

## Влияние биопрепарата с наночастицами железа на активность почвенных ферментов и урожайность картофеля

© 2023. Н. А. Любимова , Г. Ю. Рабинович

ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт имени В. В. Докучаева», г. Москва, Российская Федерация

В работе представлены данные трехлетних исследований (2020-2022 гг.) по влиянию жидкофазного биопрепарата, содержащего наночастицы железа (ЖФБ-Fe), полученные методом биосинтеза с использованием экстракта зеленого чая, на урожайность картофеля сорта Скарб и активность почвенных ферментов в условиях Тверской области. Сравнительную эффективность ЖФБ-Fe, исходного биопрепарата ЖФБ, раствора наночастиц железа Fe НЧ изучали в полевых условиях на фоне внесения NPK. Результаты показали, что максимальная продуктивность (669,1 г/куст) картофеля была получена при некорневой обработке вегетирующих растений 1%-ным раствором ЖФБ-Fe – на 16,9 % выше контрольного варианта (фон NPK). При раздельном применении растворов 1%-го ЖФБ и 1%-го Fe НЧ продуктивность составила 628,4 и 550,6 г/куст соответственно, что свидетельствует об усилении их воздействия на растения картофеля при совместном использовании в составе ЖФБ-Fe. Было отмечено, что активность инвертазы коррелировала с содержанием гумуса в почве, а активность протеазы – с содержанием легкогидролизуемого азота. Кроме того, исследование активности ферментов в почве под картофелем (каталазы, дегидрогеназы, инвертазы, целлюлазы и протеазы) показало, что они оказывают существенное влияние на урожайность картофеля на разных этапах вегетации при различных технологических приемах применения биопрепаратов. Так, например, при обработке клубней картофеля на стадии всходов была обнаружена обратная зависимость между активностью каталазы в почве и урожайностью: чем выше активность фермента, тем ниже урожайность ( $r = -0,82$ ). В случае целлюлазы при этом же технологическом приеме, наоборот, наблюдается прямая зависимость: чем выше активность фермента в почве на стадии всходов, тем больше урожайность ( $r = 0,72$ ). Таким образом, при воздействии на почву и растения Fe-содержащими биопрепаратами изменяется активность ферментов, отвечающих за превращение основных биогенных элементов (углерод и азот) и окислительно-восстановительные процессы, происходящие в почве, что, в конечном итоге, приводит к изменению почвенного плодородия – либо к снижению, либо к повышению урожайности сельскохозяйственных культур.

**Ключевые слова:** биопрепарат ЖФБ, каталаза, дегидрогеназа, инвертаза, протеаза, целлюлаза

**Благодарности:** В 2020-2021 гг. исследования выполнялись при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева» (тема № 0651-2019-0007), в 2022 г. дальнейшие этапы исследований продолжены при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 22-76-00016).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку данной работы.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Любимова Н. А., Рабинович Г. Ю. Влияние биопрепарата с наночастицами железа на активность почвенных ферментов и урожайность картофеля. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2023;24(3):417-429.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.417-429>

Поступила: 03.04.2023

Принята к публикации: 01.06.2023

Опубликована онлайн: 28.06.2023

## Effect of a biological product with iron nanoparticles on the activity of soil enzymes and potato yields

© 2023. Nadezhda A. Lyubimova , Galina Yu. Rabinovich

Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russian Federation

The paper presents data on a three-year study (2020-2022) of the effect of a liquid-phase biological product containing iron nanoparticles (LPB-Fe), obtained by biosynthesis using green tea extract, on the yield of potatoes of the Skarb variety and the activity of soil enzymes under the conditions of Tverskaya areas. Comparative efficiency of LPB-Fe, the original LPB biopreparation, solution of iron nanoparticles Fe NPs was studied in the field against the background of NPK application. The results showed that the maximum productivity (669.1 g/bush) of potatoes was obtained by foliar treatment of vegetative plants with a 1% solution of LPB-Fe – 16.9 % more than the control variant (NPK background). With the separate use of a 1% solution of LPB and a 1% solution of Fe NPs, the productivity was 628.4 and 550.6 g/plant, respectively, which indicates an increase in their impact on potato plants when used together as part of LPB-Fe. It was noted that the activity of invertase correlated with the content of humus in the soil, and the activity of the protease correlated with the content of readily hydrolysable nitrogen. In addition, the study of the activity of enzymes in the soil under potatoes (catalase, dehydrogenase, invertase, cellulase and protease) showed that they have a significant impact on the yield of potatoes at different stages of the growing season with various technological methods of using biological preparations. For example, when treating potato tubers at the seedling stage, an inverse relationship was found between catalase activity in the soil and yield: the higher the enzyme activity, the lower the yield (correlation coefficient is -0.82). And in the case of cellulase, with the same technological method, on the contrary, a direct dependence is observed: the higher the activity of the enzyme in the soil at the seedling stage, the greater the yield (correlation

coefficient is 0.72). Thus, when soil and plants are exposed to Fe-containing biological products, the activity of enzymes responsible for the transformation of the main biogenic elements (carbon and nitrogen) and redox processes occurring in the soil changes, which ultimately leads to a change in soil fertility and, therefore, either decrease or increase of crop yields.

**Keywords:** LPB biological product, catalase, dehydrogenase, invertase, protease, cellulase

**Acknowledgments:** In 2020-2021 the studies were carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute (theme No. 0651-2019-0007), in 2022 further stages of the research were continued under the financial support of the Russian Science Foundation (grant No. 22-76-00016).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**Conflict of Interest:** the authors declared no conflict of interest.

**For citations:** Lyubimova N. A., Rabinovich G. Yu. Effect of a Biological Product with Iron Nanoparticles on the Activity of Soil Enzymes and Potato Yields. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(3):417-429. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.417-429>

Received: 03.04.2023 Accepted for publication: 01.06.2023 Published online: 28.06.2023

Картофель – это одна из наиболее распространенных сельскохозяйственных культур, возделываемых на территории России. Согласно данным Минсельхоза<sup>1</sup>, в 2022 году валовая урожайность картофеля составила 7,2 млн т, что на 9 % выше по сравнению с урожаем 2021 года (6,6 млн т). Для получения высокого и качественного урожая картофеля в почву необходимо дозировано вносить минеральные удобрения, которые должны быть доступны растениям в определенные сроки вегетации [1, 2]. Однако использование необоснованно высоких доз минеральных удобрений приводит к негативным последствиям для почвенного плодородия – повышению кислотности, изменению видового состава почвенных организмов, нарушению круговорота веществ и структуры почвы [3].

Неблагоприятное воздействие средств химизации на почву снижается при применении биопрепаратов, которые можно использовать как совместно с минеральными удобрениями, что позволяет снизить их дозировку, так и без них [4]. Результаты различных исследований показали, что использование биопрепаратов позволяет не только повысить урожайность картофеля, но и качество получаемой продукции [5, 6, 7].

Помимо биопрепаратов в качестве стимуляторов роста растений также используются железосодержащие препараты. Железо является необходимым микроэлементом для растений и играет очень важную роль в процессах обмена веществ, синтеза ДНК, фотосинтеза, дыхания, является одним из компонентов жизненно важных ферментов, таких как цитохромы. Несмотря на то, что железо занимает четвертое место по распространенности в почве, чаще всего оно находится в формах, недоступных для растений [8].

Следовательно, внесение Fe (в том числе и в наноформе) является одним из возможных способов оптимизации урожайности сельскохозяйственных культур [9, 10]. В работе [11] было показано, что после обработки почвы раствором, содержащим наночастицы железа в дозе 500 мг железа/кг, биомасса растений резуховидки Таля (*Arabidopsis thaliana* L.) увеличилась на 38 % за счет усиления фотосинтеза, что было подтверждено данными исследования системы газообмена, соотношения изотопов углерода и анализом содержания хлорофилла [11].

**Цель исследований** – изучить влияние жидкофазного биопрепарата, содержащего в своем составе наночастицы железа (ЖФБ-Fe), на ферментативную активность почвы и урожайность картофеля сорта Скарб.

**Научная новизна** – впервые был применен жидкофазный биопрепарат с наночастицами железа (ЖФБ-Fe) при возделывании картофеля сорта Скарб и получены экспериментальные данные по его влиянию на урожайность картофеля и ферментативную активность почвы.

**Материал и методы.** Объекты исследований – растения картофеля сорта Скарб, обработанные жидкофазным биопрепаратом ЖФБ-Fe, содержащем в своем составе наночастицы железа; ферментативная активность почвы под картофелем.

Картофель сорта Скарб включен в Госреестр РФ по Северо-Западному и Центральному регионам. Среднеспелый, столового назначения. Товарная урожайность 25,3-41,1 т/га, максимальная – 50,8 т/га. Клубень овальный, с очень мелкими глазками. Кожура гладкая, желтая. Мякоть желтая. Масса товарного клубня 94-138 г. Содержание крахмала 10,8-17,7 %. Вкус хороший.

<sup>1</sup>Картофель и овощи, господдержка и кредитование. [Электронный ресурс].

URL: <https://specagro.ru/news/202301/v-rossii-sbor-kartofelya-v-tovarnom-sektore-v-2022-godu-prevysil-7-mln-t?ysclid=li7nb3qtd6222057091> (Дата обращения: 23.03.2023).

Товарность 84-99 %, лежкость 88-99 %. Устойчив к возбудителю рака картофеля и золотистой картофельной цистообразующей нематодой. По данным ВНИИ фитопатологии, восприимчив к возбудителю фитофтороза по ботве и клубням. По данным оригинатора, устойчив к морщинистой, полосчатой мозаике. Ценность сорта: нематодоустойчивость, высокая урожайность, выравненность клубней, высокий выход товарных клубней и их лежкость<sup>2</sup>.

Синтез наночастиц железа осуществляли с использованием экстракта коммерчески доступного зеленого чая торговой марки «Принцесса Ява. Традиционный» производства ООО «НЕРП», который содержит большое количество полифенолов, способных восстанавливать ионы металлов [12].

Для получения наночастиц железа 0,1 М раствор сульфата железа (II) смешали с экстрактом чая (5 г чайных листьев на 100 мл воды нагрели на водяной бане при 80 °С в течение 20 минут) в объемном соотношении 1:1 и оставили на 24 часа при температуре 55 °С в термостате. В процессе синтеза наночастиц было зафиксировано изменение pH растворов с 5,1 до 2,4, что, наряду с появлением хлопьевидного осадка и изменением цвета раствора с желто-зеленого на черный, свидетельствовало о формировании наночастиц железа. Подобные изменения были отмечены другими авторами, которые также указывают на формирование наночастиц железа или оксида железа при использовании экстракта зеленого чая в качестве восстановителя [13, 14, 15]. Для завершения реакции, а также для получения порошка, содержащего наночастицы железа, после инкубации раствор выпаривали при 105 °С в течение 6 часов.

Наночастицы были введены в готовый жидкофазный биопрепарат (ЖФБ) для усиления его полифункциональных свойств в дозе 10 мг порошка на 100 мл ЖФБ. Таким образом был сформирован и использован в исследованиях новый биопрепарат ЖФБ-Fe. В основе технологии получения ЖФБ лежит ферментационно-экстракционная технология преобразования органического сырья (навоз КРС) с включением стимуляторов различной природы. В зависимости от состава исходного сырья численность агрономически полезной микрофлоры ЖФБ варьируется от  $n \cdot 10^9$  до  $n \cdot 10^{12}$  КОЕ/мл, содержание  $P_2O_5$  – до 10,0,  $K_2O$  – до 9,5 г/л. В составе ЖФБ присутствуют другие макро- и микроэлементы, гумусовые кислоты, аминокислоты, сахара [16, 17].

Полученный биопрепарат ЖФБ-Fe, а также ЖФБ исследовали общепринятым микробиологическим методом предельных разведений, повторность опытов двукратная.

Полевые опыты по выращиванию картофеля сорта Скарб проводили на агрополигоне Губино Всероссийского НИИ мелиорированных земель (Тверская обл.) в 2020-2022 гг. Почва на опытных участках дерново-подзолистая легкосуглинистая, среднекислая ( $pH_{KCl}$  4,8-5,0), с содержанием гумуса 2,1-2,5 % (по Тюрину),  $P_2O_5$  – 176-190 мг/кг (по Кирсанову),  $K_2O$  – 234-247 мг/кг (по Кирсанову), легкогидролизуемого азота ( $N_{лг}$ ) – 35-38 мг/кг (по Тюрину и Кононовой). Технология возделывания картофеля, принятая для культуры. В качестве фона основного минерального удобрения вносили нитроаммофоску ( $N_{65}P_{65}K_{65}$ ).

Исследовали следующие технологические способы применения жидкофазных биопрепаратов ЖФБ-Fe, ЖФБ и раствора наночастиц железа (Fe НЧ): обработка клубней (ОК) картофеля перед посадкой; трехкратная некорневая обработка (НО) вегетирующих растений в фазы «всходы», «бутонизация» и «цветение»; совмещение указанных приемов. Важно отметить, что помимо технологических приемов использования биопрепарата ЖФБ-Fe, также было исследовано влияние его различных концентраций (от 0,5 до 2,0 %) на урожайность картофеля и биохимические свойства почвы. Обработку клубней проводили за 2 часа до посадки с помощью ручного опрыскивателя (норма расхода – 50 л/т клубней). Для некорневой обработки вегетирующих растений использовались те же концентрации биопрепарата, что и для обработки клубней, при этом норма расхода составила 1 л/га. Опыты заложены в четырехкратной повторности, расположение делянок систематизированное. Общая площадь делянки – 7 м<sup>2</sup>.

Для определения биохимических показателей<sup>3</sup> (каталазная и дегидрогеназная, протеазная, инвертазная и целлюлазная активности) трижды за сезон вегетации из прикорневого слоя был асептически выполнен отбор почвенных проб на анализ. Важно отметить, что отбор проб в фазу «всходы» картофеля проводили до первой некорневой обработки вегетирующих растений. Для получения более полного представления о процессах, происходящих в почве под влиянием используемых биопрепаратов,

<sup>2</sup>Картофель Скарб. ФГБУ «Госсорткомиссия»: официальный сайт. URL: <https://reestr.gossortrf.ru/sorts/9906380/>

<sup>3</sup>Методы почвенной микробиологии и биохимии: учебное пособие. Под ред. Д. Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.

был выполнен ряд агрохимических исследований: определено содержание гумуса (по Тюрину) и легкогидролизуемого азота (по Корнфилду).

После сбора урожая определяли биологическую урожайность картофеля и его структуру.

Погодные условия и водно-воздушный режим пахотного слоя почвы вегетационного периода (май-август) в годы исследований несколько различались. Вследствие частых дождей 2020 г. характеризовался избыточной влажностью (ГТК = 2,32), температура воздуха ниже климатической нормы. 2021 г. можно охарактеризовать как засушливый (ГТК = 0,96), температура воздуха несколько выше климатической нормы. Вегетационный период 2022 г. был слабозасушливым (ГТК = 1,28) с кратковременными дождями в конце мая, температура воздуха за весь вегетационный период отмечена выше климатической нормы.

Результаты исследований обрабатывали методами дисперсионного и корреляционного

анализов с использованием программы Microsoft Office Excel 2007. Данные в таблицах представлены в виде среднеарифметического значения (объем выборки  $n = 4$ ). Статистическую значимость отличий анализировали с использованием  $t$ -критерия Стьюдента ( $p < 0,05$ ). Статистическую достоверность различий урожайности и элементов структуры урожая картофеля оценивали путем проведения однофакторного дисперсионного анализа с вычислением НСР при 5%-ном уровне значимости,  $n = 12$ .

**Результаты и обсуждение.** Результаты микробиологического анализа биопрепаратов ЖФБ и ЖФБ-Fe показали, что при добавлении железа количество азоттрансформирующих микроорганизмов снижалось с  $25 \cdot 10^{11}$  КОЕ/мл до  $20 \cdot 10^{11}$  КОЕ/мл. При этом pH обоих препаратов остается на уровне 8,5-8,6. Однако сокращение количества полезных микроорганизмов в биопрепарате ЖФБ-Fe не привело к снижению продуктивности картофеля (табл. 1).

**Таблица 1 – Влияние биопрепаратов на продуктивность картофеля сорта Скарб / Table 1 – Influence of biological preparations on the productivity of potato variety Skarb**

Вариант опыта / Variant of the experiment	Продуктивность картофеля, г/куст / Productivity of potato, g/bush			
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	среднее / average
НПК (фон) – контроль / NPK (background) – control	621,2	572,6	523,0	572,3
Обработка клубней картофеля / Tuber treatment				
Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB	673,4	605,6	554,3	611,1
Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe	730,2	657,3	584,3	657,3
Фон + 0,5% ЖФБ-Fe / Background + 0.5% LPB-Fe	-	643,1	-	643,1
Фон + 2% ЖФБ-Fe / Background + 2% LPB-Fe	-	601,9	-	601,9
Фон + 1% Fe НЧ / Background + 1% Fe NP	-	-	536,8	536,8
Некорневая обработка растений / Foliar treatment				
Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB	655,5	651,1	578,5	628,4
Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe.	686,3	717,3	603,7	669,1
Фон + 0,5% ЖФБ-Fe / Background + 0.5% LPB-Fe	-	647,9	-	647,9
Фон + 2% ЖФБ-Fe / Background + 2% LPB	-	582,6	-	582,6
Фон + 1% Fe НЧ / Background + 1% Fe NP FT	-	-	550,6	550,6
Обработка клубней картофеля + некорневая обработка растений / Tuber treatment + foliar treatment				
Фон + 1% ЖФБ + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB + 1% LPB	660,4	-	-	660,4
Фон + 1% ЖФБ-Fe + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe + 1% LPB-Fe	541,3	-	-	541,3
НСР <sub>05</sub> (A) / LSD <sub>05</sub> (A)	16,1	13,0	13,9	14,3
НСР <sub>05</sub> (B) / LSD <sub>05</sub> (B)	16,1	14,7	19,7	16,8
НСР <sub>05</sub> / LSD <sub>05</sub>	27,9	37,0	27,8	30,9

Примечания: ЖФБ – исходный жидкофазный биопрепарат; ЖФБ-Fe – жидкофазный биопрепарат с наночастицами железа; Fe НЧ – раствор наночастиц железа; «-» – такого варианта не было, фактор А – биопрепарат, фактор В – технологический прием /

Notes: LPB – original liquid-phase biological product; LPB-Fe – is a liquid-phase biological product with iron nanoparticles; Fe NP – solution of iron nanoparticles, «-» – there was no such option, factor A – biological product, factor B – technological method

В первый год исследования все препараты применяли в единой концентрации и дозе, рекомендованной для препарата ЖФБ, при этом регулировались технологические приемы: обработка клубней, опрыскивание по листу и совмещение двух этих приемов. Последний прием показал значительное ингибирующее действие на развитие картофеля и его продуктивность снизилась на 14,8 % по сравнению с контролем. В аналогичном варианте с применением исходного ЖФБ ингибирования роста растений не отмечали, поэтому в дальнейшем данный прием исключили из схемы опыта. В 2021 г. диапазон исследуемых концентраций препарата ЖФБ-Fe был расширен как для обработки клубней, так и для некорневой обработки. Увеличение концентрации биопрепарата до 2 % способствовало росту продуктивности растений всего на 5,1 % (к контрольному варианту) при обработке клубней и на 1,7 % при некорневой обработке растений. Вероятно, такое количество железа является избыточным для картофеля, что приводит к нарушению определяющих метаболических и физиологических процессов растений, а, следовательно, и к снижению величины прибавки урожая.

Наибольшая урожайность за три года исследования была получена от применения 1%-го ЖФБ-Fe: при обработке клубней прирост продуктивности относительно контрольного варианта составил 14,9 %, при некорневой обработке растений – 16,9 %. Обработка клубней 1%-ным ЖФБ привела к увеличению продуктивности на 6,8 %, а опрыскивание растений картофеля – на 9,8 % в среднем за три года. Важно отметить, что прирост продуктивности картофеля в варианте с использованием 1%-го ЖФБ-Fe сформировался за счет увеличения количества товарных клубней с 1 куста (6 в контрольном варианте, 7-8 – в опытном), тогда как средняя масса клубней за три года исследований была практически одинаковой (масса средних клубней составила 65-70 г, крупных – 130-140 г). Увеличение продуктивности в вариантах с применением биопрепарата ЖФБ-Fe, вероятно, связано с тем, что железо в наноформе, полученное в результате биосинтеза, способно быстрее проникать в растительный организм и участвовать во многих фундаментальных физиологических процессах растений, таких как биосинтез хлорофилла, дыхание и окислительно-восстановительные реакции. Разницу в продуктивности картофеля при использовании различных приемов можно

объяснить тем, что при обработке клубней наночастицы железа, попадая в почву, частично переходят в форму, менее доступную для растений, следовательно, некорневая обработка вегетирующих растений является предпочтительным приемом использования биопрепарата ЖФБ-Fe.

В 2022 г. для выявления синергетического воздействия разработанного препарата ЖФБ-Fe в схему опыта включили обработку клубней и вегетирующих растений раствором синтезированных наночастиц железа (Fe НЧ). При использовании только наночастиц железа продуктивность увеличилась на 5,3 % при некорневой обработке растений и на 2,6 % при обработке клубней. Таким образом, при использовании ЖФБ-Fe наблюдается явное усиление (синергизм) от действия компонентов препарата на растения картофеля, выраженное в существенной прибавке продуктивности относительно контрольного варианта.

Одним из факторов повышения урожайности сельскохозяйственных культур является ферментативная активность почвы под ними. Ранее было показано, что обработка растений различными биосредствами, в том числе и ЖФБ, по листу способствует увеличению численности почвенных микроорганизмов, что связано как с непосредственным попаданием препаратов в почву во время обработки, так и с корневыми выделениями обработанных растений [18]. Следовательно, такая взаимосвязь может наблюдаться и для ферментов. Ниже представлены данные по влиянию используемых биопрепаратов на активность почвенных ферментов под картофелем: каталазы, дегидрогеназы, протеазы, инвертазы и целлюлазы. Эти ферменты были выбраны для анализа, так как именно их активность непосредственно связана с окислительно-восстановительными процессами в почве, а также с превращениями углерода и азота, что, в конечном итоге, влияет на урожайность сельскохозяйственных культур. В связи с этим, для каждого фермента был рассчитан коэффициент корреляции ( $r$ ) между активностью фермента и урожайностью.

Значения показателей каталазной активности почвы под картофелем при различных технологических приемах применения биопрепаратов ЖФБ и ЖФБ-Fe за три года исследований представлены в таблице 2. Как видно из полученных данных, биопрепарат ЖФБ-Fe не повлиял на активность каталазы в почве под картофелем. Возрастание активности фермента

на стадии «бутонизация-цветение» свидетельствует об интенсивной минерализации гумусовых веществ почвы для обеспечения элементами питания картофеля. Однако снижение активности каталазы на стадии «отмирание ботвы» говорит об обратном процессе формирования гумуса, что позволяет поддержать его баланс в почве. Расчет коэффициента корреляции показал, что при обработке клубней

картофеля в фазы «всходы» и «бутонизация-цветение» наблюдается сильная обратная зависимость между активностью каталазы и продуктивностью картофеля: чем выше активность каталазы на этих стадиях, тем ниже продуктивность картофеля. При некорневой обработке растений на стадии «всходы» также отмечена обратная корреляционная связь между активностью каталазы и продуктивностью картофеля.

**Таблица 2 – Влияние биопрепаратов на каталазную активность почвы под картофелем сорта Скарб, см<sup>3</sup>О<sub>2</sub>/1 г почвы/мин / Table 2 – The effect of biological products on the catalase activity of the soil under the potato variety Skarb, cm<sup>3</sup>O<sub>2</sub>/1 g soil/min**

Год / Year	Вариант опыта / Variant of the experiment	Фаза роста и развития картофеля / Phase of growth and development of potatoes		
		всходы / seedling	бутонизация-цветение / budding -flowering.	отмирание ботвы / haulm dying off
2020		0,13±0,04	0,13±0,04	0,10±0,01
2021	NPK (фон) – контроль / NPK (background) – control	0,20±0,04	0,65±0,14	0,67±0,31
2022		0,25±0,17	0,61±0,15	0,32±0,03
Обработка клубней картофеля / Tuber treatment				
2020	Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB	0,12±0,01	0,13±0,01	0,11±0,02
	Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe	0,10±0,03	0,15±0,02	0,12±0,04
2021	Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB	0,16±0,04	0,76±0,04*	0,59±0,01
	Фон + 0,5% ЖФБ-Fe / Background + 0.5% LPB-Fe	0,13±0,04	0,67±0,03	0,64±0,22
	Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe	0,22±0,01	0,67±0,14	0,57±0,11
	Фон + 2% ЖФБ-Fe / Background + 2% LPB-Fe	0,18±0,07	0,63±0,07	0,53±0,01
2022	Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB	0,37±0,08	0,65±0,35	0,30±0,03
	Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe	0,41±0,20*	0,74±0,04*	0,38±0,11
	Фон + 1% Fe НЧ / Background + 1% Fe NP	0,55±0,07*	0,79±0,03*	0,28±0,01
<i>r</i>		-0,82	-0,78	-0,22
Некорневая обработка растений / Foliar treatment				
2020	Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB	0,05±0,03	0,13±0,04	0,10±0,03
	Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe	0,11±0,07	0,19±0,01	0,15±0,02
2021	Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB	0,20±0,11	0,73±0,17*	0,51±0,19
	Фон + 0,5% ЖФБ-Fe / Background + 0.5% LPB-Fe	0,14±0,02	0,63±0,001	0,49±0,22
	Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe	0,15±0,01	0,68±0,02	0,62±0,01
	Фон + 2% ЖФБ-Fe / Background + 2% LPB-Fe	0,05±0,04	0,67±0,02	0,44±0,34
2022	Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB	0,33±0,03	0,54±0,01	0,35±0,13
	Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe	0,35±0,02	0,65±0,001	0,34±0,03
	Фон + 1% Fe НЧ / Background + 1% Fe NP	0,34±0,08	0,57±0,03	0,44±0,04
<i>r</i>		-0,54	-0,25	0,01

Примечания: *r* – коэффициент корреляции между активностью каталазы почвы и продуктивностью картофеля / Notes: *r* – correlation coefficient between soil catalase activity and potato yield,

\* статистически достоверные результаты ( $p < 0,05$ ) / \* statistically significant results ( $p < 0.05$ )

В случае дегидрогеназной активности почвы (табл. 3) при применении биопрепаратов на стадии «бутонизация-цветение» наблюдалось либо повышение ее активности, либо снижение, в фазу «отмирание ботвы» активность

дегидрогеназы возрастала, за небольшим исключением, практически везде, что, учитывая антибатность этого фермента по отношению к каталазе, свидетельствовало о тенденции к гумусонакоплению.

**Таблица 3 – Влияние биопрепаратов на активность дегидрогеназы почвы под картофелем сорта Скарб, мг ТФФ/1 г/24 часа /**

**Table 3 – Influence of biological preparations on the activity of soil dehydrogenase under potato variety Skarb, mg TPP/1 g/24 hours**

Год / Year	Вариант опыта / Variant of the experiment	Фаза роста и развития картофеля / Phase of growth and development of potatoes		
		всходы / seedling	бутонизация-цветение / budding-flowering	отмирание ботвы / haulm dying off
2020	НРК (фон) – контроль / NPK (background) – control	2,41±0,30	3,25±0,71	1,95±0,42
2021		7,44±3,99	7,65±0,77	3,89±0,52
2022		3,33±0,51	3,32±0,65	3,82±0,17
Обработка клубней картофеля / Tuber treatment				
2020	Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB	2,03±0,66	5,42±0,22*	6,07±0,85*
	Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe	1,11±0,08	4,07±0,12	4,25±0,47*
2021	Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB	7,95±1,91	5,20±1,78	9,50±0,99*
	Фон + 0,5% ЖФБ-Fe / Background + 0.5% LPB-Fe	8,73±2,20*	7,78±2,90	4,57±1,21
	Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe	8,91±3,55*	4,80±2,52	7,12±0,11*
	Фон + 2% ЖФБ-Fe / Background + 2% LPB-Fe	6,57±0,08	3,42±0,20	6,99±1,98*
2022	Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB	6,23±1,02*	4,04±0,33	4,91±0,57*
	Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe	3,54±0,31	4,17±0,34	4,04±0,42
	Фон + 1% Fe НЧ / Background + 1% Fe NP	4,48±0,51	4,96±0,15*	3,14±0,56
<i>r</i>		-0,30	0,16	0,14
Некорневая обработка растений / Foliar treatment				
2020	Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB	1,11±0,08	4,07±0,28	6,84±0,74*
	Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe	1,27±0,37	6,84±1,41*	7,58±0,96*
2021	Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB	7,25±0,16	5,48±1,80*	7,66±1,96*
	Фон + 0,5% ЖФБ-Fe / Background + 0.5% LPB-Fe	6,82±0,27	4,82±0,83	6,10±0,48*
	Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe	5,84±0,87	6,01±0,90	8,01±2,34*
	Фон + 2% ЖФБ-Fe / Background + 2% LPB-Fe	5,52±0,93	9,13±1,07*	4,89±1,98
2022	Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB	3,39±0,59	4,83±0,43	7,92±0,16*
	Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe	2,99±0,41	5,00±0,08	6,68±0,16*
	Фон + 1% Fe НЧ / Background + 1% Fe NP	4,02±0,07	4,96±0,57	6,27±1,29*
<i>r</i>		0,04	-0,02	0,52

Примечания: *r* – коэффициент корреляции между активностью дегидрогеназы почвы и урожайностью картофеля; \* статистически достоверные результаты ( $p < 0,05$ ) /

Notes: *r* is the correlation coefficient between soil dehydrogenase activity and potato yield; \* statistically significant results ( $p < 0.05$ )

В отличие от каталазы при обработке клубней картофеля биопрепаратом ЖФБ-Fe активность дегидрогеназы существенно изменялась, причем как в большую, так и в меньшую сторону. Так, в первый и третий годы исследований при обработке клубней картофеля ЖФБ-Fe активность дегидрогеназы на этапе всходов снизилась почти в 2 раза

по сравнению с вариантом ЖФБ. Тогда как в 2021 году при обработке клубней картофеля 0,5- и 1%-ными растворами ЖФБ-Fe активность дегидрогеназы повысилась на 0,78 и 0,96 мг ТФФ/г/24 ч соответственно, а при повышении концентрации этого биопрепарата до 2 %, наоборот, снизилась на 1,38 мг ТФФ/г/24 ч. При этом после первой (фаза «бутонизация-

цветение») некорневой обработки растений 2%-ным ЖФБ-Fe активность дегидрогеназы увеличилась в 1,7 раза, в других вариантах таких резких изменений не наблюдалось.

Наиболее выраженная прямая зависимость продуктивности от активности дегидрогеназы наблюдается при некорневой обработке растений в конце сезона вегетации (фаза «отмирание ботвы»), тогда как в остальных случаях существенных взаимосвязей не выявлено.

**Таблица 4 – Содержание гумуса и активность инвертазы почвы при применении биопрепаратов на картофеле сорта Скарб, мг глюкозы/1 г почвы/24 часа / Table 4 – The content of humus and the activity of soil invertase in the application of biopreparations on potato variety Skarb, mg glucose/1 g soil/24 hours**

Год / Year	Вариант опыта / Variant of the experiment	Фаза роста и развития картофеля / Phase of growth and development of potatoes			Содержание гумуса, % / Humus content, %
		всходы / seedling	бутонизация-цветение / budding-flowering	отмирание ботвы / haulm dying off	
2021	НРК (фон) – контроль /	0,34±0,18	0,62±0,09	0,26±0,07	2,5
2022	НРК (background) –control	0,57±0,11	0,65±0,09	0,66±0,03	2,6
Обработка клубней картофеля / Tuber treatment					
2021	Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB	0,46±0,08	0,69±0,30	0,18±0,03	2,1
	Фон + 0,5% ЖФБ-Fe / Background + 0.5% LPB-Fe	0,56±0,25*	0,58±0,08	0,19±0,007	2,8
	Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe	0,40±0,05	0,72±0,14	0,19±0,01	2,4
	Фон + 2% ЖФБ-Fe / Background + 2% LPB-Fe	0,21±0,07	0,61±0,03	0,17±0,01	2,1
2022	Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB	0,58±0,05	0,98±0,20*	0,72±0,09	2,3
	Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe	0,54±0,09	0,61±0,04	0,58±0,16	2,2
	Фон + 1% Fe НЧ / Background + 1% Fe NP	0,36±0,09	0,44±0,06	0,51±0,11	2,6
<i>r</i>		-0,01	0,00	-0,78	-
Некорневая обработка растений / Foliar treatment					
2021	Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB	0,26±0,09	0,56±0,03	0,20±0,06	2,3
	Фон + 0,5% ЖФБ-Fe / Background + 0.5% LPB-Fe	0,39±0,16	0,63±0,19	0,21±0,01	2,0
	Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe	0,39±0,16	0,92±0,11*	0,22±0,01	2,5
	Фон + 2% ЖФБ-Fe / Background + 2% LPB-Fe	0,26±0,20	0,79±0,13*	0,21±0,02	2,1
2022	Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB	0,55±0,05	0,79±0,26*	0,53±0,03	2,0
	Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe	0,53±0,07	0,87±0,25*	0,66±0,09	2,1
	Фон + 1% Fe НЧ / Background + 1% Fe NP	0,57±0,06	0,59±0,12	0,64±0,12	2,5
<i>r</i>		-0,45	-0,22	-0,65	-

Примечания: *r* – коэффициент корреляции между активностью инвертазы почвы и урожайностью картофеля; \* – статистически достоверные результаты ( $p < 0,05$ ) / Notes: *r* – is the correlation coefficient between soil invertase activity and potato yield, \* – statistically significant results ( $p < 0.05$ )

При варьировании концентрации ЖФБ-Fe уже на стадии всходов при использовании приема обработки клубней картофеля была обнаружена зависимость активности инвертазы от концентрации биопрепарата – чем выше концентрация, тем меньше активность фермента.

Результаты изучения активности инвертазы почвы в зависимости от технологического приема применения биопрепаратов на различных этапах вегетации растений картофеля представлены в таблице 4. При обработке вегетирующих растений во всех вариантах максимальные значения активности инвертазы наблюдаются в фазы «бутонизация-цветения», т. е. после первой некорневой обработки.

Важно отметить, что на этой стадии развития культуры активность инвертазы коррелировала с содержанием гумуса в почве: чем больше гумуса, тем выше активность инвертазы ( $r = 0,99$ ). В фазы «бутонизация-цветение» максимальные значения активности инвертазы



были получены при обработке клубней 1%-ным ЖФБ-Fe, тогда как при некорневой обработке растений картофеля наблюдалась противоположная зависимость активности инвертазы от концентрации биопрепарата по сравнению с обработкой клубней: с ростом концентрации препарата активность повышалась. При этом активность инвертазы коррелировала с содержанием гумуса почвы ( $r = 0,92$ ).

Помимо содержания гумуса активность инвертазы в большей или меньшей степени коррелировала с урожайностью картофеля. При

обработке клубней картофеля наблюдалась сильная обратная зависимость урожайности от активности инвертазы на стадии отмирания ботвы. В случае некорневой обработки растений зависимость урожайности от активности инвертазы также была отрицательной, причем максимальный коэффициент корреляции ( $-0,65$ ) отмечали в конце сезона. Таким образом, чем выше была активность инвертазы на стадии отмирания ботвы, тем ниже была урожайность картофеля.

Результаты исследования активности целлюлазы за два года даны в таблице 5.

Таблица 5 – Активность целлюлазы почвы при применении биопрепаратов на картофеле сорта Скарб, мг глюкозы/1 г почвы/ 24 часа /

Table 5 – Soil cellulase activity during the application of biopreparations on potatoes of the Skarb variety, mg glucose/1 g soil/24 hours

Год / Year	Вариант опыт / Variant of the experiment	Фаза роста и развития картофеля / Phase of growth and development of potatoes		
		всходы / seedling	бутионизация- цветение / budding-flowering.	отмирание ботвы / haulm dying off
2021	НРК (фон) – контроль /	0,023±0,004	0,021±0,001	0,011±0,004
2022	НРК (background) – control	0,019±0,003	0,016±0,003	0,011±0,001
Обработка клубней картофеля / Tuber treatment				
2021	Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB	0,026±0,001	0,025±0,005	0,015±0,009
	Фон + 0,5% ЖФБ-Fe / Background + 0.5% LPB-Fe	0,026±0,004	0,027±0,002	0,011±0,025
	Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe	0,021±0,001	0,018±0,003	0,015±0,001
	Фон + 2% ЖФБ-Fe / Background + 2% LPB-Fe	0,021±0,005	0,016±0,001	0,015±0,003
2022	Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB	0,013±0,002	0,014±0,001	0,010±0,001
	Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe	0,011±0,001	0,015±0,001	0,014±0,002
	Фон + 1% Fe НЧ / Background + 1% Fe NP	0,014±0,001	0,013±0,003	0,013±0,001
<i>r</i>		0,72	0,67	0,31
Некорневая обработка растений / Foliar treatment				
2021	Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB	0,026±0,003	0,024±0,012	0,015±0,001
	Фон + 0,5% ЖФБ-Fe / Background + 0.5% LPB-Fe	0,024±0,002	0,024±0,003	0,014±0,007
	Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe	0,026±0,002	0,015±0,003	0,014±0,002
	Фон + 2% ЖФБ-Fe / Background + 2% LPB-Fe	0,022±0,001	0,013±0,002	0,011±0,001
2022	Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB	0,010±0,001	0,016±0,003	0,012±0,001
	Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe	0,012±0,001	0,018±0,003	0,013±0,003
	Фон + 1% Fe НЧ / Background + 1% Fe NP	0,013±0,001	0,016±0,005	0,013±0,004
<i>r</i>		0,76	0,32	0,66

Примечание: *r* – коэффициент корреляции между активностью целлюлазы почвы и урожайностью картофеля /  
Note: *r* – is the correlation coefficient between soil cellulase activity and potato yield

Так, при варьировании концентрации биопрепарата ЖФБ-Fe (2021 г.) активность целлюлазы в фазу «всходы» практически не изменялась в зависимости от технологического приема и концентрации биопрепарата. В то же время после некорневой обработки растений картофеля 1%-ным и 2%-ным ЖФБ-Fe активность целлюлазы снизилась в 1,6 раза по

сравнению с ЖФБ. При обработке клубней картофеля в фазу «бутионизация-цветение» активность целлюлазы также заметно снижалась с увеличением концентрации биопрепарата. В фазу «отмирание ботвы», как и в случае с другими ферментами, наблюдали снижение активности целлюлазы по сравнению с предыдущей фазой, независимо от варианта использования

биопрепаратов, что связано с падением микробного пула, обусловленного завершением активного вегетационного процесса.

Дальнейшее исследование (2022 г.) показало, что на активность целлюлазы также не влияют ни обработка клубней картофеля, ни опрыскивание растений раствором, содержащим только наночастицы железа (Fe НЧ). При этом в последний год активность целлюлазы в целом была ниже, чем в предыдущий, что, вероятно, связано с изменением погодных условий.

В отличие от инвертазы в случае целлюлазы при обоих технологических приемах

применения биопрепаратов наблюдается прямая зависимость урожайности от активности этого фермента. При этом максимальные коэффициенты корреляции (0,72 и 0,76) были получены в фазу «всходы» растений картофеля.

В фазу «всходы» активность протеазы (табл. 6) во всех вариантах практически одинаковая и не зависела от технологического приема применения и концентрации биопрепаратов, тогда как наиболее выраженную зависимость активности протеазы от концентрации ЖФБ-Fe и способа его применения наблюдали в фазу «бутонизация-цветение».

**Таблица 6 – Содержание легкогидролизуемого азота и активность протеазы почвы при применении биопрепаратов на картофеле сорта Скарб, мг глицина/1 г почвы/2 часа / Table 6 – The content of readily hydrolysable nitrogen and the activity of soil protease in the application of biological preparations on potatoes of the Skarb variety, mg glycine/1 g soil/2 hours**

Год / Year	Вариант / Variant	Фаза роста и развития картофеля / Phase of growth and development of potatoes			Нг, мг/кг / Nch, mg/kg
		всходы / seedling	бутонизация-цветение / budding-flowering	отмирание ботвы / haulm dying off	
2021	НПК (фон) – контроль / NPK (background) - control	0,14±0,05	0,16±0,11	0,09±0,03	43
2022	НПК (фон) – контроль / NPK (background) - control	0,12±0,02	0,16±0,05	0,11±0,01	44
Обработка клубней картофеля / Tuber treatment					
2021	Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB	0,17±0,09	0,13±0,05	0,14±0,05	28
	Фон + 0,5% ЖФБ-Fe / Background + 0,5% LPB-Fe	0,14±0,03	0,07±0,03	0,08±0,02	22
	Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe	0,13±0,02	0,10±0,01	0,13±0,03	25
	Фон + 2% ЖФБ-Fe / Background + 2% LPB-Fe	0,17±0,02	0,11±0,01	0,10±0,04	32
2022	Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB	0,12±0,05	0,11±0,01	0,08±0,05	24
	Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe	0,15±0,01	0,11±0,01	0,02±0,001	23
	Фон + 1% Fe НЧ / Background + 1% Fe NP	0,12±0,01	0,24±0,05	0,15±0,01	26
<i>r</i> *		0,21	-0,70	0,04	-
Некорневая обработка растений / Foliar treatment					
2021	Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB	0,18±0,03	0,08±0,05	0,11±0,02	29
	Фон + 0,5% ЖФБ-Fe / Background + 0,5% LPB-Fe	0,16±0,05	0,19±0,06	0,11±0,01	37
	Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe	0,17±0,05	0,16±0,02	0,08±0,001	31
	Фон + 2% ЖФБ-Fe / Background + 2% LPB-Fe	0,16±0,05	0,12±0,02	0,06±0,05	29
2022	Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB	0,14±0,05	0,22±0,01	0,10±0,01	25
	Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe	0,21±0,05	0,13±0,06	0,04±0,01	24
	Фон + 1% Fe НЧ / Background + 1% Fe NP	0,12±0,01	0,12±0,02	0,12±0,01	25
<i>r</i>		0,44	0,04	-0,05	-

\**r* – коэффициент корреляции между активностью протеазы почвы и урожайностью картофеля / *r* – is the correlation coefficient between soil protease activity and potato yield

При некорневой обработке растений значения активности протеазы были существенно выше по сравнению с вариантами, обработанными перед посадкой. Кроме того, при обработке клубней картофеля наблюдали прямую зависимость протеазы от концентрации ЖФБ-Fe (чем больше концентрация биопрепарата, тем выше активность), а при опрыскивании растений зависимость оказалась обратной. В фазу «бутонизация-цветение» также была выявлена корреляционная связь между содержанием легкогидролизуемого азота (N<sub>лг</sub>) и активностью протеазы как в случае вариантов некорневой обработки растений, так и при обработке клубней ( $r = 0,89$  в обоих технологических приемах). При обработке клубней картофеля на стадии «бутонизация-цветение» наблюдалась сильная обратная корреляция между активностью протеазы и урожайностью картофеля ( $r = -0,70$ ).

**Заключение.** Установлено, что по годам исследований обработка клубней картофеля сорта Скарб перед посадкой 1%-ным раствором биопрепарата ЖФБ-Fe способствовала увеличению продуктивности картофеля на 12-17 % по сравнению с контролем (фон NPK) и на 5-8 % по сравнению с вариантом ЖФБ, а опрыскивание вегетирующих растений в той же концентрации – на 10-25 % и на 4-10 % по сравнению с фоном и ЖФБ соответственно.

Применение ЖФБ по сравнению с контролем позволило увеличить урожайность картофеля на 5-14 % при опрыскивании растений и 5-8 % при обработке клубней. Следовательно, добавление наночастиц железа в биопрепарат ЖФБ усиливает его положительное влияние на урожайность картофеля.

При изучении активности ряда почвенных ферментов (каталазы, дегидрогеназы, инвертазы, протеазы и целлюлазы), отвечающих за окислительно-восстановительные процессы в почве, а также за превращения азота и углерода и накопление питательных веществ, на различных этапах вегетации растений картофеля отмечалась более высокая их активность в вариантах с использованием ЖФБ-Fe и ЖФБ как при применении данных биопрепаратов для обработки клубней картофеля перед посадкой, так и при опрыскивании вегетирующих растений. Кроме того, на различных этапах вегетации картофеля выявлены умеренно сильные и сильные корреляционные связи между активностью данных ферментов и его урожайностью. Следовательно, изменение активности ферментов дерново-подзолистой почвы при обработке растений биопрепаратами приводит к изменению почвенного плодородия, а также способствует либо снижению, либо повышению урожайности картофеля.

#### *Список литературы*

1. Щеголихина Т. А. Роль минеральных удобрений при возделывании картофеля. Научное обеспечение устойчивого развития агропромышленного комплекса: сб. мат-лов Междунар. научн.-практ. конф., посвящ. памяти акад. РАН В. П. Зволинского и 30-летию создания ФГБНУ «ПАФНЦ РАН». Солонное Займище: Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН, 2021. С. 469-471.
2. Сатункин И. В. Влияние расчётных норм удобрений и схемы посадки на качество клубней картофеля при орошении. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018;(3(71)):87-89. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35173235> EDN: USULXC
3. Теучеж А. А. Плюсы и минусы применения минеральных удобрений. Экологический Вестник Северного Кавказа. 2021;17(1):38-43. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45602226> EDN: PXROOR
4. Курсакова В. С., Хижникова Т. Г., Зиновьева В. А. Развитие растений яровой пшеницы при использовании биопрепаратов на фоне минеральных удобрений. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2019;(3(173)):12-18. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39413039> EDN: FIXKDZ
5. Засорина Э. В., Веретенников Е. С. Применение комплекса «удобрения+биопрепараты+орошение» в картофелеводстве. Eurasia: Economics & Business. 2017;4(4):3-6. DOI: <https://doi.org/10.18551/econeurasia.2017-04>
6. Уромова И. П., Султанова Л. Р., Дедюра И. С. Биопрепараты как фактор повышения урожайности и качества картофеля. Успехи современного естествознания. 2016;(12):117-121. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27679376> EDN: XHSKFF
7. Николаева Ф. В., Лукина Ф. А. Использование биологических препаратов при возделывании картофеля в Якутии. Аграрная наука. 2020;(7-8):124-126. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-340-7-124-126> EDN: CVCZGY
8. Ручкин С. В., Иванищев В. В. Влияние присутствия сульфата железа в среде на формирование проростков пшеницы. Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. 2019;(2):31-39. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38228794> EDN: EPYERG
9. Sekhon B. S. Nanotechnology in agri-food production: an overview. Nanotechnology. Science and Applications. 2014;7:31-53. DOI: <https://doi.org/10.2147/NSA.S39406>

10. Пироговская Г. В., Милоста Ю. Г. Влияние комплексных удобрений с добавками железосодержащих соединений на поступление железа в почву и растения льна масличного, урожайность и качество семян. Почвоведение и агрохимия. 2020;(1(64)):190-204.

Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43079648> EDN: CIZSFI

11. Yoon H., Kang Y.-G., Chang Y.-S., Kim J.-H. Effects of zerovalent iron nanoparticles on photosynthesis and biochemical adaptation of soil-grown *Arabidopsis thaliana*. Nanomaterials. 2019;9(11):1543.

DOI: <https://doi.org/10.3390/nano9111543>

12. Kuang Y., Wang Q., Chen Z., Megharaj M., Naidu R. Heterogeneous Fenton-like oxidation of monochlorobenzene using green synthesis of iron nanoparticles. Journal of Colloid and Interface Science. 2013;410:67-73.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2013.08.020>

13. Anu Y., Vijay M. D. *Camellia sinensis* mediated synthesis of iron nanoparticles and its encapsulation for decolorization of dyes. BioChemistry: An Indian Journal. 2016;10(1):20-29. URL: <https://www.tsijournals.com/articles/camellia-sinensis-mediated-synthesis-of-iron-nanoparticles-and-its-encapsulation-for-decolorization-of-dyes.pdf>

14. Asghar M. A., Zahir E., Shahid S. M., Khan M. N., Asghar M. A., Iqbal J., Walker G. Iron, copper and silver nanoparticles: Green synthesis using green and black tea leaves extracts and evaluation of antibacterial, antifungal and aflatoxin B1 adsorption activity. LWT - Food Science and Technology. 2018;90:98-107.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.12.009>

15. Xiao C., Li H., Zhao Y., Zhang X., Wang X. Green synthesis of iron nanoparticle by tea extract (polyphenols) and its selective removal of cationic dyes. Journal of Environmental Management. 2020;275:111262. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111262>

16. Рабинович Г. Ю., Фомичева Н. В., Смирнова Ю. Д. Способ получения жидкофазного биосредства для растениеводства и земледелия: пат. № 2365568 Российская Федерация. № 2008112832/12: заяв. 02.04.2008; опубл. 27.08.2009. Бюл. №24. 3 с. Режим доступа: <http://www.freepatent.ru/patents/2365568>

17. Рабинович Г. Ю., Смирнова Ю. Д., Васильева Е. А., Фомичева Н. В. Инновационная технология для решения проблем агроэкологии. Региональная экология. 2015;(6(41)):32-40.

Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25127100> EDN: VDWGRF

18. Фомичева Н. В., Рабинович Г. Ю., Смирнова Ю. Д. Влияние некорневых обработок вегетирующих растений на микрофлору почвы. Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2018;(6):19-23.

DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2018/6/19-23> EDN: VNBVDI

### References

1. Shchegolikhina T. A. The role of mineral fertilizers in the cultivation of potatoes. Scientific support for the sustainable development of the agro-industrial complex: Collection of works of the International. scientific-practical conf., dedicated to the memory of acad. RAS V.P. Zvolinsky and the 30th anniversary of the creation of the Federal State Budget Scientific Institution "PAFSC RAS". Solenoe Zaymishche: *Prikaspiyskiy agrarnyy federal'nyy nauchnyy tsentr RAN*, 2021. pp. 469-471.

2. Satunkin I. V. Influence of calculated rates of fertilizers and planting scheme on the quality of potato tubers in irrigation. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2018;(3(71)):87-89. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35173235>

3. Teuchezh A. A. Advantages and disadvantages of the application mineral fertilizer. *Ekologicheskiy Vestnik Severnogo Kavkaza* = *The North Caucasus Ecological Herald*. 2021;17(1):38-43. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45602226>

4. Kursakova V. S., Khizhnikova T. G., Zinovyeva V. A. The development of spring wheat plants with the use of biological products against the background of mineral fertilizers. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2019;(3(173)):12-18. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39413039>

5. Zazorina E. V., Veretennikov E. S. The application of the "fertilizer+biopreparation+irrigation" complex in potato growing. *Eurasia: Economics & Business*. 2017;4(4):3-6. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18551/econeurasia.2017-04>

6. Uromova I. P., Sultanova L. R., Dedyura I. S. Biological products as increase factor productivity and quality of potatoes. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2016;(12):117-121. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27679376>

7. Nikolaeva F. V., Lukina F. A. Aspects of using interspecific hybridization of goats. *Agrarnaya nauka* = *Agrarian science*. 2020;(7-8):124-126. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-340-7-124-126>

8. Ruchkin S. V., Ivanishchev V. V. Effect of the presence of ferrous sulfate on the formation of wheat seedlings. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye nauki*. 2019;(2):31-39. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38228794>

9. Sekhon B. S. Nanotechnology in agri-food production: an overview. *Nanotechnology. Science and Applications*. 2014;7:31-53. DOI: <https://doi.org/10.2147/NSA.S39406>

10. Pirogovskaya G. V., Milosta Yu. G. The effect of complex fertilizers with the addition of iron-containing compounds on the intake of iron in the soil and oil flax plants. *Pochvovedenie i agrokhimiya*. 2020;(1(64)):190-204. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43079648>
11. Yoon H., Kang Y.-G., Chang Y.-S., Kim J.-H. Effects of zerovalent iron nanoparticles on photosynthesis and biochemical adaptation of soil-grown *Arabidopsis thaliana*. *Nanomaterials*. 2019;9(11):1543. DOI: <https://doi.org/10.3390/nano9111543>
12. Kuang Y., Wang Q., Chen Z., Megharaj M., Naidu R. Heterogeneous Fenton-like oxidation of monochlorobenzene using green synthesis of iron nanoparticles. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2013;410:67-73. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2013.08.020>
13. Anu Y., Vijay M. D. *Camellia sinensis* mediated synthesis of iron nanoparticles and its encapsulation for decolorization of dyes. *BioChemistry: An Indian Journal*. 2016;10(1):20-29. URL: <https://www.tsijournals.com/articles/camellia-sinensis-mediated-synthesis-of-iron-nanoparticles-and-its-encapsulation-for-decolorization-of-dyes.pdf>
14. Asghar M. A., Zahir E., Shahid S. M., Khan M. N., Asghar M. A., Iqbal J., Walker G. Iron, copper and silver nanoparticles: Green synthesis using green and black tea leaves extracts and evaluation of antibacterial, antifungal and aflatoxin B1 adsorption activity. *LWT - Food Science and Technology*. 2018;90:98-107. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.12.009>
15. Xiao C., Li H., Zhao Y., Zhang X., Wang X. Green synthesis of iron nanoparticle by tea extract (polyphenols) and its selective removal of cationic dyes. *Journal of Environmental Management*. 2020;275:111262. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111262>
16. Rabinovich G. Yu., Fomicheva N. V., Smirnova Yu. D. Method for obtaining a liquid-phase biological product for plant growing and agriculture. Patent RF no. 2365568. 2009. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2365568>
17. Rabinovich G. Yu., Smirnova Yu. D., Vasilieva E. A., Fomicheva N. V. An innovative technology to solve the problems of agroecology. *Regional'naya ekologiya = Regional Ecology*. 2015;(6(41)):32-40. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25127100>
18. Fomicheva N. V., Rabinovich G. Yu., Smirnova Yu. D. Effect of foliar treatment of vegetative plants on soil microbial flora. *Vestnik Rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki = Vestnik of the Russian agricultural science*. 2018;(6):19-23. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2018/6/19-23>

#### **Сведения об авторах**

✉ **Любимова Надежда Андреевна**, кандидат хим. наук, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт имени В. В. Докучаева», д. 27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: [2016vniimz-noo@list.ru](mailto:2016vniimz-noo@list.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5831-5000>, e-mail: [n.nemygina@gmail.com](mailto:n.nemygina@gmail.com)

**Рабинович Галина Юрьевна**, доктор биол. наук, профессор, заведующий отделом биотехнологий, Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт имени В. В. Докучаева», д. 27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: [2016vniimz-noo@list.ru](mailto:2016vniimz-noo@list.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5060-6241>

#### **Information about the authors**

✉ **Nadezhda A. Lyubimova**, PhD in Chemical Science, researcher, All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, 27, Emmauss village, Kalininsky district, Tver region, Russian Federation, 170530, e-mail: [2016vniimz-noo@list.ru](mailto:2016vniimz-noo@list.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5831-5000>, e-mail: [n.nemygina@gmail.com](mailto:n.nemygina@gmail.com)

**Galina Yu. Rabinovich**, DSc in Biological Science, professor, Head of the Biotechnology Department, All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, 27, Emmauss village, Kalininsky district, Tver region, Russian Federation, 170530, e-mail: [2016vniimz-noo@list.ru](mailto:2016vniimz-noo@list.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5060-6241>

✉ – Для контактов / Corresponding author