерновой культуры и развитию микробиологического сообщества в прикорневой зоне [14].

Цель исследований — установить эффективность воздействия «Флавобактерина» на продуктивность картофеля и его взаимодействия с компостом при меняющихся погодных условиях.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Полевые исследования воздействия «Флавобактерина» на картофель (*Solanum Tuberosum*) проводились с 2018 по 2022 год в органическом севооборотном опыте [15]. Поле входит в состав экспериментальной площадки Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства — филиала ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ИАЭП), расположенной на юге г. Павловска, входящего в Санкт-Петербург.

Севооборот включает в себя перечень культур, широко используемых для возделывания в Северо-Западном регионе, имеющий следующее чередование: картофель, свекла столовая, ячмень с подсевом клевера и тимофеевки, многолетние травы 1-го года, 2-го года и 3-го года, распашка и подсев озимой ржи на зеленое удобрение. Весной озимая рожь скашивается, заделывается в почву, а затем почва готовится для посадки картофеля.

Почва опытного участка — дерново-подзолистая, легкосуглинистая, глееватая, на остаточном карбонатном моренном суглинке. Характеризуется слабокислой реакцией среды и высоким содержанием органического вещества (табл. 3). Содержание подвижных соединений фосфора и калия отличается достаточно высокой вариабельностью. Анализы были выполнены в химико-аналитических лабораториях ИАЭП и Санкт-Петербургского государственного аграрного университета.

В опыте в ходе реализации разработанной в институте опытной органической технологии возделывания картофеля изучались две группы факторов: а) уровень минерального питания, обеспеченный действием компоста «БИАГУМ» на основе куриного помета; б) действие микробиологического препарата «Флавобактерин», имеющего азотфиксирующую функцию.

В опыте возделывался картофель сорта Удача, районированный в Ленинградской области. Это раннеспелый сорт столового назначения, умеренно восприимчив к фитофторозу по ботве и умеренно устойчив по клубням, выведенный в Федеральном исследовательском центре картофеля им. А.Г. Лорха (патент на сорт

№ 86)¹. Клубни картофеля обрабатывались биопрепаратом при посадке, а затем по листьям, перед бутонизацией и через 10 дней, при норме расхода препарата 3 л на 2 га⁻¹.

Исследования проводили с одним видом органических удобрений — компостом «БИАГУМ», приготовленным на основе куриного помета индустриальным способом в экспериментальном биоферментаторе ИАЭП². Данный биоферментатор, обеспечивающий аэробное интенсивное компостирование, был разработан в институте ИАЭП и там же используется. В компост входят N_{общ.} 4970 мг/кг, P_{общ.} 2690 мг/кг и K_{общ.} 2890 мг/кг. Он характеризуется 62,2% влажности и имеет слабощелочную реакцию.

С задачей установить наиболее эффективную дозу компоста под картофель в опыте в 2018–2020 годах использовалась 1-я доза компоста. В 2021 году использовались 1-я и 3-я дозы, а в 2022-м — 2-я доза компоста (табл. 1).

Компост вносился в почву вручную за день до посадки картофеля и заделывался в почву культиватором.

В опыте с картофелем вносился микробиологический препарат с азотфиксирующей функцией «Флавобактерин», разработанный ВНИИСХМ³. Клубни картофеля обрабатывались биопрепаратом при посадке, а затем по листьям два раза, перед бутонизацией и через 10 дней, при норме расхода биопрепарата 3 л га⁻¹. Посадка картофеля осуществлялась МТЗ-82 (Минский тракторный завод, Беларусь) с КСМ-4 (ООО «Агропромаш», Россия) со специально разработанным в ИАЭП опрыскивателем клубней.

Варианты опыта, в которых использовался «Флавобактерин», сравнивались с вариантами без него. Схема опыта представлена в таблице 2.

Площадь делянки в опыте — 61,6 м² (5,6 м × 11 м). Повторность четырехкратная, расположение делянок рендомизированное. Ширина междурядья — 0,7 м, учетную площадь делянки составляют четыре срединных гребня, на которых проводится отбор образцов в динамике, и четыре гребня (по два с обеих сторон) выполняли защитную функцию. Учет урожая проводился на четырех срединных гребнях делянки.

Отобранные со всех делянок образцы клубней картофеля размещались в сетчатых мешках и отправлялись в химико-аналитическую лабораторию института на анализ, часть образцов были отправлены в хранилище. В образцах картофеля определялись: содержание сухого вещества — согласно ГОСТ 28561-90⁴, крахмал — по ГОСТ 7194-81⁵, нитраты — согласно ГОСТ 29270-95⁶, аскорбиновая кислота — согласно ГОСТ 24556-89⁷. Товарность клубней картофеля, а также выделение заболелших клубней определялись согласно ГОСТ 7176-2017⁸.

Погодные условия определялись в динамике автоматической метеостанцией Davis Vantage pro 2 (Австралия), установленной на здании Опытной станции.

Результаты опыта были обработаны биометрически в программах Windows Excel и Statistic 10 (США).

Таблица 1. Дозы компоста в опыте

Table 1. Doses of compost in the experiment

№ дозы компоста	Физическая масса дозы компоста	Содержание азота в данной дозе компоста
	т/га	кг N/га
1-я	4,30	80
2-я	6,45	110
3-я	8,60	160

Таблица 2. Схема опыта с «Флавобактерином», которым клубни обрабатывались при посадке, а затем листья

Table 2. Scheme of the experiment with Flavobacterin, with which the tubers were treated during planting, and then the leaves

Доза компоста	«Флавобактерин»	Годы исследования				
		2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
0	0	x	x	x	x	x
1	0	x	x	x	x	—
2	0	—	—	—	—	x
3	0	—	—	—	x	—
0	x	x	x	x	x	x
1	x	x	x	x	x	—
2	x	—	—	—	—	x
3	x	—	—	—	x	—

Примечание: x — в этот год данный вариант опыта был реализован, — в этот год данный вариант не был реализован.

Таблица 3. Агрохимическая характеристика дерново-подзолистой почвы, выбранной для органического земледелия

Table 3. Agrochemical characteristics of sod-podzolic soil selected for organic farming

Агрохимический показатель	Размерность	Размах вариаций значений	Среднее
pH _{KCl}	—	5,65–6,99	6,73
Органическое вещество	%	7,4–10,0	8,4
Обменный K ₂ O	мг/к г	91–194	151,1
Подвижный P ₂ O ₅	мг/кг	77–184	107,2
Ca + Mg	мг-экв/кг	256–305	27,4

Таблица 4. Погодные условия в вегетационный период в годы исследований

Table 4. Weather conditions during the growing season during the years of research

Месяц	Показатель погодных условий	Годы исследований					Средне-многолетние значения
		2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	
Май	Температура, °C	15,1	12,1	10,0	11,6	8,5	11,3
	Осадки, мм	14,0	79,3	53,0	172,0	15,0	46,0
	ГТК Селянинова	0,6	2,1	0,6	0,3	0,32	—
Июнь	Температура, °C	16,2	18,7	19,2	20,9	17,4	15,7
	Осадки, мм	35,2	79,3	129,4	16,6	47,6	71,0
	ГТК Селянинова	1,0	1,4	2,3	0,3	0,91	—
Июль	Температура, °C	20,8	16,5	17,6	22,0	18,7	18,8
	Осадки, мм	152,0	179,8	186,2	16,8	85,2	79,0
	ГТК Селянинова	2,9	3,5	3,4	0,3	1,47	—
Август	Температура, °C	15,7	17,0	17,2	15,8	20,0	16,9
	Осадки, мм	60,1	94,6	195,9	109,2	149,6	83,0
	ГТК Селянинова	2,0	1,8	3,8	2,2	1,66	—

Примечание: ГТК — гидротермический коэффициент увлажнения, предложенный Г.Т. Селяниновым [16].

Результаты и обсуждение / Results and discussion

1.1. Погодные условия

Погодные условия в летний период в годы исследований существенно отличались друг от друга (табл. 4). Май самым теплым оказался в 2018 году, а наибольшее количество осадков в мае выпало в 2021 году. Погодные

¹ Номер регистрации — 361395, дата внесения записи в Государственный реестр — 18.05.2018.

² Briukhanov A., Subbotin I., Uvarov R., Vasilev E. Method of designing of manure utilization technology. 2017.

³ Номер регистрации — 361395, дата внесения записи в Государственный реестр — 18.05.2018.

⁴ ГОСТ 28561-90 Продукты переработки сухих веществ и влаги.

⁵ ГОСТ 7194-81 Картофель свежий. Правила приемки и методы определения качества.

⁶ ГОСТ 29270-95 Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения нитратов.

⁷ ГОСТ 24556-89 Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С.

⁸ ГОСТ 7176-2017. Картофель продовольственный. Технические условия.

условия в 2019, 2020 и 2022 годах характеризовались достаточно комфортными температурами и обильным количеством осадков в период активного развития картофеля (июнь — август). Максимальное количество осадков за весь вегетационный период выпало в 2020 году.

Самые засушливые условия наблюдались в период активного развития картофеля — в июне и июле 2021 года. За эти два месяца выпало всего 33,4 мм осадков. Температура почвы в зоне клубнеобразования в конце июня — июле поднялась выше 20°, а влажность почвы понижалась до 15%, что привело к некоторой задержке развития клубней картофеля.

В таблицах 5, 6 представлены данные об общей биологической урожайности клубней и урожайности стандартных клубней за 5 лет. Обращает на себя внимание, что действие «Флавобактерина» на продуктивность картофеля различалось по годам и зависело от совместного использования с компостом.

Во все годы исследования, за исключением засушливого 2021 года, внесение «Флавобактерина» достоверно повышало продуктивность картофеля даже без компоста. Превышение за эти годы в среднем составило около 4,4 т/га, в то же время использование компоста совместно с «Флавобактерином» в среднем на 2,6 т/га

Таблица 5. Биологическая продуктивность картофеля в годы исследования, т/га

Table 5. Biological productivity of potatoes during the years of study, t/ha

Доза компоста, кг N/га	Биопрепарат	Годы исследований				
		2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
0	0	19,50	23,33	20,81	14,03	22,07
80	0	25,15	30,92	25,04	15,98	—
110	0	—	—	—	—	29,72
160	0	—	—	—	22,37	—
0	«Флавобактерин»	24,25	32,03	22,54	12,96	24,55
80	«Флавобактерин»	28,72	44,47	27,66	17,88	—
110	«Флавобактерин»	—	—	—	—	31,28
160	«Флавобактерин»	—	—	—	20,91	—
HCP _{0,95}		0,61 3,61 2,46				
		За все годы HCP _{0,95} = 3,43				

Таблица 6. Урожайность стандартного картофеля сорта Удача в годы исследования, т/га

Table 6. Productivity of standard potatoes of the Udacha variety during the years of research, t/ha

Доза компоста, кг N/га	Биопрепарат	Годы исследований				
		2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
0	0	17,07	21,21	20,25	13,37	20,38
80	0	21,31	24,86	25,44	16,46	—
110	0	—	—	—	—	27,58
160	0	—	—	—	23,07	—
0	«Флавобактерин»	22,50	25,63	22,87	11,18	22,73
80	«Флавобактерин»	26,37	31,72	27,33	17,10	—
110	«Флавобактерин»	—	—	—	—	28,95
160	«Флавобактерин»	—	—	—	20,16	—
HCP _{0,95}		0,86 3,63 3,08				
		За все годы HCP _{0,95} = 1,76				

Таблица 7. Доля мелкого картофеля в составе биологического урожая, %

Table 7. Share of small potatoes in the biological yield, %

Доза компоста, кг N/га	Биопрепарат	Годы				
		2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
0	0	7,69	1,20	1,92	3,64	7,07
80	0	8,37	1,03	1,53	4,76	—
110	0	—	—	—	—	4,25
160	0	—	—	—	3,07	—
0	«Флавобактерин»	4,96	0,67	1,92	5,01	7,49
80	«Флавобактерин»	5,23	0,97	2,15	3,05	—
110	«Флавобактерин»	—	—	—	—	3,24
160	«Флавобактерин»	—	—	—	2,20	—

повышало продуктивность картофеля по сравнению с вариантами, где компост использовался без биопрепарата. Близкие результаты получены при анализе действия «Флавобактерина» и компоста на урожай стандартных клубней картофеля.

Наилучшие условия для развития картофеля сложились в 2019 году, в то же время было самое малое количество мелкого картофеля (табл. 7) и отсутствие клубней, пораженных болезнями (рис. 1). В остальные годы на вариантах с «Флавобактерином» отмечалось меньшее количество клубней, пораженных болезнями. Болезни клубней были представлены в основном ризоктониозом, в значительно меньшей степени — серебристой паршой. Единичные клубни были поражены антракнозом.

Статистическая обработка суммарных данных о продуктивности картофеля за все годы исследований позволила установить характер воздействия погодных условий на этот показатель.

Уравнение, которое лучше всего описывает формирование продуктивности картофеля при использовании препарата «Флавобактерин», следующее:

$$Y = 5,9599 + 0,077973 A + 0,535332 B + 1,705106 C^2 + 2,060035 B \times C, [1]$$

$$R = 0,8931$$

где: Y — общая продуктивность картофеля, т/га; A — доза компоста, N, кг/га; B — ГТК в июле; C — ГТК в мае.

Рис. 1. Доля клубней картофеля пораженных болезнями в биологическом урожае, %

Fig. 1. The proportion of potato tubers affected by diseases in the biological harvest, %

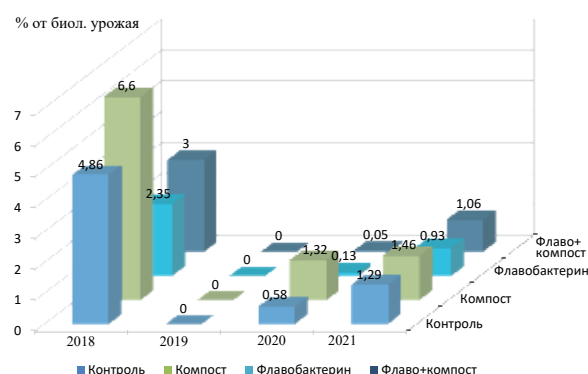


Рис. 2. Зависимость общей продуктивности картофеля (Var 6), т/га от дозы компоста (Var 11) и ГТК в июле (Var 13). Варианты опыта, где вносился «Флавобактерин»

Fig. 2. Dependence of the total potato productivity (Var 6), t/ha on the dose of compost (Var 11) and GTC in July (Var 13). Variants of the experiment where "Flavobacterin" was introduced

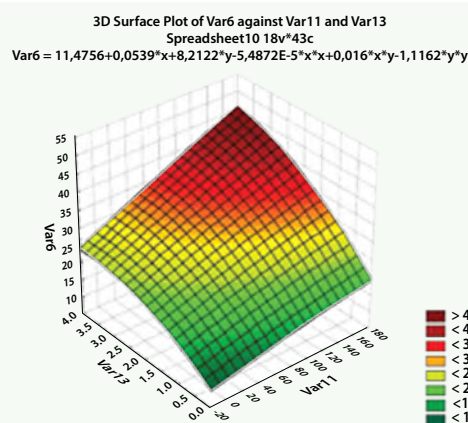


Таблица 8. Влияние погодных условий и агроприемов на содержание крахмала от массы клубней картофеля и сбор крахмала
Table 8. The influence of weather conditions and agricultural practices on the starch content in potato tubers and starch collection

Доза компоста, кг N/га	Биопрепарат	Годы исследований									
		2018 г.		2019 г.		2020 г.		2021 г.		2022 г.	
		кр., %	сбор, т/га	кр., %	сбор, т/га	кр., %	сбор, т/га	кр., %	сбор, т/га	кр., %	сбор, т/га
0	0	15,7	2,7	14,8	3,5	13,5	2,8	14,8	1,9	16,1	4,1
80	0	17,1	3,6	13,4	4,1	16,2	4,1	14,5	2,6	–	–
110	0	–	–	–	–	–	–	–	–	11,4	3,1
0	«Флавобактерин»	17,4	3,9	14,7	4,7	13,9	3,1	15,8	1,9	12,3	2,9
80		16,2	4,3	15,6	6,9	15,5	4,3	13,0	2,5	–	–
110		–	–	–	–	–	–	–	–	10,3	3,0

Примечание: кр. — содержание крахмала в клубнях картофеля, %.

Таблица 9. Влияние компоста и «Флавобактерина» на биохимический состав клубней картофеля в зависимости от погодных условий
Table 9. The influence of compost and «Flavobacterin» on the biochemical composition of potato tubers depending on weather conditions

Доза компоста, кг N/га	Биопрепарат	Годы исследования											
		2018 г.			2019 г.			2020 г.			2021 г.		
		аск. кисл., мг/100 г	NO ₃ мг/кг	СВ, %	аск. кисл., мг/100 г	NO ₃ мг/кг	СВ, %	аск. кисл., мг/100 г	NO ₃ мг/кг	СВ, %	аск. кисл., мг/100 г	NO ₃ мг/кг	СВ, %
0	0	9,9	30,4	21,96	–	22,0	19,77	1,4	159,5	19,51	–	93,3	23,18
80		9,2	69,2	20,79	–	52,2	19,18	2,3	138,9	20,44	–	110,2	–
110		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	19,79	5,5
160		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	19,79	5,5
0	«Флавобактерин»	10,0	73,4	22,47	–	85,5	20,49	3,0	145,5	20,21	–	83,8	21,91
80		13,2	96,6	21,16	–	94,0	21,22	2,3	115,3	18,63	–	92,6	–
110		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	19,98	6,8
160		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	18,44	178,8

Примечание: СВ — сухое вещество, аск. кисл. — аскорбиновая кислота.

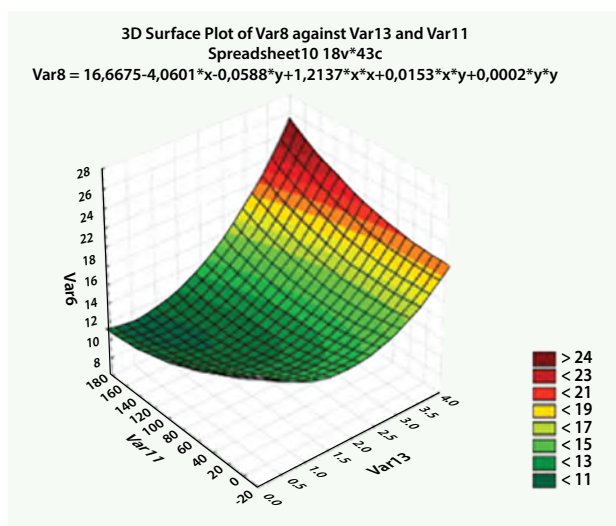
Таким образом, данная зависимость подтверждает, что максимальное воздействие на продуктивность картофеля оказывали компост и погодные условия в мае и июле.

Упрощенная зависимость общей продуктивности картофеля на вариантах с использованием «Флавобактерина» от дозы компоста и ГТК в июле представлена на рисунке 1.

Одной из основных задач при производстве столового картофеля и картофеля для пищевой промышленности является хорошее качество клубней. При этом основные показатели качественного состава клубней картофеля — содержание сухого вещества, крахмала и нитратов.

Рис. 3. Зависимость содержания крахмала в клубнях картофеля (Var 8) от дозы компоста (Var 11) и ГТК в июле (Var 13)

Fig. 3. Dependence of starch content in potato tubers (Var 8) on the dose of compost (Var 11) and GTC in July (Var 13)



На биохимический состав клубней в значительной степени влияют обеспеченность питательными веществами в процессе развития растений и складывающиеся погодные условия в конкретной местности [17].

В опыте клубни картофеля на контрольном варианте содержали максимальное количество сухих веществ в 2019 и 2022 годах (табл. 9). Однако использование компоста и повышение урожайности несколько снижали содержание сухого вещества в эти годы.

Минимальное количество нитратов в клубнях картофеля было отмечено в 2019 году, что связано с максимальной продуктивностью картофеля в этот период. Кроме того, с урожаем картофеля было собрано большее количество крахмала в 2018–2020 годах на вариантах с «Флавобактерином» по сравнению с вариантами без биопрепарата (табл. 8).

В 2022 году продуктивность картофеля была несколько ниже. При этом на вариантах с компостом в клубнях картофеля было максимальное количество нитратов, а содержание крахмала снижалось. По всей видимости, в этот год растениям не хватило достаточного количества энергии для восстановления всего количества нитратов, поступившего в клубни, и дальнейшей переработки их в белковые и другие, более сложные соединения. По этой же причине накопилось недостаточное количество крахмала на вариантах с компостом.

Статистическая обработка данных о содержании крахмала в клубнях картофеля за все годы позволила рассчитать следующее уравнение зависимости данного показателя от дозы компоста и погодных условий:

$$Y = -1,1837 - 0,0165 A - 3,2658 B + 67,9856 C + 32,3871 C^2 - 19,1723 B \times C \\ R = 0,69055281 \quad [2],$$

где: Y — содержание крахмала в клубнях картофеля, %; A — доза компоста, N, кг/га; B — ГТК в июле; C — ГТК в мае.

Более наглядная версия представлена на рисунке 3.

Опыт, который проходил с 2018 по 2022 год, позволил собрать достаточный объем экспериментальных данных для формирования определенных заключений.

Во-первых, урожайность картофеля в условиях региона в значительной степени определялась погодными условиями. В опыте картофель был посажен в самом конце мая с целью ухода от возможных заморозков и провокации развития сорной растительности, которую удаляли до посадки картофеля. Тем не менее на продуктивность картофеля существенно влияли погодные условия мая. По всей видимости, это связано с накоплением влаги в почве в мае, которое потом используется растущими растениями картофеля в июне. Следующий месяц, оказавший существенное воздействие на

развитие картофеля, — июль. Именно в этом месяце (с учетом прекращения белых ночей и приходом темных со 2 июля) активно развиваются клубни картофеля, для чего необходимы достаточное количество влаги и соответствующий температурный режим. Следует отметить, что такие же условия, по всей видимости, более подходят для развития микроорганизмов, входящих в состав «Флавобактерина», который обеспечивал положительное влияние на развитие растений картофеля. В свою очередь, компост, предоставляя элементы питания, достоверно способствовал развитию клубней картофеля и формированию урожая при всех рассмотренных погодных условиях.

Во-вторых, погодные условия и агротехнические мероприятия оказывали достаточно сложное, разнонаправленное влияние на формирование и накопление крахмала в клубнях картофеля. Известно, что для накопления крахмала в клубнях картофеля необходимы активный фотосинтез и интенсивный переход сахарозы из листьев в клубни, которая там превращается в крахмал⁹.

При использовании компоста не всегда хватает энергии для поддержания такой же концентрации крахмала в клубнях картофеля, как и на контрольных вариантах, но при более высокой продуктивности. Свою роль оказывают и погодные условия, которые могут сформировать более или менее благоприятные условия для фотосинтеза. Наиболее благоприятные погодные условия отмечены в 2019 году, при которых даже на вариантах

с компостом при достижении продуктивности в 44 т/га было зафиксировано повышенное содержание крахмала по сравнению с контролем.

Вывод/Conclusion

1. Исследованиями, проведенными в 2018–2022 годах, установлено, что в условиях органического севооборота биологический урожай картофеля сорта Удача на вариантах с «Флавобактерином» (без компоста) варьировал от 12,96 до 32,63 т/га.

2. Использование микробиологического препарата «Флавобактерин» на картофеле сорта Удача (без участия других удобрений) достоверно повышало урожайность картофеля (в среднем на 4,6 т/га), снижало заболеваемость клубней и в благоприятные по погодным условиям годы способствовало большему выходу крахмала с урожаем (на 1,2 т/га).

3. На вариантах, где совместно использовались компост «БИАГУМ» на основе куриного помета и микробиологический препарат «Флавобактерин» продуктивность картофеля сорта Удача повышалась за годы исследований в среднем на 2,6 т/га по сравнению с вариантом с компостом. При этом же сочетании агротехнических действий при благоприятных погодных условиях, имевших место в 2019 году, отмечались повышенное содержание крахмала и его сбор с урожаем (6,9 т/га), а также содержание сухих веществ (21%). В другие годы эта тенденция сохранялась, но не столь определенно.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Завалин А.А., Соколов О.А., Шмырева Н.Я. Экология азотфиксации. М.: РАН. 2019; 252. ISBN 978-5-907036-03-1 <https://www.elibrary.ru/nffwsg>
2. Peoples M.B., Herridge D.F., Ladha J.K. Biological nitrogen fixation: An efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production. *Plant and Soil*. 1995; 174(1–2): 3–28. <https://doi.org/10.1007/BF00032239>
3. Добровольская Т.Г. и др. Роль микроорганизмов в экологических функциях почв. *Почвоведение*. 2015; (9): 1087–1096. <https://doi.org/10.7868/S0032180X15090038>
4. Хамова О.Ф., Шулико Н.Н., Дороненко В.Д. Роль биологического азота в формировании качества зерна ячменя при длительном применении удобрений и инокуляции семян в южной лесостепи Западной Сибири. *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2017; (4): 82–86. <https://www.elibrary.ru/zxgtqt>
5. Семыкин В.А., Пигорев И.Я., Тарасов А.А., Глинущкин А.П., Плыгун С.А., Сычева И.И. Микробные препараты и регуляторы роста как средства биологизации земледелия. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*. 2016; (11): 3–9. <https://doi.org/10.18551/rjoas.2016-11.01>
6. Холод Н.А. Оценка биологических фунгицидов для контроля доминирующих микозов земляники садовой. *Научные труды СКФНЦБВ*. 2017; 13: 84–87. <https://www.elibrary.ru/zmwfol>
7. Лапа В.В., Михайловская Н.А., Касьянчик С.А., Цыбулько Н.Н., Барашенко Т.Б. Эффективность бактериальных удобрений (азобактерина и калипланта) при возделывании зерновых культур на эродированных дерново-подзолистых почвах. *Агрохимия*. 2020; (2): 28–36. <https://doi.org/10.31857/S0002188120020088>
8. Азизбекян Р.Р. Биологические препараты для защиты сельскохозяйственных растений (обзор). *Биотехнология*. 2018; 34(5): 37–47. <https://www.elibrary.ru/vkivvy>
9. Петров В.Б., Чеботарь В.К. Микробиологические препараты — базовый элемент современных интенсивных агротехнологий растениеводства. *Достижения науки и техники АПК*. 2011; (8): 11–15. <https://www.elibrary.ru/obgjrj>
10. Железняков С.В., Калинина Т.В., Деева В.К., Лактионов Ю.В., Якоби Л.М. Изучение фосфатмобилизующей способности штаммов *Agrobacterium radiobacter* 10 и *Pseudomonas chlororaphis* ПГ7 in vitro. *Сельскохозяйственная биология*. 2022; 57(1): 158–170. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2022.1.158rus>

REFERENCES

1. Zavalin A.A., Sokolov O.A., Shmyreva N.Ya. Ecology nitrogen fixation. Moscow: Russian Academy of Sciences. 2019; 252 (in Russian). ISBN 978-5-907036-03-1 <https://www.elibrary.ru/nffwsg>
2. Peoples M.B., Herridge D.F., Ladha J.K. Biological nitrogen fixation: An efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production. *Plant and Soil*. 1995; 174(1–2): 3–28. <https://doi.org/10.1007/BF00032239>
3. Dobrovolskaya T.G. et al. The role of microorganisms in the ecological functions of soils. *Eurasian Soil Science*. 2015; 48(9): 959–967. <https://doi.org/10.1134/S1064229315090033>
4. Khamova O.F., Shuliko N.N., Doronenko V.D. The role of biological nitrogen in the barley grain quality under the conditions of long-term use of fertilizers and inoculation of seeds in the southern forest-steppe of Western Siberia. *Vestnik of Omsk SAU*. 2017; (4): 82–86 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/zxgtqt>
5. Semykin V.A., Pigorev I.Ya., Tarasov A.A., Glinushkin A.P., Plygun S.A., Sycheva I.I. Microbial preparations and growth regulators as means of biologization of agriculture. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*. 2016; (11): 3–9 (in Russian). <https://doi.org/10.18551/rjoas.2016-11.01>
6. Holod N.A. Evaluation of biological fungicides for control of dominant mycoses of garden strawberry. *Nauchnye trudy SKFNTsSVV*. 2017; 13: 84–87 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/zmwfol>
7. Lapa V.V., Mikhailouskaya N.A., Kasyanchik S.A., Tsybulko N.N., Barashenko T.B. Efficiency of biofertilizers (azobacterin and kalipant) for grain crops growing on eroded sod-podzolic soils. *Agrokhimiya*. 2020; (2): 28–36 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0002188120020088>
8. Azizbekyan R.R. Biological preparations for the protection of agricultural plants (review). *Biotechnology*. 2018; 34(5): 37–47. <https://www.elibrary.ru/vkivvy>
9. Petrov V.B., Chebotar V.K. Microbiological preparations are a basic element of modern intensive agricultural technologies of crop production. *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2011; (8): 11–15 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/obgjrj>
10. Zheleznyakov S.V., Kalinina T.V., Deeva V.K., Laktionov Yu.V., Jacobi L.M. The study of *Agrobacterium radiobacter* 10 and *Pseudomonas fluorescens* PG7 phosphate-mobilizing abilities in vitro. *Agricultural Biology*. 2022; 57(1): 158–170. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2022.1.158eng>

11. Кожемяков А.П. и др. Агротехнологические основы создания усовершенствованных форм микробных биопрепаратов для земледелия. *Сельскохозяйственная биология*. 2015; 50(3): 369–376. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.3.369rus>
12. van Elsas J.D., Nijnen C.E. Methods for the introduction of bacteria into soil (a review). *Biology and Fertility of Soils*. 1990; 10(2): 127–133. <https://doi.org/10.1007/BF00336248>
13. Кравченко Л.В. Ризосфера — область взаимодействия микроорганизмов и растений. *Сельскохозяйственная микробиология в XIX–XXI вв.* Санкт-Петербург: 2001; 59.
14. Хуаз С.Х., Рапетсоа М.К., Лебедев В.Н. Влияние микроудобрения «Флавобактерин» на ростовые процессы и микрофлору почвы прикорневой зоны яровой пшеницы в различные фазы роста. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2022; (3): 41–49. <https://doi.org/10.24412/2078-1318-2022-3-41-49>
15. Минин В.Б., Захаров А.М., Мельников С.П., Васильев М.А. Продуктивность и качество картофеля, возделываемого по биологизированной технологии в условиях Ленинградской области. *АгроЭкоИнженерия*. 2021; (3): 51–66. <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2021-3108-51-65>
16. Селянинов Г.Т. Климатическое районирование СССР для сельскохозяйственных целей. Мурзаев Э.М. (ред.). Памяти академика Л.С. Берга. Сборник работ по географии и биологии. М.; Л.: АН СССР. 1955; 187–225.
17. Naumann M., Koch M., Thiel H., Gransee A. The Importance of Nutrient Management for Potato Production Part II: Plant Nutrition and Tuber Quality. *Potato Research*. 2020; 63(1): 121–137. <https://doi.org/10.1007/s11540-019-09430-3>

ОБ АВТОРАХ

Андрей Петрович Кожемяков¹

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологии симбиотических и ассоциативных ризобактерий
kojemayakov@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9657-2454>

Владислав Борисович Минин²

кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник
minin.iamfe@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5207-8921>

Юрий Владимирович Лактионов¹

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологии симбиотических и ассоциативных ризобактерий
Laktionov@arriam.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6241-0273>

Сергей Петрович Мельников³

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры почвоведения и агрохимии им. Л.Н. Александровой
fraspmm@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0948-9511>

Антон Михайлович Захаров²

кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе
bauermw@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3501-0543>

11. Kozhemyakov A.P. et al. The scientific basis for the creation of new forms of microbial biochemicals. *Agricultural Biology*. 2015; 50(3): 369–376. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.3.369eng>

12. van Elsas J.D., Nijnen C.E. Methods for the introduction of bacteria into soil (a review). *Biology and Fertility of Soils*. 1990; 10(2): 127–133. <https://doi.org/10.1007/BF00336248>

13. Kravchenko L.V. The rhizosphere is an area of interaction between microorganisms and plants. *Agricultural Microbiology in XIX–XXI centuries*. St. Petersburg. 2021; 59 (in Russian).

14. Khuaz S.H., Rapetsoa M.C., Lebedev V.N. Influence of Flavobacterin microbiofertilizer on growth processes and soil microflora of spring wheat root zone in different growth phases. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2022; (3): 41–49 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2078-1318-2022-3-41-49>

15. Minin V.B., Zakharov A.M., Melnikov S.P., Vasilev M.A. Yielding capacity and quality of potato cultivated by biology-based technology in the conditions of the Leningrad region. *AgroEcoEngineering*. 2021; (3): 51–66 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2021-3108-51-65>

16. Selyaninov G.T. Climatic zoning of the USSR for agricultural purposes. Murzaev E.M. (ed.). In memory Academician L.S. Berg. Collection of works on geography and biology. Moscow; Leningrad: Academy of Sciences of the USSR. 1955; 187–225 (in Russian).

17. Naumann M., Koch M., Thiel H., Gransee A. The Importance of Nutrient Management for Potato Production Part II: Plant Nutrition and Tuber Quality. *Potato Research*. 2020; 63(1): 121–137. <https://doi.org/10.1007/s11540-019-09430-3>

ABOUT THE AUTHORS

Andrey Petrovich Kozhemyakov¹

Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Ecology of Symbiotic and Associative Rhizobacteria
kojemayakov@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9657-2454>

Vladislav Borisovich Minin²

Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher
minin.iamfe@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5207-8921>

Yuri Vladimirovich Laktionov¹

Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Ecology of Symbiotic and Associative Rhizobacteria
Laktionov@arriam.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6241-0273>

Sergei Petrovich Melnikov³

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Soil Science and Agrochemistry Named after L.N. Alexandrova
fraspmm@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0948-9511>

Anton Mikhailovich Zakharov²

Candidate of Technical Sciences, Deputy Director for Scientific Work
bauermw@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3501-0543>

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, шоссе Подбельского, 3, Пушкин, Санкт-Петербург, 196608, Россия

² Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства — филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Филитовское шоссе, 3, пос. Тярлево, Санкт-Петербург, 196625, Россия

³ Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, 2, Пушкин, Санкт-Петербург, 196607, Россия

¹ All-Russian Research Institute for Agricultural Microbiology, 3 Podblskogo highway, Pushkin, St. Petersburg, 196608, Russia

² Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production — Branch of the Federal Scientific AgroEngineering Centre VIM, 3 Filitrovskoe highway, Tyarlevo, St. Petersburg, 196625, Russia

³ St. Petersburg State Agrarian University, 2 Petersburg highway, Pushkin, St. Petersburg, 196607, Russia