

ЭКОЛОГО-МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Н.В. Безлер, доктор сельскохозяйственных наук
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
сахарной свеклы и сахара имени А.Л. Мазлумова»
e-mail: bezler@list.ru

***Аннотация.** В начале 1990-х годов начала свою работу лаборатория эколога-микробиологических исследований почвы Всероссийского НИИ сахарной свеклы и сахара. За период деятельности лаборатории был разработан «Банк данных микробного сообщества чернозема выщелоченного в агрофитосистеме зерносвекловичного севооборота», создана «Биологическая коллекция эффективных и фитопатогенных микроорганизмов ЦЧР», получен патент на целлюлозолитический микромицет *Niticola fuscoatra* ВНИИСС 016 (патент № 2675311), заложен многолетний опыт, который включен в реестр Географической сети опытов под № 168 в 2018 г.*

***Ключевые слова:** Банк данных, микробное сообщество, эффективные микроорганизмы, diaзотрофы, целлюлозолитический микромицет.*

В начале 1990-х годов в технологическом центре ВНИИСС открыли новое направление изысканий — эколога-микробиологические исследования почвы. По мере накопления знаний о влиянии удобрений, обработки почвы, пестицидов, стимуляторов почвенной микрофлоры, биопрепаратов, погодных условий был создан «Банк данных микробного сообщества чернозема выщелоченного в агрофитосистеме зерносвекловичного севооборота». Он включает в себя показатели сезонной и годовой динамики численности главных таксономических (бактерии, микромицеты, актиномицеты), физиологических (аммонификаторы, иммобилизаторы азота, спорообразующие аэробные бактерии, diaзотрофы, фосфобактерии, целлюлозолитики, деструкторы гумуса), эколога-трофических (олиготрофы, копиотрофы) групп микроорганизмов и составлен для чернозема выщелоченного в изменяющихся экологических и агротехнических условиях в фитосистеме зернопаропропашного севооборота [1, 2]. С его помощью установлены оптимумы численности и соотношений перечисленных основных групп микроорганизмов.

Банк данных позволяет составлять прогнозы по развитию процессов, формирующих потенциальное и эффективное плодородие, по фитосанитарному состоянию почвы. На основе этого документа можно



Зав. лаборатории экологамикробиологических исследований почвы Н.В. Безлер

утвердить стандарты биодинамики почв и почвенно-экологического мониторинга для ЦЧР и разработать методы контроля развития эпифитотий.

Благодаря имеющимся данным была выявлена степень ингибирования развития diaзотрофов и других микроорганизмов, принимающих участие в малом круговороте азота, под воздействием гербицидов, спосов основной обработки почвы, удобрений, биопрепаратов и стресса в условиях засухи 2009–2011 гг. (от 30 до 400 %).



Используя банк данных, можно решить задачу по снижению дозы азотных удобрений и сокращению расходов при возделывании зерновых культур и сахарной свеклы, усовершенствовать методику оценки состояния микробного сообщества почвы в изменяющихся экологических и антропогенных условиях по отклонению от оптимума. Успешные результаты наблюдений ученых лаборатории были представлены на VI Съезде общества почвоведов имени Докучаева в Петрозаводске в августе 2012 года [1, 3].

На современном этапе развития сельского хозяйства наиболее актуальны направления, связанные с разработкой экологически безопасных биологических методов борьбы с заболеваниями и вредителями растений, формированием фонда доступных элементов питания, в том числе с помощью микробиологических препаратов на основе штаммов микроорганизмов-антагонистов почвенных патогенов, diaзотрофов и других групп.

Для каждой почвенно-климатической зоны характерны свои аборигенные штаммы, адаптированные к природным условиям места обитания. Выделенные из почвы, они могут быть использованы для производства биопрепаратов: биофунгицидов – бактерии рода *Bacillus*, проявляющие антагонистические свойства против микромицетов возбудителей заболеваний растений, diaзотрофов – представителей родов *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Azotobacter* и некоторых других, участвующих в формировании эффективного плодородия почвы (для обеспечения азотного питания сахарной свеклы). Бактерии рода *Azospirillum* известны как ризобактерии, стимулирующие рост и развитие растений. Они вступают в ассоциации с растениями и оказывают благотворное влияние на их рост и развитие, изменяя морфологию корней, увеличивая число и площадь боковых корней, поступление доступных для растений питательных веществ. Они выполняют функцию биоконтроля за счет снижения численности фитопатогенов [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10].

Таблица 1. Химические и физико-химические свойства почвы к 2021 г.

Вариант опыта	Гумус, %	рНводн.	Обменные катионы		
			H+	Ca ²⁺	Mg ²⁺
			смоль (экв)/100 г почвы		
Контроль	5,2±0,63	5,4±0,81	2,07±0,21	34,4±1,01	4,8±0,74
Солома	5,6±0,50	6,3±0,26	2,19±0,18	33,5±1,04	4,9±0,51
Солома + N	5,6±0,23	6,4±0,72	2,13±0,13	32,7±0,99	4,6±0,61
Солома + N + <i>H. fuscoatra</i> + ПК	5,9±0,17	6,3±0,41	2,15±0,15	32,9±1,01	4,6±0,42

Продолжение исследований позволило выявить и выделить в чистую культуру ряд эффективных микроорганизмов: diaзотрофов, как свободно живущих, так и входящих в ассоциации с корнями растений, фосфобактерий и др. Изучение их физиологических и биохимических свойств способствовало пополнению коллекции эффективных микроорганизмов для дальнейшего использования в виде препаратов при производстве сахарной свеклы и других культур агрофитоценоза.

Установлено, что взаимодействие бактерий родов *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Azospirillum* с сахарной свеклой зависит от генетических особенностей растений и физиологических характеристик штаммов микроорганизмов, что может отражать, прежде всего, возможную ассоциативность взаимодействия бактерий и гибридов [9].

В 2011 г. был заложен многолетний опыт по изучению трансформации соломы зерновых культур с целлюлозолитическим микромицетом, который включен в реестр Географической сети опытов под № 168 в 2018 г.

В результате многолетних наблюдений установлено, что использование при запашке соломы зерновых культур штамма *Humicola fuscoatra* ВНИИСС 016 способствовало накоплению гумуса и стабилизации химических и физико-химических свойств почвы (табл. 1).

Разложение целлюлозы представляет собой существенный интерес для изучения процессов почвообразования, при этом солома зерновых культур на 70 % состоит из целлюлозы. Главными ее разрушителями являются целлюлозолитические микроорганизмы. Их успешное развитие требует дополнительного внесения азота, то есть микробиологические процессы направлены на увеличение азотфиксирующей способности почв. Количество целлюлозолитических микроорганизмов в черноземе невелико. Внесенная солома совместно с *Humicola fuscoatra* и питательной добавкой способствовала повышению их численности в почве до 2,40 млн КОЕ в 1 г а.с.п., а вот чистая солома практически не повлияла на их развитие (рис. 1).

В формировании гумусного состояния почвы участвует зимогенная микрофлора, которая вырабатыва-



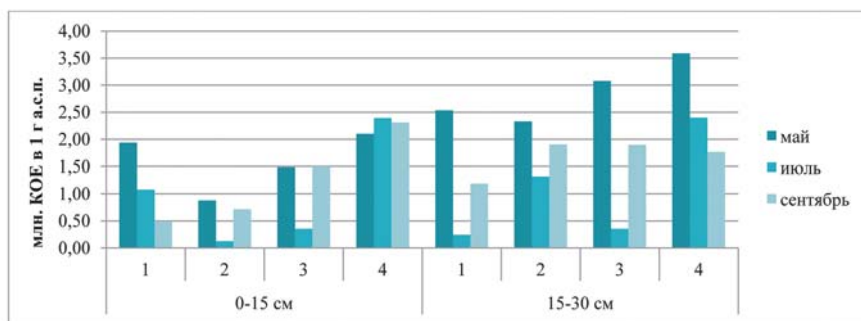


Рисунок 1. Динамика численности целлюлозолитических микроорганизмов в почве, млн КОЕ в 1 г а.с.п. к 2021 г.

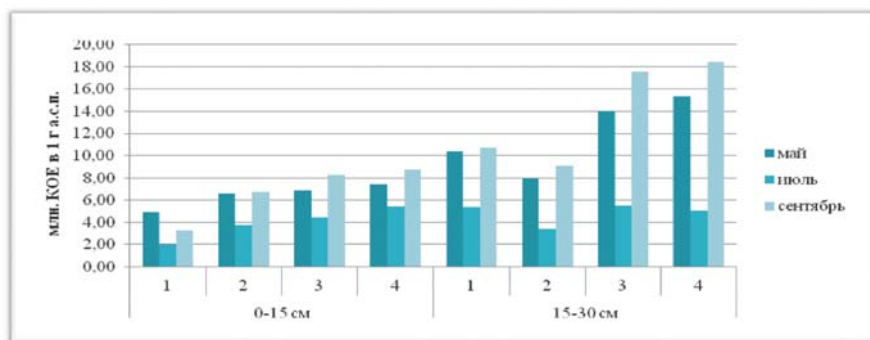


Рисунок 2. Динамика численности зимогенной микрофлоры в почве, млн КОЕ в 1 г а.с.п. к 2021 г.

1 – Контроль; 2 – Запашка соломы; 3 – Запашка соломы с азотом (40 кг д.в./га); 4 – Запашка соломы с азотом (40 кг д.в./га), ПК (патока) и *H. fuscoatra*.

ет продукты полураспада органических соединений и ферменты, катализирующие процесс синтеза гумусных молекул. Результаты исследований показали, что в течение всего вегетационного периода внесение с соломой и азота, и *Humicola fuscoatra* ВНИИСС 016 с дополнительными компонентами способствовало

росту численности зимогенной микрофлоры на 35 % (рис. 2).

Результаты исследований показали, что увеличение численности зимогенной микрофлоры происходило в основном в начале и в конце вегетационного периода. Это связано с тем, что в мае активизируются все микробиологические процессы в почве, а к сентябрю происходит накопление питательных веществ, которые также способствуют развитию микрофлоры. Новый прием ускорения трансформации целлюлозы, являющейся основным компонентом соломы, с помощью *Humicola fuscoatra* ВНИИСС 016, азота и ПК способствует развитию зимогенной микрофлоры и значительному усилению гумификационных процессов, что подтверждается увеличением содержания гумуса в почве (см. табл. 1).

В формировании азотного режима почвы участвуют микроорганизмы, фиксирующие азот (дiazотрофы). Их численность в мае в слое 0–15 см увеличивалась при запашке соломы с азотом (40 кг д.в./га), ПК и *H. fuscoatra* в 5,9 раза (в контроле 1,83 млн КОЕ в 1 г а.с.п.), в слое 15–30 см – в 8,8 раза (в контроле 0,61) (табл. 2).

В июле подобная закономерность сохранялась, но на более низком уровне. К сентябрю из-за недостатка влаги в последние годы, когда влажность почвы до сентября находилась на уровне завядания, численность всех микроорганизмов сокращалась, в том числе и diaзотрофов.

Благодаря росту численности микроорганизмов, фиксирующих азот атмосферы, накапливалась его щелочногидролизуемая форма. В мае в слое 0–15 см ее содержание составляло до 124,6 мг/100 г почвы (в контроле 95,2 мг), в сентябре – до 124,6 мг/100 г почвы (в контроле 102,2 мг).

Фосфобактерии трансформируют ортофосфорной кислоты, способствуя оптимизации фосфорного питания растений. Запашка соломы способствовала росту численности этой группы микроорганизмов в пахотном горизонте. Причем в большей степени на глубине 15–30 см. Это связано, прежде всего, с недостаточным приходом влаги и иссушением верхней части пахотного горизонта в последние годы (рис. 3).

Использование азота, ПК и *H. fuscoatra* при запашке соломы повышало числен-

Таблица 2. Численность diaзотрофов в почве, млн КОЕ в 1 г а.с.п. к 2021 г.

Вариант	Толщина слоя, см	Май	Июль	Сентябрь
Контроль;	0–15	1,83	3,36	0,11
Запашка соломы	–	0,61	2,76	0,11
Запашка соломы с азотом (40 кг д.в./га)	–	1,77	3,89	0,00
Запашка соломы с азотом (40 кг д.в./га), ПК и <i>H. fuscoatra</i>	–	10,88	5,21	0,21
Контроль	15-30	0,61	1,17	0,11
Запашка соломы	–	1,77	5,22	0,00
Запашка соломы с азотом (40 кг д.в./га)	–	3,36	1,78	0,68
Запашка соломы с азотом (40 кг д.в./га), ПК и <i>H. fuscoatra</i>	–	5,64	4,78	0,11

ность фосфобактерий в слое 0–15 см в 2,8 раза (в контроле 0,33 млн КОЕ в 1 г а.с.п.), в слое 15–30 см – в 2,4 раза (в контроле – 0,69).

Увеличение численности фосфобактерий способствует оптимизации фосфорного питания растений.

Запашка соломы с азотом (40 кг д.в./га), ПК и целлюлозолитическим микромицетом *H. fuscoatra* ВНИИСС 016 активизировала микробное сообщество почвы и способствовала повышению потенциального плодородия и оптимизации минерального питания сахарной свеклы. В результате ее продуктивность повысилась.

Уже в начале вегетации использование *H. fuscoatra* с дополнительными компонентами способствовало увеличению массы 100 растений на 27,5 г (в контроле 35,3), тогда как при запашке только соломы масса 100 растений увеличилась на 5,1 г, а соломы с азотом – на 2,0 г (табл. 3).

За годы исследований в зависимости от уровня влагообеспеченности без внесения удобрений (контроль) урожайность корнеплодов колебалась от 12,4 до 30,7 т/га. Запашка соломы повышала урожайность в среднем на 1,1–0,9 т/га. Внесение вместе с соломой минерального азота повышало урожайность корнеплодов в среднем на 27–30 %. Наибольший эффект достигнут при использовании целлюлозолитического микромицета *H. fuscoatra* с дополнительными компонентами, которые обеспечили повышение урожайности корнеплодов на 7,2 – 9,7 т/га по отношению к контролю, и на 1,7–3,4 т/га – к варианту с азотом. В годы с достаточным количеством осадков при ГТК $\geq 1,2$ эффективность целлюлозолитического микромицета была значительно выше [11, 12, 13].

В результате исследований разработаны параметры восстановления почвенного плодородия при трансформации соломы зерновых культур с целлюлолитическим микромицетом. Они определяются адаптивностью местного штамма к повышенным температурам и низкой влажности, что позволяет ему проявлять активность даже в условиях низких гидротермических коэффициентов.

На основании проведенных исследований можно сделать заключение о том, что выделение в чистую культуру аборигенных штаммов микроорганизмов и изучение их физиологических и биохимических свойств позволило пополнить коллекцию эффективных микроорганизмов для дальнейшего использования в виде препаратов в производстве сахарной свеклы и других культур агрофитоценоза.

В настоящее время в коллекции депонируются 17 штаммов целлюлозолитических микромицетов, в том числе *Humicola fuscoatra* ВНИИСС 016; 49 штаммов, относящихся к роду *Bacillus*,

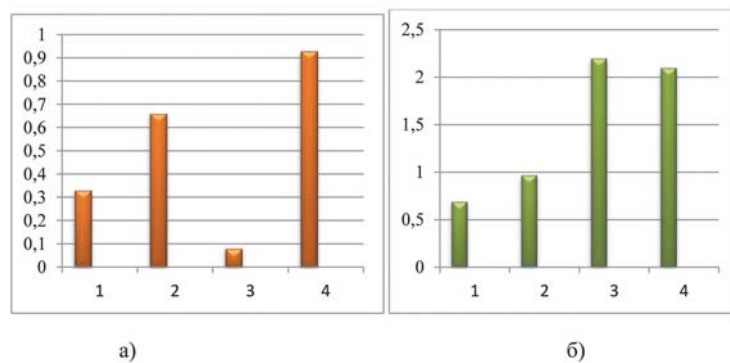


Рисунок 3. Численность фосфобактерий в почве в середине вегетационного периода, млн КОЕ 1 г а.с.п. к 2021 г.

Примечание: а) 0–15 см; б) 15–30 см. 1 – Контроль; 2 – Запашка соломы; 3 – Запашка соломы с азотом (40 кг д.в./га); 4 – Запашка соломы с азотом (40 кг д.в./га), ПК и *H. fuscoatra*.

в том числе 2 штамма *Bacillus mycoides*. В коллекции находятся 53 штамма *Pseudomonas* sp., в том числе 24 подтвержденные ПЦР-анализом, из них 4 штамма *Ps. Fluorescens*; 15 штаммов, относящихся к роду *Azospirillum* sp., 9 штаммов – *Azotobacter chroococcum*, 33 штамма фосфобактерий, из них 31 штамм трансформирующих фосфорорганические соединения и 2 штамма – фосфорнеорганические, 40 штаммов из класса актинобактерий.

Получены экспериментальные данные по взаимодействию ассоциативных микроорганизмов класса *Actinobacteria* и *Agrobacterium tumefaciens* с растениями сахарной свеклы разной плоидности. Выявлена степень чувствительности диплоидных, триплоидных гибридов и тетраплоидной линии к разным штаммам ассоциативных микроорганизмов.

Установлено, что действие бактериальных препаратов зависит не только от плоидности растений, но и от их индивидуальных особенностей. Также установлено, что внесение соломы зерновых культур с использованием дополнительных компонентов (*Humicola fuscoatra* и ПК + N) в почву зернопаропашного севооборота повышает активность микро-

Таблица 3. Продуктивность сахарной свеклы в среднем к 2021 г.

Вариант	Масса 100 растений, г	Урожайность, т/га	Сахаристость, %	Сбор сахара, т/га
Контроль;	35,3	21,5	18,2	3,91
Запашка соломы	40,4	21,9	18,3	4,01
Запашка соломы с азотом (40 кг д.в./га)	37,3	25,8	18,3	4,72
Запашка соломы с азотом (40 кг д.в./га) ПК и <i>H. fuscoatra</i>	62,8	27,9	18,6	5,19
HCP ₀₅		2,1	0,4	

биологических процессов, энергичнее развиваются азотфиксирующие организмы и фосфобактерии. В начале вегетационного периода происходит накопление минеральных форм азотных соединений, которые затем используются растениями сахарной свеклы и членами микробного сообщества почвы. Благодаря наличию необходимых макроэлементов, улучшаются питание растений и активизируются физиологические процессы в растениях сахарной свеклы. В результате повышается ее урожайность.

Список использованной литературы

1. Безлер, Н.В. Состояние микробного сообщества чернозема выщелоченного в экстремально засушливых условиях [Текст] / Н.В. Безлер, И.В. Черепухина // VI съезд общества почвоведов им. Докучаева / Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием. Книга 1. - Петрозаводск-Москва, 2012. - С. 84-85.
2. Боронтов, О.К. Влияние основной обработки почвы на микробиологическую активность, питательный режим чернозема выщелоченного и продуктивность сахарной свеклы в Центрально-Черноземном регионе / П.А. Косякин, Н.В. Безлер, Е.Н. Манаенкова // Земледелие. - 2022. - № 2. - С. 38-42.
3. Безлер, Н.В. Внесение в почву азотфиксирующей бактерии *Pseudomonas fluorescens* 116 и динамика доступных форм азота в посевах сахарной свеклы / Н.В. Безлер, М.Ю. Петюренко, А.С. Хуссейн // Плодородие. - 2016. - № 6. - С. 9 - 11.
4. Федорова, О.А. О возможности применения бактерий *Bacillus thuringiensis* для биологического контроля болезней и вредителей в агроценозе сахарной свеклы / О.А. Федорова, Н.В. Безлер // Сахарная свекла. - 2019. - № 7. - С. 29-31.
5. Федорова, О.А. Антифунгальный потенциал актиномицетов из ризосферы сахарной свеклы / О.А. Федорова, Н.В. Безлер // Сахарная свекла. - 2021. - № 4. - С. 29-32.
6. Петюренко, М.Ю. Влияние штамма *Pseudomonas fluorescens* 116 на микробное сообщество в системе почва - ризосфера - ризоплана в посевах сахарной свеклы / М.Ю. Петюренко, Н.В. Безлер // Сахарная свекла. - 2019. - № 4. - С. 22-26.
7. Петюренко, М.Ю. Ростстимулирующая активность штаммов рода *Pseudomonas*, выделенных из ризопланы и ризосферы сахарной свеклы / М.Ю. Петюренко, Н.В. Безлер // Сахар. - 2019. - № 11. - С. 28-31.
8. Налбандян, А.А. ПЦР - идентификация бактерий рода *Azospirillum* / А.А. Налбандян, Н.В. Безлер, М.А. Шульгина, Д.Н. Федорин // Сахар. - 2018. - № 8. - С. 36-37.
9. Безлер, Н.В. Взаимодействие бактерий рода *Pseudomonas sp.* с гибридами сахарной свеклы разной ploidy / Н.В. Безлер, О.А. Федорова, М.Ю. Петюренко, Н.П. Грибанова // Сахарная свекла. - 2020. - № 10. - С. 24-27.
10. Безлер, Н.В. Влияние фунгицида альто супер и штамма *Bacillus subtilis* 20 на численность бактериальных форм спорообразующих аэробных бактерий и микромицетов в филлоплане и урожайность сахарной свеклы / Н.В. Безлер, А.А. Сеницын, Б.Л. Агапов // Агрохимия. - 2012. - № 8. - С. 28-33.
11. Черепухина, И.В. Запашка соломы зерновых культур и восстановление плодородия выщелоченных черноземов в зернопаропропашном севообороте / И.В. Черепухина, М.В. Колесникова, Н.В. Безлер // Сахарная свекла. - 2015. - № 7. - С. 24-30.
12. Безлер, Н.В. Влияние длительного использования соломы зерновых культур и целлюлозолитического микромицета на микробное сообщество почвы и содержание обменных соединений цинка в черноземах выщелоченных / Н.В. Безлер, Т.А. Девятова, Н.С. Горбунова [и др.] // Агрохимический вестник. - 2022. - № 1. - С. 36-44.
13. Колесникова, М.В. Формирование плодородия чернозема выщелоченного при интродукции аборигенного штамма целлюлозолитического микромицета и дополнительных компонентов при запашке соломы озимой пшеницы / М.В. Колесникова, Н.В. Безлер, Б.Л. Агапов // Агрохимия. - 2014. - № 8. - С. 17-25.
14. Черепухина, И. В. Зависимость эффективности использования соломы зерновых культур с дополнительными компонентами от погодных условий года / Н. В. Безлер, М. В. Колесникова // Агрохимия. - 2019. - № 6. - С. 64-71.

Ecological and microbiological researches, results and prospects

N.V. Bezler

Summary. Since the beginning of 1990 in VNISS, a laboratory of environmental and microbiological soil studies was created. As a result of the work of the laboratory, the «Data bank of the microbial community of leached black-soil in the agrophytosystem of grain-beet crop rotation», a «Biological collection of effective and phytopathogenic microorganisms of Black-Earth region» were created, a patent for cellulolytic micromyces of *Humicola Fuscoatra* VNISS 016 (patent No. 2675311) was received, many years of experience have been laid down, which is included in the register of the geographical network of experiments under No. 168 in 2018.

Key words: data bank, microbial community, effective microorganisms, diazotrophs, cellulolytic micromyces.