

Научная статья

УДК 631.445.24:631.847.2

DOI 10.48012/1817-5457_2025_4_12-21

ИЗМЕНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ

Карпова Алина Юрьевна[✉], Иудин Владимир Андреевич,
Рудометова Александра Анатольевна
Удмуртский ГАУ, Ижевск, Россия
agrohim@udsau.ru

Аннотация. Картофель играет исключительно важную роль в структуре сельского хозяйства, а биологические свойства почвы, несмотря на то, что часто выносятся на периферию научной дискуссии при рассмотрении проблематики оптимизации технологий возделывания сельскохозяйственных культур, остаются важным фактором сохранения плодородия почв и имеют потенциал для повышения урожайности и качества продукции в растениеводстве. Цель данного исследования представляет собой поиск зависимости между биологическими свойствами почвы и показателями урожайности и качества продукции трехлетних исследований. Полевые исследования проводились в 2022-2024 гг. на опытном поле в д. Верхняя Талица Воткинского района Удмуртской Республики; вегетационные исследования проведены в 2024-2025 гг. на кафедре агрохимии, почвоведения и химии Удмуртского ГАУ. В результате исследований установлено позитивное влияние смеси микробиологических удобрений «Азотовит» и «Фосфатовит» на целлюлозолитическую активность почвы, ее аммонифицирующую и азотминерализующую способность. Увеличение составило 330 %, 381% и 72 % соответственно. В полевых испытаниях прибавка урожайности при применении «Азотовита» составила 17 %, а содержания сухого вещества – 10 %. Получена тесная обратная корреляция между целлюлозолитической активностью и содержанием азота в продукции: коэффициент корреляции составил -0,97.

Ключевые слова: картофель, биологические свойства почвы, целлюлозолитическая активность, нитрификация, аммонификация, микробиологические удобрения.

Для цитирования: Карпова А. Ю., Иудин В. А., Рудометова А. А. Изменение биологической активности дерново-подзолистой почвы при применении микробиологических удобрений // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4(84). С. 12-21. https://doi.org/10.48012/1817-5457_2025_4_12-21.

Актуальность. Современные проблемы производства сельскохозяйственной продукции в России включают в основном высокую стоимость минеральных удобрений, ГСМ для сельхозмашин, средств защиты растений. Кроме высоких издержек проблемой является и низкая выручка, в результате рентабельность производства остается на низком уровне, что приводит к плохому инвестиционному фону [8]. Одним из способов решения данных проблем является введение новых энергоэффективных технологий возделывания, обеспечивающих стабильную урожайность, защиту почвенного покрова от эрозионных факторов, снижение себестоимости продукции. В течение нескольких лет ученые кафедры агрохимии, почвоведения и химии Удмуртского ГАУ проводят исследования влияния микробиологических удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур [1. 3. 6. 13. 14]. На основании накопленных зна-

ний была предпринята попытка изучить механизмы этого воздействия.

Одним из ключевых показателей биологической активности почвы является ее целлюлозолитическая способность – способность почвенной микрофлоры разлагать целлюлозу и другие растительные остатки. Интенсивное разложение органического вещества способствует образованию гумуса и высвобождению элементов питания, что напрямую влияет на плодородие почвы и урожайность картофеля [11].

Многочисленные исследования подтверждают связь между интенсивностью разложения растительных остатков в почве и урожайностью картофеля. Ежегодное внесение органических удобрений ведет к увеличению числа целлюлозоразрушающих микроорганизмов и усилению целлюлозолитической активности почвы по сравнению с вариантами только минерального питания [4]. В полевых опытах было пока-

зано, что при переходе от монокультуры к чередованию с бобовыми культурами активность почвенных ферментов, включая целлюлозолитическую, значительно возрастает [20, 25]. Это улучшение биологического состояния почвы сопровождается ростом урожайности клубней картофеля. Так, смена непрерывного возделывания картофеля на севооборот с бобовыми культурами позволила повысить урожайность клубней на 19–28 % благодаря оздоровлению микробиоценоза ризосферы и росту активности ферментов разложения органики [20].

Напротив, длительная монокультура картофеля, как показано в работах Кина (2017) и Ванга (2023), приводит к угнетению полезной микрофлоры и снижению ферментативной активности почвы – отмечено падение активности целлюлозоразрушающих ферментов и других гидролаз, что сопровождается ухудшением обеспеченности растений питанием [25]. В результате продуктивность и качество картофеля при непрерывной культивации снижаются. Корреляционный анализ показывает, что уровень ферментативной активности почвы положительно связан с урожайностью клубней [20].

Другим важным компонентом биологического плодородия почвы является ее способность трансформировать органический азот в доступные минеральные формы – аммонийную (NH_4) и нитратную (NO_3). Соответствующие микробиологические процессы – аммонификация и нитрификация – обеспечиваются деятельностью специфических групп почвенных микроорганизмов и во многом определяют рост ботвы и формирование урожая клубней [19]. Минерализованный азот почвенного гумуса способен обеспечить значительную долю потребности картофеля в этом элементе питания, снижая потребность в минеральных удобрениях [23].

В различных научных трудах показано, что при регулярном внесении органических удобрений из почвы высвобождается больше минерального азота за счет усиления процессов аммонификации и нитрификации по сравнению с почвами, где применяются только минеральные удобрения [23]. Органические удобрения за счет богатой микрофлоры активизируют как аммонифицирующие, так и нитрифицирующие микроорганизмы, повышая доступность соединений азота для растений. Наличие в почве активного сообщества азотфиксирующих бактерий (*Azotobacter*) и нитрификаторов (*Nitrobacter*) свидетельствует об интенсивном цикле азота, при котором продукты разложения органики быстро переходят в доступные формы [20].

Сбалансированное азотное питание положительно влияет не только на урожайность, но и на качество клубней. Избыточное содержание нитратов в период формирования клубней может снижать содержание крахмала и сухих веществ, а также повышать остаточные нитраты в продукции [5]. В полевых опытах было показано, что уменьшение доз химических удобрений на 30 % при одновременном повышении биологической активности почвы не снижало урожайность и улучшало качество клубней [2].

Учитывая вышесказанное, применение микробиологических препаратов – это один из наиболее эффективных способов повышения биологической активности почвы. В картофелеводстве успешно используются препараты на основе бактерий родов *Azotobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Paenibacillus*, *Beijerinckia* и других [1, 6, 13, 22, 24].

По данным полевых исследований, совместное применение минеральных удобрений и биопрепаратов обеспечивает прирост урожайности до 30 % по сравнению с чисто минеральным фоном [2]. Кроме того, биопрепараты улучшают качество клубней: повышается содержание крахмала и витамина С, снижается уровень накопления нитратов [2].

В производственных условиях применение биопрепаратов позволяет получить стабильную прибавку урожая 5–8 т/га, а также снизить пораженность клубней фитопатогенами при хранении в два раза [22].

Цель исследований – изучить влияние микробиологических удобрений на урожайность картофеля и биологические свойства дерново-подзолистой почвы.

Материал и методы. Для изучения микробиологических удобрений «Азотовит» и «Фосфатовит» были проведены два опыта: полевой микроделяночный опыт – в 2022–2024 гг. и вегетационный опыт – в 2024 г.

Микробиологические удобрения «Азотовит» и «Фосфатовит» в полевом опыте применялись для предпосадочной обработки клубней картофеля сорта Ред Скарлет в дозе 0,4 л/т (при норме расхода рабочего раствора 10 л/т).

Для определения биологической активности почвы был заложен вегетационный опыт, при закладке которого использовалась дерново-подзолистая супесчаная почва опытного участка из полевого опыта со следующими агрохимическими показателями: нейтральная кислотность ($\text{pH}_{\text{KCl}} = 6,05$), очень высокое содержание подвижного фосфора (381 мг/кг), повышенное содержание обменного калия (144 мг/кг),

гидролитическая кислотность составляла 1,39 ммоль/100 г почвы, сумма поглощенных оснований – 9,7 ммоль/100 г почвы. Масса воздушно-сухой почвы в вегетационном сосуде составила 1 кг.

Единая схема опыта включает следующие варианты в восьмикратной повторности:

1. Без удобрений (контроль).
2. «Азотовит».
3. «Фосфатовит».
4. «Азотовит» + «Фосфатовит».

Агрохимические анализы почвенных образцов выполнены по стандартным методикам; определение аммонифицирующей и нитрифицирующей способности почвы – методом компостирования с последующим установлением количества нитратов и обменного аммония в почве (ГОСТ 26951-86, ГОСТ 26489-85); определение активности разложения целлюлозы – лабораторным методом [22].

Условия проведения исследований. Полевые исследования проведены на территории Воткинского района Удмуртской Республики, вблизи д. Верхняя Талица. Погодные условия вегетационных периодов 2022-2024 гг. отличались: условия 2022 года, по Г. Т. Селянинову, характеризуются как очень засушливые (ГТК – 0,69), 2023 г. – сухие (ГТК – 0,40), 2024 г. – засушливые (ГТК – 0,72).

Результаты исследований. В ходе биологических процессов органический азот постепенно переходит в минеральные формы. В таблице 1 представлено влияние микробиологических удобрений «Азотовит» и «Фосфатовит» на биологическую активность дерново-подзолистой супесчаной почвы.

Таблица 1 – Влияние микробиологических удобрений на биологическую активность дерново-подзолистой супесчаной почвы, мг/кг

Вариант	Аммонифицирующая способность	Нитрифицирующая способность
Без удобрений (к)	2,50	17,00
«Азотовит»	4,35	19,50
«Фосфатовит»	-6,19	24,25
«Азотовит» + «Фосфатовит»	12,02	21,50
НСР ₀₅	2,58	3,05

Процесс аммонификации органических азотсодержащих веществ обусловлен жизнедеятельностью гетеротрофных бактерий, в частности

представителей рода *Bacillus* и их родственных видов (в том числе *Paenibacillus*, входящие в состав удобрения «Фосфатовит»). Однако в варианте с применением данного микробиологического удобрения наблюдается достоверное снижение аммонифицирующей способности почвы на 8,69 мг N-NH₄/кг, так как деятельность штамма *Paenibacillus mucilaginosus* больше направлена на высвобождение водорастворимых форм фосфора и калия, нежели азота [18]. Совместное применение «Азотовита» и «Фосфатовита» в условиях вегетационного опыта существенно усиливает аммонифицирующую способность на 9,52 мг N-NH₄/кг, таким образом, можно утверждать, что бактерии в составе изучаемых микробиологических удобрений стимулируют жизнедеятельность друг друга и оказывают благоприятное действие на разложение органических форм азота, улучшая условия питания растений.

Нитрифицирующая способность почвы также изменяется в зависимости от применяемых микробиологических удобрений, причем отмечено достоверное увеличение данного показателя при применении «Фосфатовита» и комплекса «Азотовита» с «Фосфатовитом» на 7,25 и 4,50 мг N-NO₃/кг, соответственно, при НСР₀₅ = 3,05 мг N-NO₃/кг. Уровень нитрифицирующей способности почвы по всем вариантам опыта оценивается как повышенный.

Также биологическую активность почвы и уровень ее плодородия помогает оценить такой показатель, как целлюлозолитическая активность почвы. Чем интенсивнее разлагается целлюлоза, тем быстрее осуществляется биологический круговорот элементов питания и тем полнее культура обеспечивается питательными элементами [12]. Данный показатель позволяет определить интенсивность течения почвенных процессов.

Влияние микробиологических удобрений «Азотовит» и «Фосфатовит» на целлюлозолитическую активность дерново-подзолистой супесчаной почвы представлено в таблице 2.

Уровень целлюлозолитической активности в целом по опыту очень слабый, однако, по вариантам есть достоверные различия. Выявлен значительный рост целлюлозолитической активности дерново-подзолистой почвы при совместном применении двух микробиологических удобрений на 4,59 % при НСР₀₅ = 0,98 %. Использование «Фосфатовита» оказало наименьший эффект, не превысив НСР и оставшись в пределах ошибки опыта, с другой стороны – эффект применения «Азотовита», несмотря на большую

выраженность, суммарно (с «Фосфатовитом») не дает прибавки, соответствующей комплексному эффекту.

Таблица 2 – Влияние микробиологических удобрений на целлюлозолитическую активность дерново-подзолистой супесчаной почвы, %

Вариант	Целлюлозолитическая способность
Без удобрений (к)	1,39
«Азотовит»	3,30
«Фосфатовит»	2,29
«Азотовит» + «Фосфатовит»	5,98
НСР ₀₅	0,98

Данные различия могут быть связаны с наличием какого-либо скрытого эффекта, вызванного косвенным взаимодействием компонентов микробиологического удобрения с нативной микрофлорой почвы. Основываясь на описанном для *P. mucilaginosus* бактериостатическом эффекте, можно предположить, что применение «Фосфатовита» корректирует нативную микрофлору в сторону преобладания активных целлюлозолитизирующих микроорганизмов, а добавление «Азотовита» способствует обеспеченности почвенной микробиоты доступным азотом.

Азот и фосфор являются биогенными макроэлементами, которые играют ключевую роль в формировании урожая картофеля, при этом сроки их поглощения несколько неоднородны. Несмотря на то, что наибольшее поглощение по обоим элементам наблюдается в фазы бутонизации-цветения, потребление фосфора более равномерно на протяжении всей вегетации, а азот в большей степени потребляется в начале вегетации [7. 15. 17].

На рисунке 1 представлено влияние микробиологических удобрений на товарную урожайность картофеля.

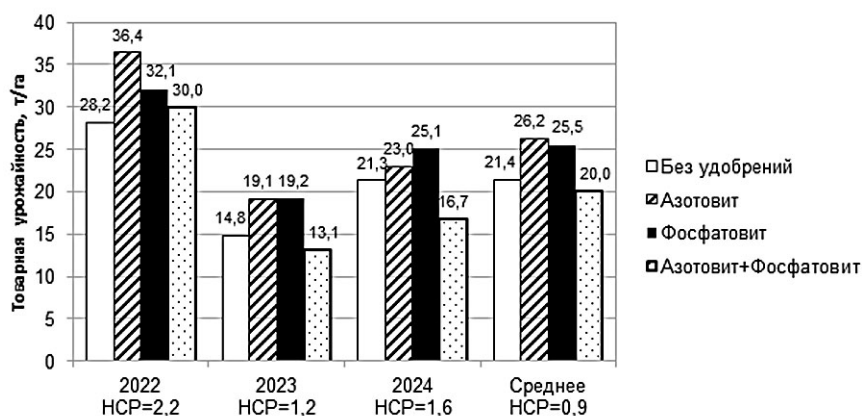


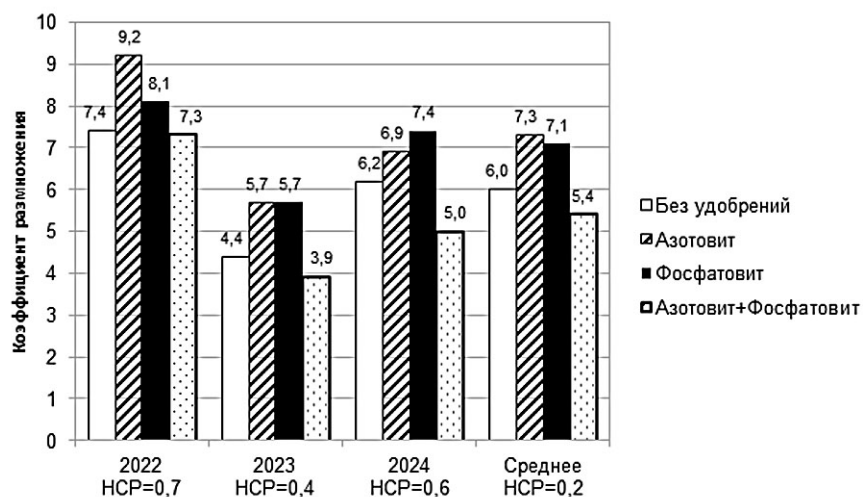
Рисунок 1 – Влияние микробиологических удобрений «Азотовит» и «Фосфатовит» на товарную урожайность картофеля, т/га (2022-2024 гг.)

Различия в товарной урожайности, наблюдаемые за три года исследований, были неоднородны. Так, например, применение «Азотовита» в 2022 г. демонстрировало наибольшую прибавку товарной урожайности (+8,2 т/га); с другой стороны, результаты 2023 г. были не столь однозначными, и эффективность применения «Азотовита» и «Фосфатовита» изолированно была примерно одинаковой (+4,3 т/га и +4,4 т/га, соответственно). В 2024 г. уже наиболее эффективным оказалось применение «Фосфатовита» (прибавка +3,8 т/га). Неизменными последние 2 года исследований оставалось снижение товарной урожайности при применении смеси микробиологических удобрений, среднее же за 3 года снижение составило -0,6 т/га, что укладывается в пределы ошибки опыта (НСР₀₅ = 0,9 т/га). Такой результат в целом совпадал с более ранними исследованиями [1. 13]. Однако в 2022 г. результат был противоположным и товарная урожайность в этом варианте даже несколько превышала контрольный показатель, при этом также не превосходя ошибку опыта (+1,8 т/га, при НСР₀₅ = 2,2 т/га).

Стабильное снижение товарной урожайности при применении смеси микробиологических удобрений «Азотовит» и «Фосфатовит» на дерново-подзолистых почвах Удмуртии может быть связано с конкурентными взаимоотношениями между бактериями в составе удобрений либо особенностями их взаимодействия с нативной микрофлорой почв. То есть в полевых условиях проявляются антагонистические взаимоотношения бактерий ввиду конкуренции за источник питания, так как оба вида – *Beijerinckia fluminensis* и *Paenibacillus mucilaginosus* – характеризуются гетеротрофным типом питания.

Коэффициент размножения является важным показателем при производстве картофеля в целях семеноводства. Эффективность действия микробиологических удобрений на коэффициент размножения показана на рисунке 2.

Рисунок 2 – Влияние микробиологических удобрений «Азотовит» и «Фосфатовит» на коэффициент размножения картофеля Ред Скарлет



При анализе влияния микробиологических удобрений на коэффициент размножения выявлены аналогичные закономерности, которые наблюдались в отношении товарной урожайности. Применение удобрений «Азотовит» и «Фосфатовит» независимо друг от друга в среднем за три года привело к существенному увеличению коэффициента размножения на 1,3 и 1,1 соответственно, а в смеси – к снижению на 0,6 при $НСР_{05} = 0,2$.

Наилучший же эффект был выявлен при применении «Азотовита» в 2022 г., где коэффициент размножения картофеля увеличился на 24 % относительно контрольного варианта, что в абсолютных значениях составило 1,2 при $НСР_{05} = 0,7$. Влияние «Фосфатовита» в среднем за три года исследований было не столь весомым, однако в условиях вегетационного периода 2024 г. именно данный вариант продемонстрировал лучшие результаты – коэффициент размножения увеличился на 1,2 ($НСР_{05} = 0,6$).

Единственным вегетационным периодом, в котором совместное применение удобрений не оказало достоверных изменений, был 2022 г.,

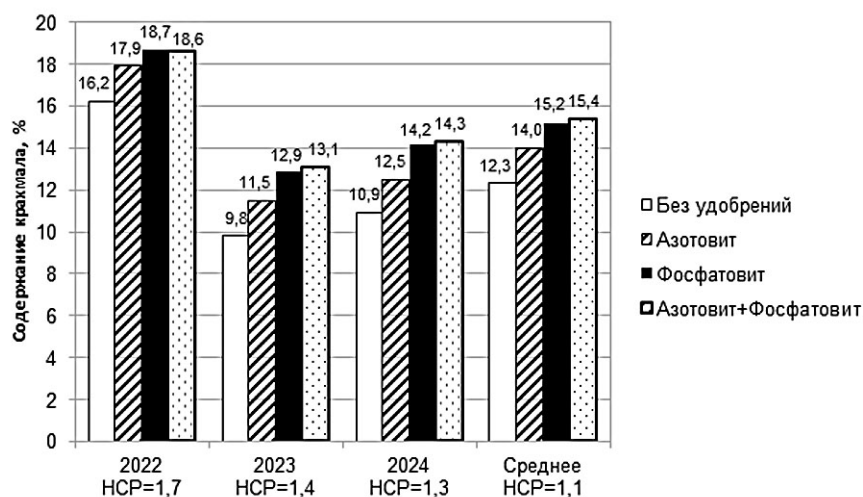
где отклонение по вариантам не превышало наименьшей существенной разницы. Наиболее выраженное снижение коэффициента размножения отмечено в 2024 г. (-1,2 относительно контроля при $НСР_{05} = 0,6$).

Принимая во внимание тот факт, что обеспеченность фосфором играет ключевую роль в процессе клубнеобразования и таким образом воздействует на коэффициент размножения [7], наблюдаемое снижение коэффициента размножения при применении смеси может свидетельствовать не только о возможном угнетении компонентами микробиологического удобрения «Фосфатовит» азотфиксирующей микрофлоры «Азотовита», но и о снижении (либо полном отсутствии) фосфатсольюбилизирующего эффекта.

При анализе качества продукции было выявлено благоприятное влияние применения микробиологических удобрений на содержание крахмала в продукции (рис. 3).

Наибольшее содержание крахмала в картофеле было выявлено при применении «Фосфатовита» в 2022 г. (+2,5 % при $НСР_{05} = 1,7$ %).

Рисунок 3 – Изменение содержания крахмала в картофеле при применении микробиологических удобрений



Применение микробиологических удобрений в сочетании благоприятно повлияло на данный показатель во все годы исследований, увеличение содержания крахмала в среднем за три года составило 3,1 % при $HCP_{05} = 1,1$ %. С другой стороны, совместное применение, хоть и демонстрировало наибольший прирост, было менее эффективным, чем сумма эффектов от каждого удобрения в отдельности (прибавки в среднем за три года составили 1,7 и 2,9 % для «Азотовита» и «Фосфатовита» соответственно). Это говорит не только об отсутствии синергетического эффекта от применения двух удобрений, но также показывает наличие конкурентных взаимоотношений между бактериями в составе изучаемых удобрений. Наличие такого рода эффекта абсолютно не противоречит данным, полученным при оценке урожайности и ее структуры.

Содержание сухого вещества в различных вариантах было весьма близко, несмотря на это, дисперсионный анализ трехлетних данных показал существенные различия (рис. 4). При этом анализ результатов каждого года в отдельности не демонстрировал стойких зависимостей от применяемых микробиологических удобрений, наблюдалась лишь определенная тенденция к изменениям.

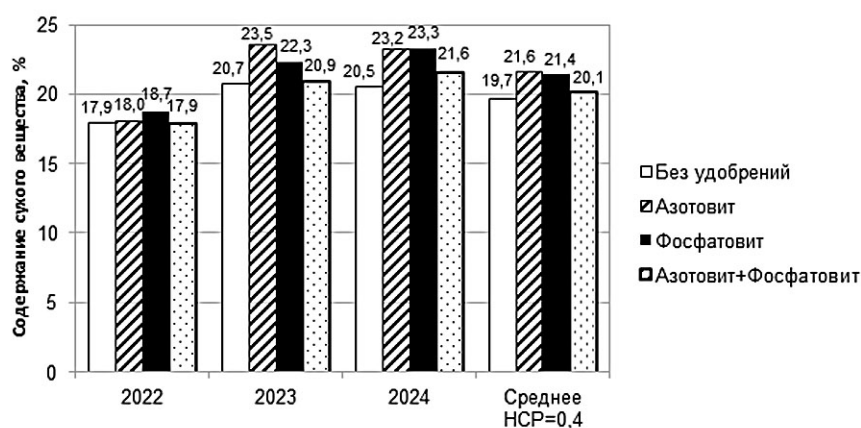


Рисунок 4 – Изменение содержания сухого вещества в картофеле при применении микробиологических удобрений

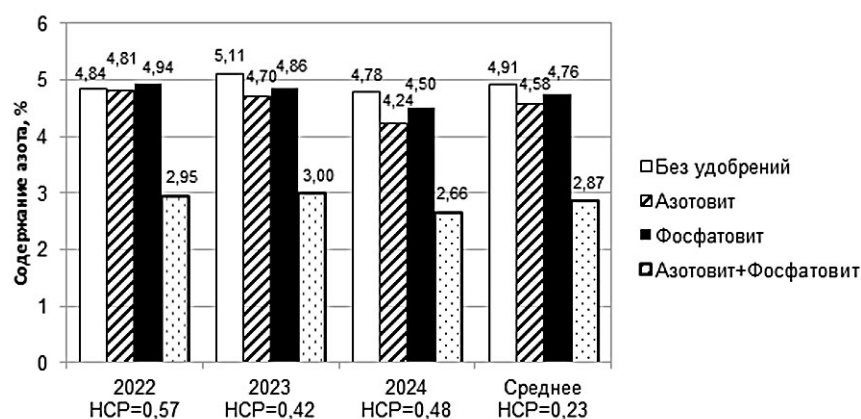


Рисунок 5 – Влияние микробиологических удобрений на содержание азота в клубнях картофеля Ред Скарлет

Так, применение микробиологических удобрений в среднем за три года исследований привело к росту доли сухого вещества в продукции картофеля. Применение «Азотовита» и «Фосфатовита» в сочетании друг с другом увеличило содержание сухого вещества на 0,4 % относительно контроля, однако применение изучаемых удобрений в отдельности способствовало росту содержания сухого вещества в картофеле на 1,9 и 1,7 % соответственно по сравнению с контролем. Такие результаты можно считать очередным доказательством конкуренции между бактериями в составе препаратов.

Азот является одним из главных элементов питания растений, и обеспеченность им можно оценить по содержанию азота в клубнях картофеля (рис. 5).

При анализе содержания азота в клубнях нами было установлено, что применение сочетания двух микробиологических удобрений существенно снижает данный показатель относительно контроля. Снижение составляло от 39 до 44 % в зависимости от года, а в среднем составило 41,5 %. Данный эффект показывает не только неэффективность применения удобрений совместно, но и демонстрирует резкое усиление отрицательного влияния на содержа-

ние азота. Механизм столь выраженного негативного эффекта, однако, остается неясным.

Применение «Фосфатовита» в отдельности не привело к достоверным изменениям содержания азота в картофеле относительно контроля во все годы проведения исследований. Несколько иной эффект наблюдался при использовании удобрения «Азотовит». Применение данного микробиологического удобрения в 2023 г. незначительно (на 0,41 при $НСР_{05} = 0,42$), а в 2024 г. и в среднем значительно (на 0,58 и 0,33 при $НСР_{05} = 0,48$ и 0,23, соответственно) снижало содержание азота в сухом веществе картофельных клубней. Данный эффект может быть связан с распределением азотсодержащих веществ преимущественно в надземных частях растения при более эффективном азотном питании.

Таким образом, результаты, полученные в ходе проведения полевого опыта, демонстрировали нам неоднородную динамику изменения показателей. Для консолидации показателей, полученных в лаборатории и в полевых исследованиях, был проведен корреляционный анализ полученных данных.

По результатам корреляционного анализа было установлено наличие очень тесной обратной связи между содержанием азота в продукции и целлюлозолитической активностью почвы (коэффициент корреляции -0,97). Данную закономерность можно объяснить комплексным действием бактерий в составе «Азотовита» и «Фосфатовита», которые не только улучшают питание растений, но и стимулируют рост и развитие почвенной микрофлоры, в том числе целлюлозоразлагающих бактерий, за счет выделения биологически активных веществ. В то же время более развитый почвенный микробиоценоз может вступать в конкурентные отношения с растением за азот, тем самым снижая его содержание в урожае в частности и урожайность культуры (коэффициент корреляции -0,51) в целом.

С другой стороны, повышенная целлюлозолитическая активность тесно связана с повышенным содержанием крахмала в продукции (коэффициент корреляции 0,67). Природа данной связи не до конца ясна, однако, можно предположить две основные причины: во-первых, развитие целлюлозолитической микробиоты приводит к одновременному дефициту азота и повышенному обеспечению фосфором и калием; во-вторых, фосфатсольбилизирующие микроорганизмы способны к определенному бактериостатическому эффекту и обладают вы-

раженной целлюлозолитической активностью самостоятельно.

Еще одной группой тесно связанных факторов оказалось содержание крахмала и нитрифицирующая активность (коэффициент корреляции 0,91). В результате деятельности нитрифицирующих бактерий в почве аммонийные формы азота окисляются с образованием нитратов, которые за счет стимулирования образования транспортабельных форм углеводов в листьях способствуют процессу синтеза крахмала в клубнях [10].

Корреляционные связи аммонифицирующей активности почвы с урожайностью (как общей, так и товарной), а также с содержанием азота были аналогичны связям, которые наблюдались в случае с целлюлозолитической активностью. Данные эффекты могут быть интерпретированы через промежуточное звено в виде целлюлозолитической микробиоты либо через некоторую избирательность в формах азота, поглощаемых корневой системой картофеля. Так или иначе, данные связи требуют дальнейшего изучения с целью возможной корректировки системы удобрения, применяемой на картофеле при возделывании на дерново-подзолистых почвах, с учетом микробного сообщества.

Заключение. Таким образом, в результате проведения полевых и лабораторных исследований выявлено, что применение микробиологических удобрений «Азотовит» и «Фосфатовит», особенно при совместном их использовании, в условиях вегетационного опыта благоприятно влияет на биологическую активность дерново-подзолистой почвы, а именно на процессы накопления минерального азота и разложения целлюлозы. То есть бактерии в составе удобрений – *Beijerinckia fluminensis* и *Paenibacillus mucilaginosus* – не только накапливают в почве доступные формы азота и фосфора, но и стимулируют жизнедеятельность ризосферных микроорганизмов.

С другой стороны, доказано, что комплексное применение изучаемых микробиологических удобрений в полевых условиях существенно снижает урожайность картофеля и показатели его качества в сравнении с изолированным применением. Данный факт согласуется с более ранними исследованиями других ученых нашего региона, проведенными на полевых культурах [3]. В целом изолированное применение «Азотовита» и «Фосфатовита» во все годы исследований способствовало достоверному повышению урожайности картофеля и улучшению показателей качества продукции.

Выявлена корреляционная связь показателей биологической активности дерново-подзолистой почвы и товарной урожайности картофеля, а также содержания крахмала и азота в клубнях.

Список источников

1. Башков А. С., Иудин В. А., Игнатьев А. В. Влияние биологических удобрений на урожайность и качество картофеля // Научные инновации в развитии отраслей АПК: материалы Междунар. науч.-практ. конф. В 3 томах, Ижевск, 18–21 фев. 2020 г. Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА. 2020. Т. I. С. 3–5.

2. Биологическая активность почвы, урожайность и качество картофеля при использовании микробиологических препаратов / С. В. Жевора [и др.] // Российская сельскохозяйственная наука. 2019. № 4. С. 31–35.

3. Бортник Т. Ю., Игнатьев А. В. Эффективность биологических удобрений азотовит и фосфатовит при возделывании ячменя в условиях Вятско-Камской провинции // Плодородие. 2021. № 5 (122). С. 80–83.

4. Влияние навоза на ферментативную активность дерново-подзолистой почвы / Н. Е. Павловская [и др.] // Почвоведение. 1985. № 4. С. 50–57.

5. Воропаев В. Н., Сотников Б. А., Глотова М. Ю. Влияние удобрений на качество клубней картофеля // Аграрная наука. 2016. № 3. С. 15–17.

6. Иудин В. А., Бортник Т. Ю. Влияние биологических удобрений «Азотовит» и «Фосфатовит» на урожайность картофеля при возделывании на дерново-среднеподзолистых среднесуглинистых почвах Среднего Предуралья // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 3(79). С. 13–20. DOI 10.48012/1817-5457_2024_3_13-20.

7. Рабинович Г. Ю., Тихомирова Д. В., Лапушкина В. Н. Факторы, обеспечившие формирование урожайности картофеля при возделывании на грядах. Аграрный вестник Урала. 2020. № 07(198). С. 12–22.

8. Современные тенденции и проблемы развития сельского хозяйства / Н. Г. Вожаева [и др.] // Азимут научных исследований: экономика и управление. 2019. Т. 8. № 2 (27). С. 103–108.

9. Титова В. И., Дабахова Е. В., Дабахов М. В. Практикум по агроэкологии. Н. Новгород, 2005. С. 20–88.

10. Управление содержанием крахмала в картофеле / А. В. Коршунов [и др.] // Аграрный вестник Урала. 2011. № 2(81). С. 47–50. EDN PASYTN.

11. Ушаков Р. Н., Ручкина А. В. Влияние плодородия агросерой почвы на активность микрофлоры в условиях засухи в Нечерноземной зоне России // Агрохимия. 2020. № 6. С. 69–77.

12. Щур А. В., Виноградов Д. В., Валько В. П. Целлюлолитическая активность почв при различных уровнях агротехнического воздействия // Вестник КрасГАУ. 2015. № 7(106). С. 45–49. EDN UCPRCD.

13. Эффективность биологических удобрений Азотовит и Фосфатовит при возделывании картофеля

на дерново-подзолистых почвах Удмуртской Республики / А. В. Игнатьев [и др.] // Пермский аграрный вестник. 2021. № 2(34). С. 31–41. DOI 10.47737/2307-2873_2021_34_31.

14. Эффективность систем удобрения при возделывании картофеля на дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почве Удмуртской Республики / Т. Ю. Бортник [и др.] // Агротехнологии XXI века: стратегия развития, технологии, инновации: материалы Междунар. конф. В 3 частях, Пермь, 11–15 нояб. 2024 г. Пермь: ИПЦ Прокрость, 2024. С. 133–138.

15. Bucher M., Kossmann J. Molecular physiology of the mineral nutrition of the potato. Potato Biology and Biotechnology: Advances and Perspectives (ed. D. Vreugdenhil). Elsevier, 2011. pp. 311–330.

16. Gouda S. [et al.]. Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) for sustainable agriculture. Microbiological Research. 2018; 206: 131–140.

17. Jenkins P. D., Ali H. Phosphate supply and progeny tuber numbers in potato crops. Annals of Applied Biology. 2000; 136(1): 41–46.

18. Lu J. J., Xue A. Q., Cao Z. Y. [et al.]. Diversity of plant growth-promoting *Paenibacillus mucilaginosus* isolated from vegetable fields in Zhejiang, China. Ann Microbiol. 2014; 64: 1745–1756.

19. Prasad R. [et al.]. Estimation of nitrogen pools in irrigated potato production on sandy soil using the SUBSTOR model. PLoS ONE. 2015; 10(6): e 0117891.

20. Qin S. [et al.]. Breaking continuous potato cropping with legumes improves soil microbial communities, enzyme activities and tuber yield. PLoS ONE. 2017; 12(5): E 0175934.

21. Rosen C. J., Bierman P. M. Potato Yield and Tuber Set as Affected by Phosphorus Fertilization. American Journal of Potato Research, 2008.

22. Somova L. A., Mikheeva G. A., Pechurkin N. S. Introduction of Microbiocenosis in Agroecosystem for Increasing the Plant Productivity. Journal of Siberian Federal University. Biology. 2017; 10(3): 333–342. DOI 10.17516/1997-1389-0002.

23. Tan X. [et al.]. Bio-organic fertilizer can improve potato yield by replacing fertilizer with isonitrogenous content to improve microbial community composition. Agronomy. 2024; 14(12): 2881.

24. Timofeeva A. M. [et al.]. Plant Growth-Promoting Bacteria of Soil: Designing of Consortia Beneficial for Crop Production. Microorganisms. 2023; 11(12): 2864.

25. Wang Y. [et al.]. Legume-potato rotation affects soil physicochemical properties, enzyme activity, and rhizosphere metabolism in continuous potato cropping. Chemical and Biological Technologies in Agriculture. 2023; 10: 132.

References

1. Bashkov A. S., Iudin V. A., Ignat'ev A. V. Vliyanie biologicheskikh udobrenij na urozhajnost' i kachestvo kartofelya // Nauchny'e innovacii v razvitii otraslej APK: materialy` Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. V 3

tomax, Izhevsk, 18–21 fev. 2020 g. Izhevsk: FGBOU VO Izhevskaya GSXA. 2020. T. I. S. 3–5.

2. Biologicheskaya aktivnost' pochvy, urozhajnost' i kachestvo kartofelya pri ispol'zovanii mikrobiologicheskix preparatov / S. V. Zhevora [i dr.] // Rossijskaya sel'skoxozyajstvennaya nauka. 2019. № 4. S. 31–35.

3. Bortnik T. Yu., Ignat'ev A. V. E'ffektivnost' biologicheskix udobrenij azotovit i fosfatovit pri vozdeystvovanii yachmenya v usloviyax Vyatsko-Kamskoj provincii // Plodorodie. 2021. № 5 (122). S. 80–83.

4. Vliyanie navoza na fermentativnyuyu aktivnost' dernovo-podzolistoj pochvy / N. E. Pavlovskaya [i dr.] // Pochvovedenie. 1985. № 4. S. 50–57.

5. Voropaev V. N., Sotnikov B. A., Glotova M. Yu. Vliyanie udobrenij na kachestvo klubnej kartofelya // Agrarnaya nauka. 2016. № 3. S. 15–17.

6. Iudin V. A., Bortnik T. Yu. Vliyanie biologicheskix udobrenij «Azotovit» i «Fosfatovit» na urozhajnost' kartofelya pri vozdeystvovanii na dernovo-srednepodzolisty'x srednesuglinisty'x pochvax Srednego Predural'ya // Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skoxozyajstvennoj akademii. 2024. № 3(79). S. 13–20. DOI 10.48012/1817-5457_2024_3_13-20.

7. Rabinovich G. Yu., Tixomirova D. V., Lapushkina V. N. Faktory, obespechivshie formirovanie urozhajnosti kartofelya pri vozdeystvovanii na gryadax. Agrarnyj vestnik Urala. 2020. № 07(198). S. 12–22.

8. Sovremennye tendencii i problemy razvitiya sel'skogo xozyajstva / N. G. Vozhdaeva [i dr.] // Azimut nauchny'x issledovanij: e'konomika i upravlenie. 2019. T. 8. № 2 (27). S. 103–108.

9. Titova V. I., Dabaxova E. V., Dabaxov M. V. Praktikum po agroekologii. N. Novgorod, 2005. S. 20–88.

10. Upravlenie soderzhanijem kraxmala v kartofele / A. V. Korshunov [i dr.] // Agrarnyj vestnik Urala. 2011. № 2(81). S. 47–50. EDN PASYTN.

11. Ushakov R. N., Ruchkina A. V. Vliyanie plodorodiya agroseroj pochvy na aktivnost' mikroflory v usloviyax zasuxi v Nechernozemnoj zone Rossii // Agroximiya. 2020. № 6. S. 69–77.

12. Shhur A. V., Vinogradov D. V., Val'ko V. P. Cellyulozoliticheskaya aktivnost' pochvy pri razlichny'x urovnjyax agrotexnicheskogo vozdeystviya // Vestnik KrasGAU. 2015. № 7(106). S. 45–49. EDN UCPRCD.

13. E'ffektivnost' biologicheskix udobrenij Azotovit i Fosfatovit pri vozdeystvovanii kartofelya na dernovo-podzolisty'x pochvax Udmurtskoj Respubliki / A. V. Ignat'ev [i dr.] // Permskij agrarnyj vestnik. 2021. № 2(34). S. 31–41. DOI 10.47737/2307-2873_2021_34_31.

14. E'ffektivnost' sistem udobreniya pri vozdeystvovanii kartofelya na dernovo-srednepodzolistoj srednesuglinistoj pochve Udmurtskoj Respubliki / T. Yu. Bortnik [i dr.] // Agrotexnologii XXI veka: strategiya razvitiya, texnologii, innovacii: materialy Mezhdunar. konf. V 3 chastyax, Perm', 11–15 noyab. 2024 g. Perm': IPCz Prokrost, 2024. S. 133–138.

15. Bucher M., Kossmann J. Molecular physiology of the mineral nutrition of the potato. Potato Biology and Biotechnology: Advances and Perspectives (ed. D. Vreugdenhil). Elsevier, 2011. pp. 311–330.

16. Gouda S. [et al.]. Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) for sustainable agriculture. Microbiological Research. 2018; 206: 131–140.

17. Jenkins P. D., Ali H. Phosphate supply and progeny tuber numbers in potato crops. Annals of Applied Biology. 2000; 136(1): 41–46.

18. Lu J. J., Xue A. Q., Cao Z. Y. [et al.]. Diversity of plant growth-promoting *Paenibacillus mucilaginosus* isolated from vegetable fields in Zhejiang, China. Ann Microbiol. 2014; 64: 1745–1756.

19. Prasad R. [et al.]. Estimation of nitrogen pools in irrigated potato production on sandy soil using the SUBSTOR model. PLoS ONE. 2015; 10(6): e 0117891.

20. Qin S. [et al.]. Breaking continuous potato cropping with legumes improves soil microbial communities, enzyme activities and tuber yield. PLoS ONE. 2017; 12(5): E 0175934.

21. Rosen C. J., Bierman P. M. Potato Yield and Tuber Set as Affected by Phosphorus Fertilization. American Journal of Potato Research, 2008.

22. Somova L. A., Mikheeva G. A., Pechurkin N. S. Introduction of Microbiocenosis in Agroecosystem for Increasing the Plant Productivity. Journal of Siberian Federal University. Biology. 2017; 10(3): 333–342. DOI 10.17516/1997-1389-0002.

23. Tan X. [et al.]. Bio-organic fertilizer can improve potato yield by replacing fertilizer with isonitrogenous content to improve microbial community composition. Agronomy. 2024; 14(12): 2881.

24. Timofeeva A. M. [et al.]. Plant Growth-Promoting Bacteria of Soil: Designing of Consortia Beneficial for Crop Production. Microorganisms. 2023; 11(12): 2864.

25. Wang Y. [et al.]. Legume-potato rotation affects soil physicochemical properties, enzyme activity, and rhizosphere metabolism in continuous potato cropping. Chemical and Biological Technologies in Agriculture. 2023; 10: 132.

Сведения об авторах:

А. Ю. Карпова[✉], кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0002-6438-4838>;

В. А. Иудин, ассистент, <https://orcid.org/0009-0001-4587-214X>;

А. А. Рудометова, магистр агрономии, <https://orcid.org/0009-0002-6507-5145>

Удмуртский ГАУ, 426033, Ижевск, Россия, ул. Кирова, 16

agrohim@udsau.ru

Original article

CHANGES IN THE BIOLOGICAL ACTIVITY OF SOD-PODZOLIC SOILS WHEN APPLYING MICROBIOLOGICAL FERTILIZERS

Alina Y. Karpova[✉], Vladimir A. Iudin, Alexandra A. Rudometova

Udmurt State Agricultural University, Izhevsk, Russia

agrohim@udsau.ru

Abstract. *Potato is a crucial crop in agriculture, and soil biology, though often overlooked in scientific discussions on the problems of crop technology improvement, is vital for maintaining fertility. It can enhance yields and product quality. The aim of this study was to identify the relationship between soil biological properties and the yield and quality of agricultural products over three years. The field trials were conducted in the experimental plot in Verkhnyaya Talitsa, Votkinsky District, Udmurt Republic in 2022-2024; the vegetation studies were performed at the Department of Agrochemistry, Soil Science, and Chemistry of Udmurt State Agricultural University in 2024-2025. The results demonstrated a positive effect of a combined application of the microbiological fertilizers Azotovit and Phosphatovit on soil cellulolytic activity, on soil capacity of ammonification and nitrogen mineralization. The increase was 330 %, 381 %, and 72 %, respectively. During the field trials the application of Azotovit resulted in 17 % increase in potato yield and 10 % increase in dry matter content. A strong negative correlation was observed between soil cellulolytic activity and nitrogen content in tubers, with a correlation coefficient of -0.97.*

Key words: *potato, biological properties of soil, cellulolytic activity, nitrification, ammonification, microbiological fertilizers.*

For citation: *Karpova A. Y., Iudin V. A., Rudometova A. A. Changes in the biological activity of sod-podzolic soils when applying microbiological fertilizers. The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy. 2025; 4 (84): 12-21. (In Russ.). https://doi.org/10.48012/1817-5457_2025_4_12-21.*

Authors:

A. Yu. Karpova[✉], Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0002-6438-4838>;

V. A. Iudin, Assistant, <https://orcid.org/0009-0001-4587-214X>;

A. A. Rudometova, Master of Agronomy, <https://orcid.org/0009-0002-6507-5145>

Udmurt State Agricultural University, 16 Kirova St., Izhevsk, Russia, 426033

agrohim@udsau.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare that they have no conflict of interests.

Статья поступила в редакцию 29.05.2025; одобрена после рецензирования 06.10.2025;

принята к публикации 01.12.2025.

The article was submitted 29.05.2025; approved after reviewing 06.10.2025; accepted for publication 01.12.2025.