

DOI 10.54596/2958-0048-2026-2-67-82

УДК 631.46:631.874

МРНТИ 68.05.45

## РОЛЬ СИДЕРАЛЬНЫХ СМЕСЕЙ И СПОСОБОВ ИХ ЗАДЕЛКИ В ФОРМИРОВАНИИ ПОЧВЕННОГО МИКРОБОЦЕНОЗА

Булгакова И.Н.<sup>1</sup>, Рукавицина И.В.<sup>1\*</sup>, Васильева В.А.<sup>1</sup>, Заболотских В.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ТОО «Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева»,  
п. Научный, Казахстан

\*Автор для корреспонденции: [irukavitsina@yandex.kz](mailto:irukavitsina@yandex.kz)

### Аннотация

Сидеральные культуры и их смеси являются важным элементом ресурсосберегающих технологий земледелия, направленных на повышение плодородия почв и улучшение их биологического состояния. Цель исследования – оценка влияния бобово-злаковых, бобово-масличных и злаково-масличных сидеральных смесей при разных способах их заделки, в сравнение с традиционным и химическим паром на плодородие почвы и её здоровье. Для оценки биологического состояния почвы использовали показатели почвенного микробоценоза (видовой и численный состав различных эколого-трофических групп микроорганизмов). В статье представлены результаты оценки микробного сообщества в системе паровых полей при использовании различных сидеральных смесей (горох+овес, овес+горчица, горох+горчица) и способов их заделки за 2024–2025 гг. Установлено, что повышенная активность почвенных бактерий отмечалась в 2024 году в почве под посевами сидеральных смесей горох+овес и горох+горчица. В 2025 году выявлено снижение численности аммонифицирующих и азот-ассимилирующих микроорганизмов при одновременном увеличении доли грибной микрофлоры на отдельных вариантах. Более стабильные показатели микробиоты почвы отмечены на варианте с подкашиванием+щелевание горохо-овсяной смеси. Показано, что применение сидеральных смесей способствует стабилизации микробиологического состояния почвы и оптимизации процессов трансформации азота в условиях межгодовой изменчивости климатических факторов (атмосферные осадки и температура). Проведен сравнительный анализ воздействия сидеральных смесей различного ботанического состава и паровых предшественников на биологическую активность почвы и процессы разложения органического вещества. Применение сидеральных смесей оказывает положительное влияние на формирование почвенного микробного сообщества по сравнению с чистым и химическим паром, что свидетельствует о потенциале данного агротехнического приема в улучшении биологического состояния почвы. Полученные результаты расширяют представления о роли сидеральных смесей в регулировании почвенных биологических процессов и могут быть использованы при разработке адаптивных систем земледелия (почвозащитной, ресурсосберегающей и биологизированной).

**Ключевые слова:** сидеральные смеси, способы заделки, чистый пар, химический пар, почвенный микробоценоз, плодородие почвы.

## ТОПЫРАҚ МИКРОБОЦЕНОЗЫНЫҢ ҚАЛЫПТАСУЫНДАҒЫ СИДЕРАЛДЫҚ ҚОСПАЛАРДЫҢ РӨЛІ ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ЕНГІЗУ ӘДІСТЕРІНІҢ ӘСЕРІ

Булгакова И.Н.<sup>1</sup>, Рукавицина И.В.<sup>1\*</sup>, Васильева В.А.<sup>1</sup>, Заболотских В.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> «А.И. Бараев атындағы АШФӨӨ» ЖШС, Научный, Қазақстан

\*Хат-хабар үшін автор: [irukavitsina@yahdex.kz](mailto:irukavitsina@yahdex.kz)

### Аңдатпа

Сидералды дақылдар және олардың қоспалары топырақ құнарлылығын арттыруға және олардың биологиялық жағдайын жақсартуға бағытталған ресурстарды үнемдейтін ауылшаруашылық технологияларының маңызды элементі болып табылады. Зерттеудің мақсаты – дәстүрлі және химиялық сүрі жермен салыстырғанда, бұршақ-дәнді, бұршақ-майлы және дәнді-майлы сидералды қоспалардың

оларды топыраққа әртүрлі тәсілдермен енгізу жағдайындағы топырақ құнарлылығы мен оның саулығына әсерін бағалау.

Топырақтың биологиялық жағдайын бағалау үшін топырақ микробценозының көрсеткіштері (микроорганизмдердің әртүрлі экологиялық-трофикалық топтарының түрлік және сандық құрамы) пайдаланылды. Мақалада 2024–2025 жылдары әртүрлі сидералды қоспаларды (асбұршақ + сұлы, сұлы + қыша, асбұршақ + қыша) және оларды топыраққа енгізу тәсілдерін қолдану жағдайындағы сүрі жер танаптары жүйесіндегі микробтық қауымдастықты бағалау нәтижелері ұсынылған. 2024 жылы асбұршақ + сұлы және асбұршақ + қыша сидералды қоспалары егілген топырақта топырақ бактерияларының жоғары белсенділігі анықталды. 2025 жылы аммонификациялайтын және азот сіңіретін микроорганизмдер санының азаюы байқалды, ал кейбір нұсқаларда саңырауқұлақ микрофлорасының үлесі артты. Топырақ микробиотасының неғұрлым тұрақты көрсеткіштері асбұршақ-сұлы қоспасын шабу + саңылаулау нұсқасында байқалды.

Сидералды қоспаларды қолдану климаттық факторлардың (атмосфералық жауын-шашын мен температура) жылдар аралық өзгергіштігі жағдайында топырақтың микробиологиялық жағдайының тұрақтануына және азот трансформациясы процестерінің оңтайлануына ықпал ететіні көрсетілді. Әртүрлі ботаникалық құрамы бар жасыл тыңайтқыш қоспалары мен тыңайтқыш прекурсорларының топырақтың биологиялық белсенділігі мен органикалық заттардың ыдырау процестеріне әсерін салыстырмалы талдау жүргізілді. Жасыл тыңайтқыш қоспаларын пайдалану топырақтың микробтық қауымдастығының қалыптасуына жалаңаш тыңайтқыш және химиялық тыңайтқышпен салыстырғанда оң әсер ететіні көрсетілді, бұл ауылшаруашылық тәжірибесінің топырақтың биологиялық мәртебесін жақсартудағы әлеуетін көрсетеді. Алынған нәтижелер сидералды қоспалардың топырақтағы биологиялық процестерді реттеудегі рөлі туралы түсініктерді кеңейтеді және оларды бейімделмелі егіншілік жүйелерін (топырақ қорғау, ресурс үнемдеу және биологияландырылған) әзірлеу кезінде қолдануға болады.

**Кілт сөздер:** жасыл көң қоспалары, енгізу әдістері, таза және химиялық сүрі жер, топырақ микроб ценозы, топырақ құнарлылығы.

## THE ROLE OF GREEN MANURE MIXTURES AND THEIR INCORPORATION METHODS IN THE FORMATION OF SOIL MICROBIAL COMMUNITIES

I.N. Bulgakova<sup>1</sup>, I.V. Rukavitsina<sup>1\*</sup>, V.A. Vasilyeva<sup>1</sup>, V.V. Zabolotskikh<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup>*“A.I. Barayev Research and Production Center for Grain Farming” LLP,*

*Nauchny, Kazakhstan*

*\*Corresponding author: [irukavitsina@yahdex.kz](mailto:irukavitsina@yahdex.kz)*

### Abstract

Green manure crops and their mixtures are an important component of resource-saving agricultural technologies aimed at increasing soil fertility and improving soil biological conditions. The aim of the study is to assess the impact of legume-cereal, legume-oilseed, and cereal-oilseed green manure mixtures, under different incorporation methods, on soil fertility and health, compared to conventional and chemical fallow. To assess the biological condition of the soil, indicators of the soil microbiota (species and numerical composition of various ecological-trophic groups of microorganisms) were used. This article presents the results of an assessment of the microbial community in fallow fields using various green manure mixtures (peas + oats, oats + mustard, peas + mustard) and different incorporation methods during the 2024–2025 period. It was found that increased activity of soil bacteria was observed in 2024 in the soil under crops of the green manure mixtures peas + oats and peas + mustard. In 2025, a decrease in the amount of ammonia-producing and nitrogen-assimilating microorganisms was observed, accompanied by an increase in the proportion of fungal microflora in separate variants. More stable soil microbiota parameters were observed in the variants with mowing and plowing of the pea-oat mixture. It has been shown that the use of green manure mixtures contributes to the stabilization of the soil's microbiological condition and the optimization of nitrogen transformation processes under conditions of interannual variability in climatic factors (precipitation and temperature). A comparative analysis was conducted of the effects of green manure mixtures with different botanical compositions and fallow predecessors on soil biological activity and organic matter decomposition processes. The use of green manure mixtures has a positive effect on the development of the soil microbial community compared to fallow and chemical fallow, indicating the potential of this agricultural practice to improve soil biological conditions. The results obtained expand our understanding of the role of green manure

mixtures in regulating soil biological processes and can be used in the development of adaptive farming systems (soil-conserving, resource-saving, and biologically oriented).

**Keywords:** green manure mixtures; incorporation methods; bare and chemical fallow; soil microbial community; soil fertility.

### Введение

Сидеральные культуры рассматриваются как один из ключевых агроэкологических инструментов повышения плодородия почв и улучшения их биологического состояния в системах устойчивого земледелия [1, 2]. В последние годы особое внимание уделяется сидеральным смесям различного ботанического состава, включая бобово-злаковые, бобово-масличные и злаково-масличные, благодаря их функциональной комплементарности в формировании биомассы, регуляции круговорота питательных веществ и воздействии на почвенные биологические процессы [3]. Вместе с тем, влияние состава сидеральных смесей и способов их заделки в почву в сравнении с чистым и химическим паром остается недостаточно изученным [4].

Бобовые растения, в составе сидеральных смесей, обеспечивают биологическую фиксацию атмосферного азота и обогащают почву легкоразлагаемыми органическими соединениями [5]. В то же время злаковые и масличные культуры формируют растительные остатки, различающиеся по соотношению углерода и азота, а также по скорости их разложения. Такое разнообразие органического материала формирует широкий спектр источников углерода и энергии для почвенной микробиоты, способствуя формированию структуры и функциональной активности почвенного микробоценоза [6]. Важное значение имеет способ заделки сидеральной массы, который определяет условия аэрации, распределение органического вещества в пахотном горизонте и интенсивность микробиологических процессов минерализации [7]. В связи с этим, сидеральные культуры являются важным элементом биологизации земледелия, способствуя накоплению органического углерода и повышению активности почвенной микробиоты [8-10].

Использование сидеральных смесей в сравнении с традиционным и химическим паром, потенциально способствует активизации биологической жизни почвы, увеличению микробной численности и функционального разнообразия, а также усилению ферментативной активности [11]. Среди биологических показателей особую информативность имеют характеристики почвенного микробоценоза (количественные и структурные показатели), отражающие способность почвенной микробиоты к разложению растительных остатков и эффективность круговорота углерода [12, 13]. Вместе с тем, в научной литературе сравнительная оценка влияния различных видов сидеральных смесей и способов их заделки на указанные показатели представлена очень ограниченно [14]. Восполнение данного пробела в знаниях является важной задачей в условиях прогрессирующей деградации почв, снижения содержания органического вещества и необходимости сокращения химической нагрузки на агроэкосистемы [15, 16].

В связи с этим целью настоящего исследования являлась оценка влияния бобово-злаковой, бобово-масличной и злаково-масличной сидеральных смесей при различных способах их заделки, в сравнении с чистым и химическим паром на формирование почвенного микробоценоза, как интегрального биологического индикатора состояния почвы.

### Материалы и методы

Экспериментальные исследования проводились в 2024-2025 гг. на многолетнем стационарном опыте лаборатории биологического земледелия ТОО «НПЦЗХ им. А.И. Бараева» (51°38'39.7"N 71°00'52.2"E).

Почвы опытного участка – чернозем южный карбонатный тяжелосуглинистого состава с умеренным уровнем гумусированности (3-4%). Мощность гумусо-аккумулятивного горизонта достигает 50 см. Почвы отличаются повышенной карбонатностью - до 5%, слабощелочной реакцией среды с рН 7,6-7,9 и высокой степенью насыщенности основаниями. Среднее содержание общего азота в почве на уровне 0,3%, фосфора – около 0,1%.

Метеорологические условия в период исследований (2024-2025 гг.) характеризовались разным уровнем атмосферных осадков и повышенным температурным фоном, что в последние годы является типичным явлением для зоны исследований. В 2024 году за вегетационный период (июнь-август) выпало 232,2 мм осадков, что существенно превысило среднемноголетнюю норму (136,3 мм). Максимальное количество осадков зафиксировано в августе – 106,6 мм, что на 66,8 мм превысило среднемноголетний показатель. В июне и июле месяце средний температурный фон превышал норму на 4,3 и 1,8°C, а среднесуточная температура августа была на уровне среднемноголетней – 17,4°C (рисунок 1). Данные условия вегетационного периода (повышенная температура и высокая влагообеспеченность) способствовали интенсивному формированию биологической массы сидератов.

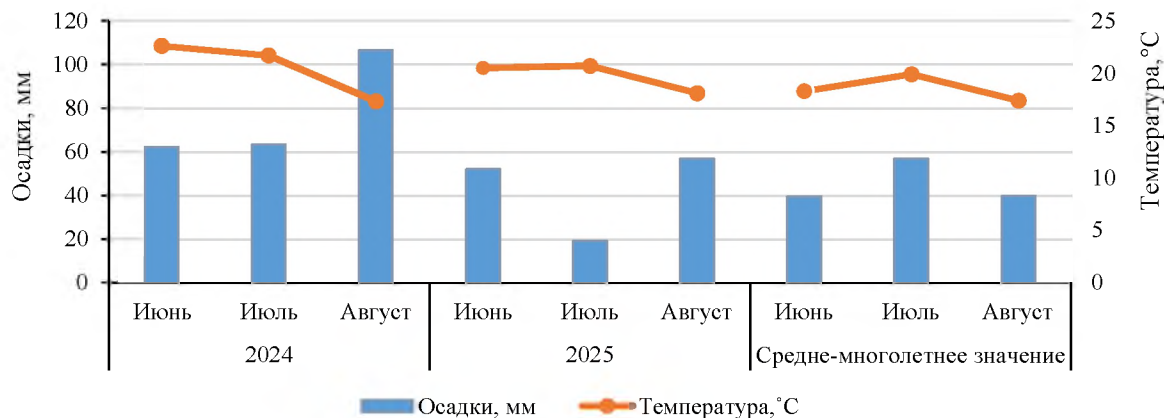


Рисунок 1. Метеорологические условия 2024 и 2025 года в сравнении со среднемноголетними показателями (1936-2025 гг.)

Вегетационный период 2025 года был менее благоприятным для роста и развития сидератов. Осадки, выпавшие за вегетацию, оказались ниже климатической нормы на 7,7 мм и составляли 128,6 мм. Особенностью метеорологических условий вегетационного периода этого года являлось отсутствие июльского максимума, при этом в июне и августе наблюдалась повышенная влагообеспеченность и высокий температурный фон. Сумма осадков июня составляла 52,2 мм при норме 39,5 мм, а среднесуточная температура 20,5°C. Июль оказался засушливым с учетом выпавших атмосферных осадков (19,4 мм), что на 36% ниже нормы, однако в связи с достаточными запасами почвенной влаги влияние атмосферной засухи не проявлялось. В августе также зафиксирован максимум летних осадков – 57 мм при среднемноголетней норме 39,8 мм.

Температурный фон вегетационного периода превышал норму на 1,2°C и составлял 19,7°C. Погодные условия вегетационного периода в годы исследований оказались благоприятными и положительно повлияли на рост и развитие сидератов.

Для изучения были заложены полевые опыты с включением сидеральных смесей следующего состава: горох (60%) + овес (40%), овес (50%) + горчица (50%) и горох (60%) + горчица (40%) (рисунок 2).

Схема опыта:

- 1) Чистый пар (контроль);
- 2) Пар химический;
- 3) Бобово-злаковая смесь (горох+овес) + дискование;
- 4) Бобово-злаковая смесь (горох+овес) + подкашивание + щелевание;
- 5) Бобово-злаковая смесь (горох+овес) + подкашивание;
- 6) Злаково-масличная смесь (овес+горчица) + дискование;
- 7) Злаково-масличная смесь (овес+горчица) + подкашивание + щелевание;
- 8) Злаково-масличная смесь (овес+горчица) + подкашивание;
- 9) Бобово-масличная смесь (горох+горчица) + дискование;
- 10) Бобово-масличная смесь (горох+горчица) + подкашивание + щелевание;
- 11) Бобово-масличная смесь (горох+горчица) + подкашивание.

Семена сидеральных культур смешивали в соответствующих пропорциях в зависимости от нормы высева в чистом виде. Перед посевом семенной материал всех культур обрабатывали комплексом биологических препаратов. Для сравнения был заложен вариант с химическим и чистым паром, который являлся контролем.

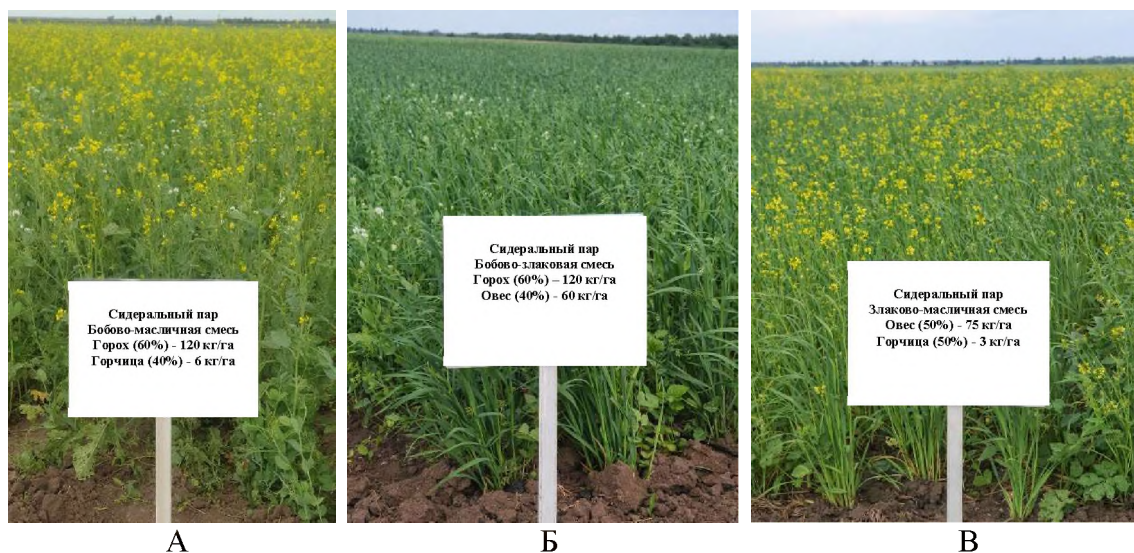


Рисунок 2. Посевы сидеральных смесей.

Варианты: А - горох + овес; Б - овес+горчица; В - горох+горчица.

Сидеральные смеси высевали рядовым способом с междурядьями 23 см по стерне яровой пшеницы 25-30 мая сеялкой ВСКП-2,1 с культиваторными рабочими органами и прикатывающими катками на глубину 3-4 см. Заделку сидератов проводили через 40-45 дней, в фазу трубкования овса и в период бутонизации–начала цветения гороха и горчицы.

В варианте поверхностной заделки сидеральной смеси зеленую массу измельчали и перемешивали с почвой дисковым орудием «Catros» на глубину 4-6 см. В варианте с поверхностным внесением сидераты подкашивали роторной косилкой КРН-2,1 и равномерно распределяли по поверхности почвы; в третьем варианте подкашивание сидератов дополнялось осенним щелеванием почвы орудием ЩР-4,5 на глубину 25-27 см. Контрольный вариант в течении летнего периода обрабатывался по типу чистого пара.

Первая обработка проводилась в первую декаду июня с использованием плоскорезущих орудий на глубину 10-12 см. Последующие три обработки почвы проводили с интервалом 20-25 дней, с постепенным заглублением до 16-18 см. Завершающая обработка на глубину 25-27 см проводилась культиватором глубокорыхлителем без оборота пласта почвы в конце августа - начале сентября. Полевой опыт был заложен в трёхкратной повторности.

Отбор почвенных проб для микробиологических исследований проводили на вариантах с посевами сидеральных смесей в фазу полных всходов сидератов и после их заделки с помощью дискования, подкашивания+щелевание и подкашивания, в чистом и химическом пару. На каждом варианте отбирали образцы почвы в слое 0-20 см из трех точек в стерильные пакеты [17, с. 231]. В лабораторных условиях смешанный почвенный образец просеивали через сито с размером ячейки 3 мм для получения однородной фракции. Микробиологические анализы проводили в свежих образцах. До начала анализа почвенные образцы хранили в холодильнике при температуре +4°C.

Для выделения эколого-трофических групп почвенных микроорганизмов отбирали навеску 10 г, помещали в 250 мл колбы со стерильной водой, образцы взбалтывали на шейкере OS-20 (Biosan, Латвия) в течение 10 минут, затем почвенную суспензию высевали методом предельных разведений на агаризованные питательные среды: аммонифицирующие бактерии – на мясопептонный агар (МПА); бактерии, ассимилирующие минеральный азот, и актиномицеты – на крахмало-аммиачный агар (КАА); грибы на среду Чапека-Докса; целлюлозолитические микроорганизмы на среду Гетчинсона (в качестве источника углерода – фильтровальная бумага) [18, с. 156]. На рисунке 3 представлены группы микроорганизмов, выделенные на питательных средах. Чашки Петри инкубировали в инкубаторе BJPX-B250 (BIOBASE, Китай) при температуре 26°C. Учет бактерий проводили на 3-и сутки, грибы на 7-10 сутки, целлюлозолитические микроорганизмы на 30 сутки. Численность микроорганизмов выражали в количестве колониеобразующих единиц (КОЕ) на грамм абсолютно сухой почвы.

Идентификацию почвенных грибов проводили методом анализа нуклеотидной последовательности ITS-региона рибосомальной ДНК с использованием ПЦР-амплификации и последующего секвенирования полученных ампликонов. Сравнение полученных последовательностей осуществляли с данными международной базы GenBank. Бактерии на уровне вида определяли с использованием системы MALDI Biotyper, с масс-спектрометром microflex LT (Bruker Daltonik GmbH, Бремен, Германия). Идентификацию выполняли с применением программного обеспечения MALDI Biotyper RTC версии 4.0 (Build 11) (Bruker Daltonics) с сопоставлением полученных спектров с референсной библиотекой BDAL-12.0.0.0 (11 897 MSP). В качестве порогового значения для достоверной идентификации на уровне вида использовали показатель  $\log(\text{score}) \geq 2,0$ .

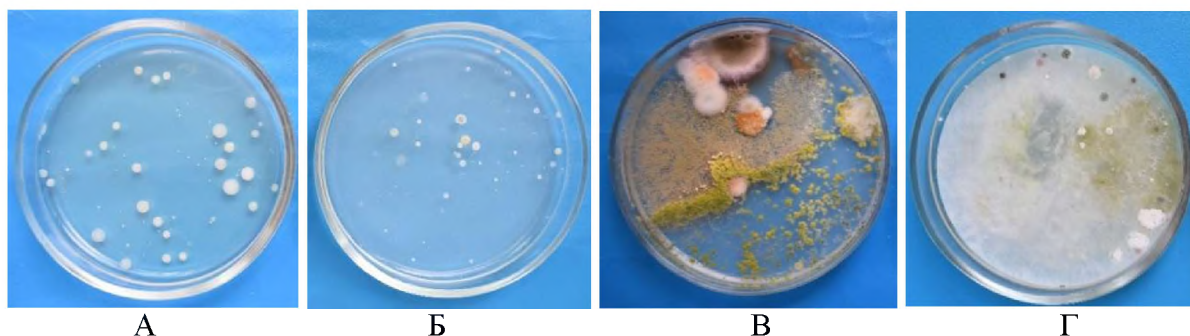


Рисунок 3. Почвенные микроорганизмы на питательных средах:  
А – аммонификаторы (МПА); Б – азот ассимилирующие (КАА); В – микромицеты (Чапека-Докса); Г – целлюлозолитические (среда Гетчинсона).

Экспериментальные данные обрабатывали статистически, рассчитывали среднее арифметическое и стандартное отклонение с использованием пакета программ Excel и прикладного программного обеспечения «SNEDECOR». Графическое оформление проводили в программе Microsoft Excel.

#### Результаты исследования

За вегетационный период 2024 и 2025 гг. выявлены существенные различия в численности аммонифицирующих микроорганизмов в зависимости от вида сидеральных смесей и способов их заделки. Высокая активность аммонификаторов наблюдалась в 2024 году по всем вариантам опыта. Максимальные значения отмечены при возделывании бобово-масличной смеси (горох+горчица) – 14,4 млн. КОЕ/г почвы при дисковании, 12,9 млн. КОЕ/г почвы при подкашивании с щелеванием и 12,0 млн. КОЕ/г почвы при подкашивании. Высокому накоплению аммонифицирующих микроорганизмов (до 15,2 млн. КОЕ/г почвы) способствовала смесь овса с горчицей на варианте с подкашиванием, а смесь гороха с овсом обеспечивала стабильно повышенный уровень этих микроорганизмов (8,3-9,8 млн. КОЕ/г почвы). В чистом пару этот показатель составлял 8,8 млн. КОЕ/г почвы, тогда как в химическом численность аммонификаторов была наименьшей – 5,5 млн. КОЕ/г почвы. В условиях 2025 года на всех вариантах отмечалось снижение численности аммонифицирующих микроорганизмов и особенно в чистом и химическом пару до 3,3 и 1,3 млн. КОЕ/г почвы соответственно. В среднем за вегетацию на вариантах с сидеральными смесями эти значения варьировали от 1,1 до 3,4 млн. КОЕ/г почвы (рисунок 4). Во второй год исследований наблюдалось общее угнетение аммонифицирующей микрофлоры независимо от способов заделки, обусловленное менее благоприятными метеорологическими условиями. В среднем за два года бобово-злаковая смесь при дисковании активизировала деятельность аммонификаторов (11,1 млн. КОЕ/г почвы), что свидетельствует о положительном влиянии растительных компонентов сидеральной смеси на процессы аммонификации. Бобово-масличная смесь обеспечила относительно устойчивые значения (7,0-8,2 млн. КОЕ/г почвы), тогда как злаково-масличная проявила наибольшую эффективность при подкашивании (8,7 млн. КОЕ/г почвы). Наименьшие показатели численности данной группы микроорганизмов обнаружены в химическом пару – 3,4 млн. КОЕ/г почвы, а на контроле (чистый пар) среднее значение составляло 6,1 млн. КОЕ/г почвы.

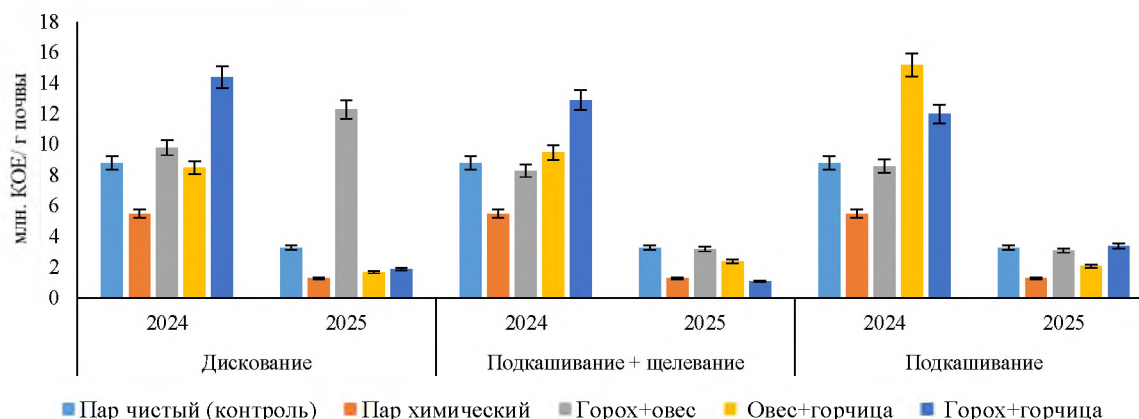


Рисунок 4. Распространение аммонифицирующих микроорганизмов в почве в зависимости от сидеральных смесей и способов их заделки.

Развитие микроорганизмов, ассимилирующих неорганический азот в среднем за 2024 и 2025 гг. имело выраженную зависимость как от погодных условий года, так и сидеральных смесей и способов их заделки. В 2024 году отмечалось заметное превышение численности иммобилизаторов в сравнение с 2025 годом, особенно на варианте гороха с горчицей при дисковании – 71,9 млн. КОЕ/г почвы, что существенно превышало этот показатель в сравнение с остальными вариантами. Дискование горохо-овсяной смеси также способствовало активному накоплению этих микроорганизмов (до 40,6 млн. КОЕ/г почвы), при подкашивании с щелеванием до 40,1 млн. КОЕ/г почвы и при подкашивании до 35,0 млн. КОЕ/г почвы (рисунок 5).

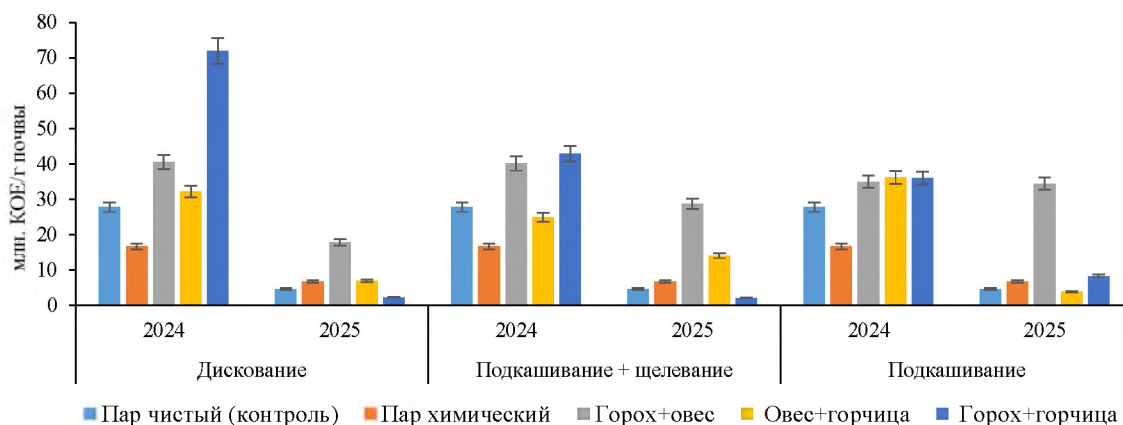


Рисунок 5. Распространение микроорганизмов, ассимилирующих минеральный азот в зависимости от сидеральных смесей и способов их заделки.

На варианте с овсом и горчицей в 2024 году численность азотассимилирующих микроорганизмов составляла до 24,9-36,2 млн. КОЕ/г почвы, в чистом пару около 27,8 млн. КОЕ/г почвы, а в химическом – 16,7 млн. КОЕ/г почвы. В последующий год отмечалась тенденция снижения иммобилизаторов, особенно на вариантах с бобово-масличной (до 2,1-8,3 млн. КОЕ/г почвы) и злаково-масличной (до 3,9-14,1 млн. КОЕ/г почвы) смесью. Аналогичная картина наблюдалась в чистом и химическом пару до 4,7 и

6,8 млн. КОЕ/г почвы соответственно. На варианте с горохо-овсяной смесью количество иммобилизаторов было повышенным и варьировало от 17,9 до 34,4 млн. КОЕ/г почвы.

Полученные данные по накоплению иммобилизаторов (бактерий и актиномицетов) в почве подтверждают преимущество вариантов с использованием сидеральных смесей. Наиболее высокая численность этих микроорганизмов в среднем за два года формировалась на варианте с бобово-масличной смесью при дисковании (37,1 млн. КОЕ/г почвы), средняя – на бобово-злаковой смеси (29,3-34,7 млн. КОЕ/г почвы) и низкая на злаково-масличной смеси (19,5-20,1 млн. КОЕ/г почвы). В чистом пару их количество составляло 16,3 млн. КОЕ/г почвы, а в химическом пару активность иммобилизаторов была наименьшей – 11,8 млн. КОЕ/г почвы.

Обилие почвенных грибов также изменялось по годам и зависело от варианта опыта. Увеличение грибной микробиоты наблюдалось в 2025 году, особенно в чистом и химическом пару до 21,6 тыс. КОЕ/г почвы и 18,2 тыс. КОЕ/г почвы соответственно (рисунок 6). Такая же закономерность прослеживалась на варианте с бобово-злаковой смесью при подкашивании до 21,8 тыс. КОЕ/г почвы. В то же время злаково-масличная и бобово-масличная сидеральные смеси способствовали снижению развития почвенных грибов.

В среднем за период исследований уровень развития микромицетов по вариантам характеризовался относительной равномерностью. В чистом и химическом пару численность грибов существенно не различалась и находилась на сопоставимом уровне – 14,0-14,4 тыс. КОЕ/г почвы. Подкашивание бобово-злаковой и бобово-масличной смеси способствовало их интенсивному развитию до 16,3 и 15,0 тыс. КОЕ/г почвы соответственно. Менее выраженная активность микромицетов наблюдалась на варианте овса с горчицей при подкашивании+щелевание до 9,4 тыс. КОЕ/г почвы.

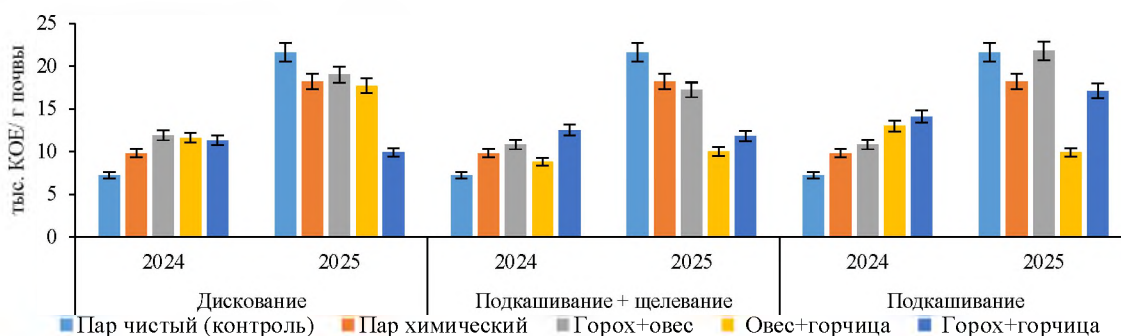


Рисунок 6. Влияние сидеральных смесей и способов их заделки на накопление почвенных грибов

Следует отметить, что сидеральные смеси стимулировали развитие почвенных грибов, особенно *Trichoderma spp.*, которые являлись доминирующими и составляли 91,3-99,1% от общей численности микромицетов. Также выделялись грибы *Penicillium spp.* от 0,9 до 16 %, и незначительная доля в грибном комплексе была представлена видами *Fusarium spp.* (0,3-1,1%).

В 2024 году в среднем за вегетацию на вариантах чистого и химического пара активно выделялись целлюлозоразрушающие микроорганизмы – 57,1 и 55,1 тыс. КОЕ/г почвы (соответственно), а также на варианте с подкашиванием злаково-масличной смеси (овес+горчица) – 60,1 тыс. КОЕ/г почвы (рисунок 7). Значительное снижение их численности отмечалось в 2025 году практически на всех вариантах. В чистом пару они

составляли 12,0 тыс. КОЕ/г почвы, в химическом – 15, тыс. КОЕ/г почвы, а на вариантах с сидеральными смесями от 11,9 до 59,6 тыс. КОЕ/г почвы.

При подкашивании с щелеванием гороха с горчицей и гороха с овсом напротив отмечалось увеличение целлюлозолитиков до 43,8 и 59,6 КОЕ/г почвы соответственно. В среднем за два года эта группа микроорганизмов активно развивались на варианте горохо-овсяной смеси при ее подкашивании+щелевание (до 52,0 тыс. КОЕ/г почвы) в сравнение с остальными вариантами.

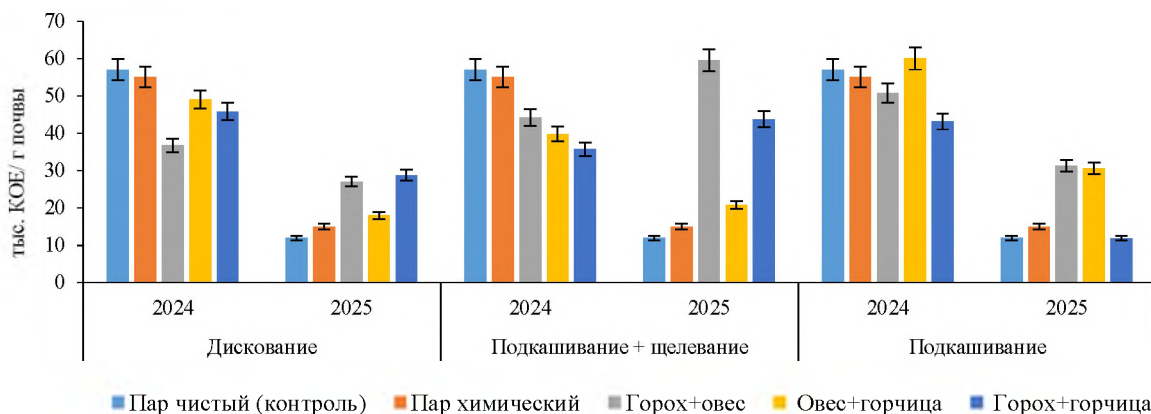


Рисунок 7. Влияние сидеральных смесей и способов их заделки на накопление целлюлозолитических микроорганизмов.

### Обсуждение

Микробное разнообразие играет существенную роль в поддержании стабильности почвенной экосистемы, а снижение микробной активности приводит к ухудшению качества почвы [19]. В данном исследовании мы оценивали влияние бобово-злаковой, злаково-масличной и бобово-масличной сидеральных смесей в условиях различных способов их заделки (дискование, подкашивание+щелевание, подкашивание), а также варианты чистого и химического пара на формирование микробоценоза в период полных всходов сидератов и после их заделки.

Результаты показали, что увеличению численности микроорганизмов способствовала заделка сидеральных смесей в почву. Выявленные изменения имели межгодовую изменчивость и определялись как составом сидеральных смесей и способами их заделки, так и особенностями вегетационного периода. Результаты исследований согласуются с данными, полученными Т.И. Черновым и А.Д. Железновой (2020) которые отмечают, что характер и интенсивность динамики почвенных микробных сообществ на разных отрезках времени может вызываться резкими изменениями температуры и влажности почвы [20].

При сравнении способов заделки сидеральных смесей установлено, что обработка горохо-овсяной смеси дисковым орудием способствовала формированию наиболее высокой численности аммонифицирующих микроорганизмов, а подкашивание оказалось более эффективным при использовании злаково-масличной смеси (овес+горчица). Богатая бактериальная микробиота почвы способствует улучшению круговорота питательных веществ в почве, укреплению ее структуры, улучшению здоровья почвы, стимулированию роста сельскохозяйственных культур и повышению устойчивости растений к стрессу [21-23]. Возделывание сидеральных смесей, особенно

с участием гороха, увеличивало численность аммонифицирующей микрофлоры по сравнению с чистым и химическим паром, что подтверждается исследованиями Prajapati и др. (2023) [24]. Динамика аммонифицирующих микроорганизмов в значительной степени определялась условиями года, и в меньшей степени структурой компонентов сидеральных смесей и способами их заделки. Наиболее благоприятные условия для развития аммонифицирующих микроорганизмов, в том числе *Lysinibacillus parviboronicapiens*, *Microbacterium maritypicum*, *Lysobacter capsici*, *Stenotrophomonas sp.* сформировались в 2024 году при выращивании сидеральных смесей горох+овес и горох+горчица, тогда как в 2025 году отмечено общее снижение их численности.

Наиболее выраженная активность микроорганизмов, вовлеченных в ассимиляцию неорганического азота, отмечалась при включении гороха в состав сидеральных смесей, особенно в благоприятных условиях 2024 года. Исследователи Zhou, Fan и др. (2024) также отмечают, что внесение сидератов значительно увеличивает численность микроорганизмов, участвующих в фиксации и трансформации азота и усиливает процессы азотного цикла [25]. Высокая активность азотассимилирующих микроорганизмов наблюдалась при дисковании сидеральных смесей с включением гороха, однако, при подкашивании горохо-овсяной смеси их развитие значительно уменьшалось. Несмотря на общее снижение бактериальной активности в 2025 году, применение бобово-злаковой смеси приводило к ее увеличению независимо от способа заделки, что подтверждается результатами Fang и др. (2018) [26].

Сидеральные культуры стимулировали развитие бактериального компонента микробиоты, но в то же время незначительно снижали численность грибов. Наряду с этим, сидеральные смеси положительно влияли на развитие более устойчивой и разнообразной структуры грибного сообщества, которое было представлено видами *Alternaria tenuissima*, *Myrothecium atroviride*, *Didymella sinensis*, *Fusarium equiseti*, *Fusarium incarnatum*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium redolens*, *Fusarium solani*, *Fusarium acuminatum*, *Botrytis cinerea*, *Talaromyces calidominioluteus*, *Hypocrea lixii*, *Clonostachys rosea*, *Apiospora arundinis*, *Penicillium chrysogenum*, *Penicillium aurantiogriseum*, *Penicillium vinaceum*, *Penicillium flavigenum*, *Penicillium sajarovii*. В данном случае активное развитие почвенных микромицетов происходило за счет внесения в почву различного органического субстрата в виде свежих растительных остатков сидеральных смесей, а также выделений разнообразных корневых экссудатов, что создавало более благоприятные условия для жизнедеятельности грибов. Увеличение доли почвенных грибов на вариантах с сидератами в 2025 году и особенно в чистом и химическом пару может свидетельствовать о перераспределении микробного сообщества в условиях снижения бактериальной активности, и создании более благоприятных условий для развития грибов. Исследованиями Li, Chen (2024) показано, что в залежных почвах повышенное разнообразие и относительное обилие грибного сообщества, может быть связано с преобладанием труднорастворимых органических соединений, являющихся субстратом для микромицетов, а также снижением конкуренции со стороны бактерий [27].

Целлюлолитические микроорганизмы являются важным звеном в почвообразовательном процессе и глобальном круговороте углерода [29]. Kumar и др. (2016) отмечали, что процессы разложения целлюлозы в условиях пара протекают более интенсивно, что также связано с активностью целлюлозолитических грибов [28]. В 2024 году в условиях чистого и химического пара отмечалась высокая численность целлюлозолитических микроорганизмов, свидетельствующая об интенсивной

трансформации органического вещества при отсутствии растительного покрова. В 2025 году более высокие показатели были характерны для вариантов с сидеральными смесями по сравнению с чистым и химическим паром, что отражает стабилизирующее влияние растительного покрова на биологическую активность почвы при изменении погодных условий. Увеличение численности целлюлозолитиков на вариантах гороха с горчицей и горчицы с овсом при подкашивании и щелевании, вероятно обусловлено поступлением значительного количества растительных остатков с оптимальным соотношением C:N, а также улучшением водно-воздушного режима почвы. Дополнительным фактором является и синергетическое влияние бобовых и небобовых компонентов, обеспечивающих активизацию процессов микробной деструкции органического вещества. По данным Bautista-Cruz и др. (2024) и Zhang (2014), повышению численности целлюлозолитических микроорганизмов способствуют растительные остатки, которые служат субстратом для бактерий и грибов, включая представителей рода *Cellulomonas*, *Bacillus*, *Paenibacillus*, а также грибов *Trichoderma*, основных продуцентов целлюлаз [30, 31]. Внесение растительных остатков с высоким содержанием целлюлозы дополнительно стимулирует развитие целлюлозолитических микроорганизмов, особенно при оптимальном обеспечении азотом [32]. В среднем, за годы исследований, заделка сидератов с использованием подкашивания с щелеванием, особенно бобово-злаковой смеси способствовала активизации целлюлозолитических микроорганизмов, в сравнение с остальными вариантами.

Применение дискования, как способа заделки сидератов, стимулировало активность почвенных бактерий, особенно при использовании гороха в составе сидеральных смесей. Подкашивание и подкашивание с щелеванием формировало устойчивое микробное сообщество, что особенно проявилось во второй год исследований. В целом применение сидеральных смесей не зависимо от способов их заделки оказывало положительный эффект на формирование почвенного микробоценоза. Четкие различия в распределении микробиоты почвы между вариантами в течение вегетационного периода позволяют предположить, что применение сидератов изменяет структуру сообщества микроорганизмов за счет трансформирования почвенной микросреды на разных стадиях роста и развития растений.

Результаты наших исследований указывают на целесообразность использования сидеральных смесей, содержащих в своем составе бобовые культуры, для повышения биологической активности почвы и оптимизации процессов трансформации азота, что подтверждается исследованиями Li, Shen и др. (2025) о применении зеленых удобрений, как экологически чистой технологии, показывающей значительный потенциал в повышении активности микроорганизмов почвы и улучшении ее здоровья [33].

#### Выводы

Почвенный микробоценоз характеризовался выраженной межгодовой изменчивостью при применении различных сидеральных смесей и способов их заделки.

Использование сидеральных смесей, особенно с включением гороха, способствовало увеличению численности аммонифицирующих и микроорганизмов, ассимилирующих неорганический азот, по сравнению с чистым и химическим паром.

В условиях снижения бактериальной активности в 2025 году отмечено относительное увеличение доли почвенных грибов, что говорит о перестройке структуры микробного сообщества. Наиболее стабильные показатели структуры микробоценоза выявлены в варианте с бобово-злаковой смесью при подкашивании+щелевание. Установлено, что сочетание бобово-злаковой смеси

(горох+овес) с минимизированными способами обработки обеспечивает устойчивость микробного сообщества даже в менее благоприятных погодных условиях.

**Благодарности:** Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан BR22885719 «Разработать и внедрить устойчивые системы земледелия для рентабельного производства сельскохозяйственной продукции в условиях изменяющегося климата для различных почвенно-климатических зон Казахстана».

#### Литература:

1. Айтемиров А.А., Халилов М.Б., Бабаев Т.Т., Амиралиев З.Г. Влияние сидератов на урожайность яровых зерновых культур в условиях орошения Терско-Сулакской подпровинции // Юг России: экология, развитие. – 2018. – 13(2). – С. 144-155. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2018-2-144-155>
2. Архипов А.С., Долгополова Н.В. Обработка почвы как средство повышения плодородия в севообороте // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 2. – С. 6-13.
3. Несмеянова М.А., Дедов А.В. Приемы повышения плодородия почвы и их эффективность при возделывании подсолнечника // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 4. – С. 16-22.
4. Лошаков В.Г. Зеленое удобрение как фактор повышения плодородия почвы, биологизации и экологизации земледелия // Плодородие. – 2018. – № 2. – С.26-29. DOI:10.25680/S19948603.2018.101.09
5. Barbieri P., Pellerin S., Seufert V. Smith L., Ramankutty N., Nesme T. Global option space for organic agriculture is delimited by nitrogen availability // Nat Food. – 2021. – No 2. – P. 363-372 <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00276-y>
6. Куликов Я.К. Экологическая полифункциональность микроорганизмов и растительно-микробных комплексов в биоремедиации загрязненных почв // Журнал Белорусского государственного университет // Экология. – 2023. – № 4. – С. 4-15.
7. Семенов В.М. Экологическая агрохимия азота и углерода // Проблемы агрохимии и экологии. – 2024. – № 2. – С. 57-68. DOI: 10.26178/AE.2024.14.30.010
8. Асланян К.А., Емелин А.В. Современные методы повышения плодородия почв при минимизации использования химических удобрений // Международный научный сельскохозяйственный журнал. – 2024. – Т. 4. – С. 18-28.
9. Карипов Р.Х., Жумагулов И.И. Ресурсосберегающие технологии на основе сокращенной и нулевой обработки почвы в условиях сухостепной зоны // Евразийский Союз Ученых. – 2016. – № 30. – С. 14-16.
10. Федоренко А.Н., Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Гобарова А.А., Козунь Ю.С., Колесников С.И. Оценка влияния покровных культур на биологическую активность черноземов при использовании технологии прямого посева // Земледелие. – 2023. – № 1. – С. 23-31. DOI: 10.24412/0044-3913-2023-1-23-27.
11. Баярова М., Махтимкулыева Я., Гурбанов Х., Араздурдыев Н. Агротехнологии для устойчивого сельского хозяйства и защита окружающей среды // Парадигма. – 2025. – № 11-3. – С. 223-231.
12. Халикова Л.В., Кавеленова Л.М. Почвенный микробиоценоз в агросреде как динамичная система: первичные результаты оценки изменений // Самарский научный вестник. – 2023. – Т. 12. – № 2. – С. 91-97.
13. Бушнев А.С., Курилова Д.А., Котлярова И.А. О ризосфере полевых культур и факторах, влияющих на динамику ее микробиоты (обзор) // Масличные культуры. – 2023. – № 4 (196). – С. 97-109. DOI: 10.25230/2412-608X-2023-4-196-97-109
14. Wang Y., Yu, A., Shang, Y., Wang, P., Wang, F., Yin, B., Liu, Y., Zhang, D., Chai, Q. Research progress on the improvement of farmland soil quality by green manure // Agriculture. – 2025. – Т. 15. – № 7. – С. 768-788. <https://doi.org/10.3390/agriculture15070768>
15. Пальчиков Е.В., Алиев Т.Г.-Г., Ломакин, Д.А., Новикова Д.А. Роль предшественников в повышении плодородия почвы и формировании урожайности озимой пшеницы // Технологии

- пищевой и перерабатывающей промышленности АПК—продукты здорового питания. – 2020. – № 2. – С. 122-128. DOI 10.24411/2311-6447-2020-10051
16. Сулейменова С.Б., Михайлова О.П., Ефименко Д.В. Влияние сидерального пара на плодородие почв // Научная статья года 2023: сборник статей VII Международного научно-исследовательского конкурса. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2023. – С. 14-18.
17. Нетрусов А.И., Егорова Л.М., Захарчук Л.М. и др. Практикум по микробиологии: учебное пособие для вузов. - М.: Академия, 2005. - 608 с.
18. Теплер Е.З. Практикум по микробиологии. – М.: Дрофа, 2004. – 256 с.
19. Shen G., Zhang S., Liu X., Jiang Q., Ding W. Soil acidification amendments change the rhizosphere bacterial community of tobacco in a bacterial wilt affected field // *Appl Microbiol Biotechnol.* - 2018. – Т.102. – Р. 9781-9791. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9347-0>
20. Чернов Т.И., Железова А.Д. Динамика микробных сообществ в различных диапазонах времени (обзор) // *Почвоведение.* – 2020. – № 5. – С. 590-600. <https://doi.org/10.31857/S0032180X20050044>
21. Wang F., Cui H., He F., Liu Q., Zhu Q., Wang W., Liao H., Yao D., Cao W., Lu P. The Green Manure (*Astragalus sinicus* L.) Improved Rice Yield and Quality and Changed Soil Microbial Communities of Rice in the Karst Mountains Area // *Agronomy.* – 2022. – 12. – 1851. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081851>
22. Castellano-Hinojosa A., Strauss S. L. Impact of Cover Crops on the Soil Microbiome of Tree Crops // *Microorganisms.* – 2020. – 8(3). – 328. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8030328>
23. Ding T., Yan Z., Zhang W., Duan, T. Green Manure Crops Affected Soil Chemical Properties and Fungal Diversity and Community of Apple Orchard in the Loess Plateau of China // *J Soil Sci Plant Nutr.* – 2021. – P.1089–1102. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00424-0>
24. Prajapati S.K., Dayal P., Kumar V., Goirola A. Green Manuring: A Sustainable Path to Improve Soil Health and Fertility // *AgriSustain-An International Journal.* – 2023. – 01(02). – P.24–33. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10049824>
25. Zhou G., Fan K., Gao S., Chang D., Li G., Liang T., Liang H., Li S., Zhang J., Che Z., Cao W. Green manuring relocates microbiomes in driving the soil functionality of nitrogen cycling to obtain preferable grain yields in thirty years // *Sci China Life Sci.* – 2024. – 67(3). – P. 596-610. doi:10.1007/s11427-023-2432-9
26. Fang, Y., Wang, F., Jia, X., Lin, C., Zhang, H., Chen, L., & Chen, J. Effect of green manure and reduced chemical fertilizer load on the community of soil nitrogen-fixing bacteria // *Journal of Agro-Environment Science.* - 2018. – 37(9). – P.1933–1941. <https://doi.org/10.11654/jaes.2018-0509>
27. Li F., Chen L., Li Y., Han Y., Wang Y., Li P., Zhang S., Zhang J. Long-term fallowing produces specific fungal taxa associated with soil carbon storage // *Pedosphere.* – 2024. - 34(6). – P.1014–1025. <https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2023.10.001>
28. Chmolewska D., Hamda N., Laskowski R. Cellulose decomposed faster in fallow soil than in meadow soil due to a shorter lag time // *J Soils Sediments.* – 2017. – 17. – P. 299–305. <https://doi.org/10.1007/s11368-016-1536-9>
29. Evdokimova E.V., Gladkov G.V., Kuzina N.I., Ivanova E.A., Kimeklis A.K., Zverev A.O., Kichko A.A., Aksenova, T.S., Pinaev A.G., Andronov E.E. The difference between cellulolytic ‘culturomes’ and microbiomes inhabiting two contrasting soil types // *PLoS ONE.* – 2020. – 15(11): e0242060. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242060>
30. Bautista-Cruz A, Aquino-Bolaños T, Hernández-Canseco J, Quiñones-Aguilar EE. Cellulolytic Aerobic Bacteria Isolated from Agricultural and Forest Soils: An Overview // *Biology.* – 2024. – 13(2):102. <https://doi.org/10.3390/biology13020102>
31. Zhang, Z., Liu, J.L., Lan, J.Y. Duan C.J., Ma Q.S., Feng J.X. Predominance of Trichoderma and Penicillium in cellulolytic aerobic filamentous fungi from subtropical and tropical forests in China, and their use in finding highly efficient  $\beta$ -glucosidase // *Biotechnol Biofuels.* – 2014. – 7. – 107. <https://doi.org/10.1186/1754-6834-7-107>
32. Phukongchai W., Kaewpradit W., Rasche F. Inoculation of cellulolytic and ligninolytic microorganisms accelerates decomposition of high C/N and cellulose-rich sugarcane straw in tropical sandy soils // *Applied Soil Ecology.* – 2022. – 172. – 104355. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104355>
33. Li J., Shen X., Chen B., He Z., Yan L., Yang L., Ding B., Chai Z. Effects of Biofertilizer and Green Manure on Soil Bacterial Community in Korla Fragrant Pear Orchard // *Microorganisms.* – 2025. – Vol. 13. – No. 11. – Art. 2252. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13102252>

References:

1. Ajtemirov A.A., Halilov M.B., Babaev T.T., Amiraliev Z.G. Vliyanie sideratov na urozhajnost' yarovyh zernovyh kul'tur v usloviyah orosheniya Tersko-Sulakskoj podprovincii // Yug Rossii: ekologiya, razvitie. – 2018. – 13(2). – S. 144-155. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2018-2-144-155>
2. Arhipov A.S., Dolgoplova N.V. Obrabotka pochvy kak sredstvo povysheniya plodorodiya v sevooborote // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. – 2022. – № 2. – S. 6-13.
3. Nesmeyanova M.A., Dedov A.V. Priemy povysheniya plodorodiya pochvy i ih effektivnost' pri vozdeleyvanii podsolnechnika // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. – 2022. – № 4. – S. 16-22.
4. Loshakov V.G. Tzelenoe udobrenie kak faktor povysheniya plodorodiya pochvy, biologizacii i ekologizacii zemledeliya // Plodorodie. – 2018. – № 2. – S.26-29. DOI:10.25680/S19948603.2018.101.09
5. Barbieri, P., Pellerin, S., Seufert, V., Smith, L., Ramankutty, N., & Nesme, T. (2021). Global option space for organic agriculture is delimited by nitrogen availability. *Nature Food*, 2(5), 363–372. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00276-y>
6. Kulikov Ya.K. Ekologicheskaya polifunkcional'nost' mikroorganizmov i rastitel'no-mikrobyh kompleksov v bioremediacii zagryaznennyh pochv // Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta // Ekologiya. – 2023. – № 4. – S. 4-15.
7. Semenov V.M. Ekologicheskaya agrohimiya azota i ugleroda // Problemy agrohimii i ekologii. – 2024. – № 2. – S. 57-68. DOI: 10.26178/AE.2024.14.30.010
8. Aslanyan K.A., Emelin A.V. Sovremennye metody povysheniya plodorodiya pochv pri minimizacii ispol'zovaniya himicheskikh udobrenij // Mezhdunarodnyj nauchnyj sel'skohozyajstvennyj zhurnal. – 2024. – T. 4. – S. 18-28.
9. Karipov R.H., Zhumagulov I.I. Resursoberegayushchie tekhnologii na osnove sokrashchennoj i nulevoj obrabotki pochvy v usloviyah suhostepnoj zony // Evrazijskij Soyuz Uchenyh. – 2016. – № 30. – S. 14-16.
10. Fedorenko A.N., Mokrikov G.V., Kazeev K.Sh., Gobarova A.A., Kozun' Yu.S., Kolesnikov S.I. Ocenka vliyaniya pokrovnyh kul'tur na biologicheskuyu aktivnost' chernozemov pri ispol'zovanii tekhnologii pryamogo poseva // Zemledelie. – 2023. – № 1. – S. 23-31. DOI: 10.24412/0044-3913-2023-1-23-27.
11. Bayarova M., Mahtimkulyeva Y.A., Gurbanov H., Arazdurdyev N. Agrotekhnologii dlya ustojchivogo sel'skogo hozyajstva i zashchita okruzhayushchej sredy // Paradigma. – 2025. – № 11-3. – S. 223-231.
12. Halikova L.V., Kavelenova L.M. Pochvennyj mikrobocenoz v agrosrede kak dinamichnaya sistema: pervichnye rezul'taty ocenki izmenenij // Samarskij nauchnyj vestnik. – 2023. – T. 12. – № 2. – S. 91-97.
13. Bushnev A.S., Kurilova D.A., Kotlyarova I.A. O rizosfere polevyh kul'tur i faktorah, vliyayushchih na dinamiku ee mikrobioty (obzor) // Maslichnye kul'tury. – 2023. – № 4 (196). – S. 97-109. DOI: 10.25230/2412-608H-2023-4-196-97-109
14. Wang, Y., Yu, A., Shang, Y., Wang, P., Wang, F., Yin, B., Liu, Y., Zhang, D., & Chai, Q. (2025). Research progress on the improvement of farmland soil quality by green manure. *Agriculture*, 15(7), 768. <https://doi.org/10.3390/agriculture15070768>
15. Pal'chikov E.V., Aliev T.G.-G., Lomakin, D.A., Novikova D.A. Rol' predshestvennikov v povyshenii plodorodiya pochvy i formirovanii urozhajnosti ozimoy pshenicy // Tekhnologii pishchevoj i pererabatyvayushchej promyshlennosti APK–produkty zdorovogo pitaniya. – 2020. – № 2. – S. 122-128. DOI 10.24411/2311-6447-2020-10051
16. Sulejmenova S.B., Mihajlova O.P., Efimenko D.V. Vliyanie sideral'nogo para na plodorodie pochv // Nauchnaya stat'ya goda 2023: sbornik statej VII Mezhdunarodnogo nauchno-issledovatel'skogo konkursa. – Penza: MCNS «Nauka i Prosveshchenie», 2023. – S. 14-18.
17. Netrusov A.I., Egorova L.M., Zaharchuk L.M. i dr. Praktikum po mikrobiologii: uchebnoe posobie dlya vuzov. - M.: Akademiya, 2005. - 608 s.
18. Tepper E.Z. Praktikum po mikrobiologii. – M.: Drofa, 2004. – 256 s.
19. Shen, G., Zhang, S., Liu, X., Jiang, Q., & Ding, W. (2018). Soil acidification amendments change the rhizosphere bacterial community of tobacco in a bacterial wilt affected field. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102, 9781–9791. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9347-0>
20. Chernov T.I., Zhelezova A.D. Dinamika mikrobyh soobshchestv v razlichnyh diapazonah vremeni (obzor) // Pochvovedenie. – 2020. – № 5. – S. 590-600. <https://doi.org/10.31857/S0032180X20050044>
21. Wang, F., Cui, H., He, F., Liu, Q., Zhu, Q., Wang, W., Liao, H., Yao, D., Cao, W., & Lu, P. (2022). The green manure (*Astragalus sinicus* L.) improved rice yield and quality and changed soil microbial communities of rice in the karst mountains area. *Agronomy*, 12, 1851. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081851>

22. Castellano-Hinojosa, A., & Strauss, S.L. (2020). Impact of cover crops on the soil microbiome of tree crops. *Microorganisms*, 8(3), 328. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8030328>
23. Ding, T., Yan, Z., Zhang, W., & Duan, T. (2021). Green manure crops affected soil chemical properties and fungal diversity and community of apple orchard in the Loess Plateau of China. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21, 1089–1102. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00424-0>
24. Prajapati, S.K., Dayal, P., Kumar, V., & Goirola, A. (2023). Green manuring: A sustainable path to improve soil health and fertility. *AgriSustain – An International Journal*, 1(2), 24–33. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10049824>
25. Zhou, G., Fan, K., Gao, S., Chang, D., Li, G., Liang, T., Liang, H., Li, S., Zhang, J., Che, Z., & Cao, W. (2024). Green manuring relocates microbiomes in driving soil functionality of nitrogen cycling to obtain preferable grain yields over thirty years. *Science China Life Sciences*, 67(3), 596–610. <https://doi.org/10.1007/s11427-023-2432-9>
26. Fang, Y., Wang, F., Jia, X., Lin, C., Zhang, H., Chen, L., & Chen, J. (2018). Effect of green manure and reduced chemical fertilizer load on the community of soil nitrogen-fixing bacteria. *Journal of Agro-Environment Science*, 37(9), 1933–1941. <https://doi.org/10.11654/jaes.2018-0509>
27. Li, F., Chen, L., Li, Y., Han, Y., Wang, Y., Li, P., Zhang, S., & Zhang, J. (2024). Long-term fallowing produces specific fungal taxa associated with soil carbon storage. *Pedosphere*, 34(6), 1014–1025. <https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2023.10.001>
28. Chmolewska, D., Hamda, N., & Laskowski, R. (2017). Cellulose decomposed faster in fallow soil than in meadow soil due to a shorter lag time. *Journal of Soils and Sediments*, 17, 299–305. <https://doi.org/10.1007/s11368-016-1536-9>
29. Evdokimova, E.V., Gladkov, G.V., Kuzina, N.I., Ivanova, E.A., Kimeklis, A.K., Zverev, A.O., Kichko, A.A., Aksenova, T.S., Pinaev, A.G., & Andronov, E.E. (2020). The difference between cellulolytic “culturomes” and microbiomes inhabiting two contrasting soil types. *PLoS ONE*, 15(11), e0242060. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242060>
30. Bautista-Cruz, A., Aquino-Bolaños, T., Hernández-Canseco, J., & Quiñones-Aguilar, E.E. (2024). Cellulolytic aerobic bacteria isolated from agricultural and forest soils: An overview. *Biology*, 13(2), 102. <https://doi.org/10.3390/biology13020102>
31. Zhang, Z., Liu, J.L., Lan, J.Y., Duan, C.J., Ma, Q.S., & Feng, J.X. (2014). Predominance of *Trichoderma* and *Penicillium* in cellulolytic aerobic filamentous fungi from subtropical and tropical forests in China, and their use in finding highly efficient  $\beta$ -glucosidase. *Biotechnology for Biofuels*, 7, 107. <https://doi.org/10.1186/1754-6834-7-107>
32. Phukongchai, W., Kaewpradit, W., & Rasche, F. (2022). Inoculation of cellulolytic and ligninolytic microorganisms accelerates decomposition of high C/N and cellulose-rich sugarcane straw in tropical sandy soils. *Applied Soil Ecology*, 172, 104355. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104355>
33. Li, J., Shen, X., Chen, B., He, Z., Yan, L., Yang, L., Ding, B., & Chai, Z. (2025). Effects of biofertilizer and green manure on soil bacterial community in Korla fragrant pear orchard. *Microorganisms*, 13(11), 2252. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13112252>

#### Information about the authors

**I.N. Bulgakova** – Senior researcher at the Laboratory Microbiology, “A.I. Barayev Research and Production Center for Grain Farming” LLP, Nauchny, Kazakhstan; e-mail: [bulgakova.6262@mail.ru](mailto:bulgakova.6262@mail.ru);

**I.V. Rukavitsina** – corresponding author, Candidate of biological sciences, head at the Laboratory Microbiology, “A.I. Barayev Research and Production Center for Grain Farming” LLP, Nauchny, Kazakhstan; e-mail: [irukavitsina@yandex.kz](mailto:irukavitsina@yandex.kz);

**V.A. Vasilyeva** – Junior Researcher at the Laboratory Microbiology, “A.I. Barayev Research and Production Center for Grain Farming” LLP, Nauchny, Kazakhstan; e-mail: [ybalchugova00@mail.ru](mailto:ybalchugova00@mail.ru);

**V.V. Zabolotskikh** – Candidate of Agricultural Sciences, Head at the Laboratory Biological farming, “A.I. Barayev Research and Production Center for Grain Farming” LLP, Nauchny, Kazakhstan; e-mail: [zabolotskih.vladimir@mail.ru](mailto:zabolotskih.vladimir@mail.ru).