

УДК 631.4, 579.266.2

DOI: 10.19047/0136-1694-2019-99-117-144

Ссылки для цитирования:

Железова А.Д., Пассова Д.И., Никитин Д.А., Яшин М.А., Железова С.В. Влияние способа сельскохозяйственной обработки на микробиологические характеристики дерново-подзолистой почвы // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2019. Вып. 99. С. 117-144. DOI: 10.19047/0136-1694-2019-99-117-144

Cite this article as:

Zhelezova A.D., Passova D.I., Nikitin D.A., Yashin M.A., Zhelezova S.V., The influence of agricultural treatment type on the microbial properties of sod-podzolic soil, Dokuchaev Soil Bulletin, 2019, V. 99, pp. 117-144, DOI: 10.19047/0136-1694-2019-99-117-144

Влияние способа сельскохозяйственной обработки на микробиологические характеристики дерново-подзолистой почвы

© 2019 г. А. Д. Железова^{1*}, Д. И. Пассова², Д. А. Никитин¹,
М. А. Яшин¹, С. В. Железова²

¹Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Россия,
119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,

<https://orcid.org/0000-0002-2086-299X>, *e-mail: alferrum@mail.ru.

²РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева,
Россия, 127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49.

Поступила в редакцию 28.05.2019, принята к публикации 21.11.2019

Резюме: Проведено сравнение физических, химических и микробиологических свойств дерново-подзолистой пахотной среднесуглинистой почвы в условиях применения традиционной и нулевой обработки. Объектом исследования были образцы из пахотного слоя почвы (0–10, 10–20, 20–30 см) поля № 2 многолетнего опыта Центра точного земледелия РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, где в 2018 г. выращивали вико-овсяную смесь. Отбор образцов почвы под двумя способами обработки был проведен в июне 2018 г. в 8-кратной пространственной повторности. Была определена влажность, водоудерживающая способность, рН, процентное содержание углерода и азота. Вегетационный индекс NDVI, определенный с помощью прибора GreenSeeker HandHeld, был использован для оценки интенсивности

развития посева. Методом микробиологического посева на питательные среды в образцах была оценена численность эколого-трофических групп микроорганизмов (гетеротрофные аммонификаторы, аэробные и анаэробные азотфиксаторы, денитрификаторы, олиготрофы, целлюлозолитики). Вегетационный индекс NDVI был выше для растений на вспашке. По результатам статистического анализа (t-тест для сравнения независимых выборок) различия численности большинства эколого-трофических групп микроорганизмов при сравнении образцов почвы под нулевой обработкой и под вспашкой были незначимы. В верхнем слое почвы при нулевой обработке наблюдалась большая численность микромицетов, в том числе целлюлозолитических и фитопатогенных, чем при традиционной обработке. Попарное сравнение образцов разных слоев выявило сходное профильное распределение обилия бактерий и грибов при разных способах обработки. Сходство микробиологических характеристик наблюдалось в условиях более высокой влажности и процентного содержания азота в почве при нулевой обработке, по сравнению с почвой под вспашкой.

Ключевые слова: нулевая обработка, вспашка, бактерии, микроскопические грибы.

The influence of agricultural treatment type on the microbial properties of sod-podzolic soil

A. D. Zhelezova^{1*}, D. I. Passova², D. A. Nikitin¹,
M. A. Yashin¹, S. V. Zhelezova²

¹V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 2119017, Russian Federation,
<https://orcid.org/0000-0002-2086-299X>, *e-mail: alferrum@mail.ru.

²Russian State Agrarian University –
Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev,
49 Timiryazevskaya Str., Moscow 127550, Russian Federation.

Received 28.05.2019, Accepted 21.11.2019

Abstract: In this study we examined the effects of conventional agricultural treatment with plowing and no-till treatment on the physical, chemical and microbiological properties of agro-transformed sod-podzolic loamy soil. Soil was sampled in eightfold spatial replication from the arable layers (0–10, 10–20, 20–30 cm) of field No. 2 of the long-term field experiment of the Center for Precision Agriculture of the Russian State Agrarian University in June, 2018. The crop type on the field No. 2 was vetch and oat mix. Moisture

content, water holding capacity, pH, percentage of carbon and nitrogen were determined. The NDVI vegetation index was measured using GreenSeeker HandHeld and used to estimate the plant development intensity. Microbiological properties were assessed by selective plate counts. The abundance and activity were estimated for the next ecological and trophic groups of microorganisms: heterotrophic ammonifiers, aerobic and anaerobic nitrogen-fixing agents, denitrifiers, oligotrophs, cellulolytics. The vegetation index NDVI was higher for plants growing on the plowed part of the field. The differences in microbiological properties when comparing soil samples under no-till and under plowing were insignificant (by t-test for the independent groups comparison). In no-till samples a greater number of micromycetes, including cellulolytic and phytopathogenic, was observed compared to conventional treatment. Profile distributions of bacterial and fungal gene abundances were similar for both treatments according to the paired comparison of samples from different layers. The similarity in microbiological properties was found in the condition of a higher moisture content of the arable layer of the soil and a higher percentage of nitrogen were revealed in the soil under no-till compared with the soil treated by plowing.

Keywords: no-till, tillage, soil bacteria, soil fungi.

ВВЕДЕНИЕ

Традиционная обработка почвы на основе вспашки с оборотом пласта служит для оптимизации агрофизических свойств пахотного слоя (повышение аэрации, снижение твердости) и существенно снижает засоренность посевов. В настоящее время во всем мире возрастает интерес к минимальным обработкам и нулевым (no-till) технологиям, которые считаются почвосберегающими и более выгодными с экономической точки зрения ([Орлова и др., 2006](#); [Мельников, Железова, 2019](#)). Применение ресурсосберегающих технологий подразумевает снижение количества и глубины механических обработок, использование относительно легкой сельскохозяйственной техники для предотвращения переуплотнения, сохранение растительной мульчи на поверхности почвы ([Rainbow, Derpsch, 2011](#); [Кирюшин, 2014](#)). При нулевой обработке поверхностный слой почвы более уплотнен, по сравнению с традиционной обработкой, что помогает сохранить запас почвенной влаги и защитить почву от водной и ветровой эрозии ([Gras, Hernández, 2016](#)).

Сельскохозяйственные обработки изменяют экологические характеристики почвы как среды обитания микроорганизмов. Микробное сообщество обрабатываемых почв по своему таксономическому составу и функциям значительно отличается от сообществ почв естественных биоценозов ([Bissett et al., 2011](#); [Upchurch et al., 2008](#)). Наблюдается снижение численности и разнообразия микробиоты в почвах пашни, по сравнению с залежными почвами ([Semenov et al., 2018](#)), что может ослаблять супрессивную активность почв по отношению к патогенам ([Agtmaal van et al., 2018](#)). Снижение интенсивности воздействия при переходе от традиционной вспашки к минимальной и нулевой обработке рассматривается как способ сохранения естественной структуры почвы, ее обогащения органическим веществом и восстановления функционального и видового разнообразия микробного сообщества ([Simmons, Coleman, 2008](#); [Capelle van et al., 2012](#); [Souza et al., 2015](#)). Влияние применения ресурсосберегающих технологий земледелия на микробное сообщество почв было изучено для разных биоклиматических зон ([Widmer et al., 2006](#); [Hydbom et al., 2017](#); [Babin et al., 2018](#); [Kaurin et al., 2018](#)). При сниженной интенсивности сельскохозяйственных обработок наблюдается более высокая численность микромицетов ([Hydbom et al., 2017](#)), большее обилие бактерий и функциональных генов ([Kaurin et al., 2018](#)). Способ основной обработки почвы наряду с возделываемой культурой влияет на структуру прокариотного сообщества ([Babin et al., 2018](#)). Однако подобные исследования ранее не проводились для дерново-подзолистых почв.

Целью исследования было сравнение микробиологических свойств дерново-подзолистой почвы в условиях применения двух способов сельскохозяйственной обработки: традиционной, включающей вспашку с оборотом пласта, и нулевой.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования были образцы из поверхностного (0–30 см) слоя почвы опытного поля № 2 Центра точного земледелия РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева (Москва, 55.8368° N; 37.5635° E). Данная территория располагается на моренной равнине на водоразделе рек Москвы и Яузы у склона Клинско-

Дмитровской гряды ([Патыка и др., 2009](#)). Почва была определена как агротрансформированная дерново-подзолистая среднесуглинистая на неоднородной почвообразующей породе с включениями тяжелосуглинистого материала и опесчаненными линзами ([Хитров, 2012](#)).

Научно-производственный опыт Центра точного земледелия представляет собой двухфакторный полевой эксперимент, заложенный в 2009 г. систематически, двухъярусно, в двухкратной повторности ([Железова и др., 2017](#)). Опытный полигон включает четыре поля общей площадью 6 га. В эксперименте используется четырехпольный зернопропашной севооборот: озимая пшеница + горчица пожнивно; картофель; ячмень; вико-овсяная смесь. Севооборот развернут во времени и в пространстве, площадь отдельных полей севооборота составляет 1.4 и 0.8 га. Каждое поле разделено на 8 стационарных учетных делянок, где попарно в двойной повторности изучают влияние двух факторов: фактор А – технология возделывания полевых культур: точное земледелие и традиционное, фактор Б – прием основной обработки почвы. В опыте используются два варианта основной обработки почв: традиционная отвальная вспашка с культивацией (вспашка с оборотом пласта на глубину 20–22 см) и ресурсосберегающая технология (нулевая обработка под вико-овсяную смесь и пшеницу и минимальная обработка под картофель и ячмень). В данной работе оценивали влияние на микробиологические свойства почвы только второго фактора, т. е. способа обработки почвы.

Исследования проводили на поле № 2 площадью 1.4 га, под посевами вико-овсяной смеси. Предшественник – ячмень яровой. Подготовка почвы на варианте традиционной отвальной вспашки (далее “Вспашка”) включала лущение жнивья после уборки предшественника и зяблевую вспашку с оборотом пласта (сентябрь 2017 г.), ранневесеннее боронование для закрытия влаги (конец апреля), предпосевную культивацию с внесением удобрений. Предпосевное внесение аммиачной селитры (N34) в норме 150 кг/га в физическом весе было проведено 10 мая 2018 г. На варианте “Нулевая обработка, прямой посев” (далее “Нулевая”) удобрения вносят поверхностно без заделки в почву. Посев вико-овсяной смеси был проведен 11 мая 2018 г., норма высева 190 кг/га. Посев

по варианту “Вспашка” осуществляли дисковой сеялкой AMAZONE D-9-30 на глубину 5–6 см, по варианту “Нулевая” пневматической стерневой сеялкой с долотообразным сошником AMAZONE Primera DMC-3000 на глубину 4–5 см. В момент посева деланки варианта “Нулевая” были покрыты прошлогодней стерней ячменя и вегетирующими озимыми сорняками с площадью проективного покрытия 50–80 %. Посев осуществляли в стерню. Для борьбы с сорной растительностью в день проведения посева деланки по варианту “Нулевая” были обработаны гербицидом Раундап (д. в. глифосат) в дозе 6 л/га с расходом рабочей жидкости 300 л/га.

Образцы почвы для микробиологических исследований отбирали 15 июня 2018 г. из верхнего горизонта с помощью почвенного бура с глубин 0–10, 10–20 и 20–30 см. Было заложено по восемь точек по варианту “Вспашка” и “Нулевая” (рис. 1).

Суммарно для исследования было отобрано 48 образцов. В момент отбора образцов почвы овес был в фазе выхода в трубку, вика в фазе 5–6 листьев, до цветения. Проективное покрытие посева составляло 80–100 %; высота полога посева 20–25 см. Для оценки развития биомассы посева в местах отбора почвенных проб с помощью прибора GreenSeeker HandHeld (Trimble) в момент отбора проб определяли вегетационный индекс NDVI посева.

Влажность в образцах определяли термостатно-гравиметрическим методом: высушивание образцов при 105 °С на протяжении 10 часов, после чего проводили измерение уменьшения массы ([Вадюнина, Корчагина, 1996](#)). Для оценки водоудерживающей способности (влажность после насыщения) для образцов почвы массой около 30 г проводили насыщение дистиллированной водой в течение 10 ч. и последующим свободным стеканием в течение 4 ч.

Был определен показатель pH водной вытяжки (в пропорции 1 : 2.5) на приборе РВ-11 Sartorius. Процентное содержание общего углерода и азота в образцах определяли на приборе CN-анализатор Vario Macro cube Elementar Analysensysteme.

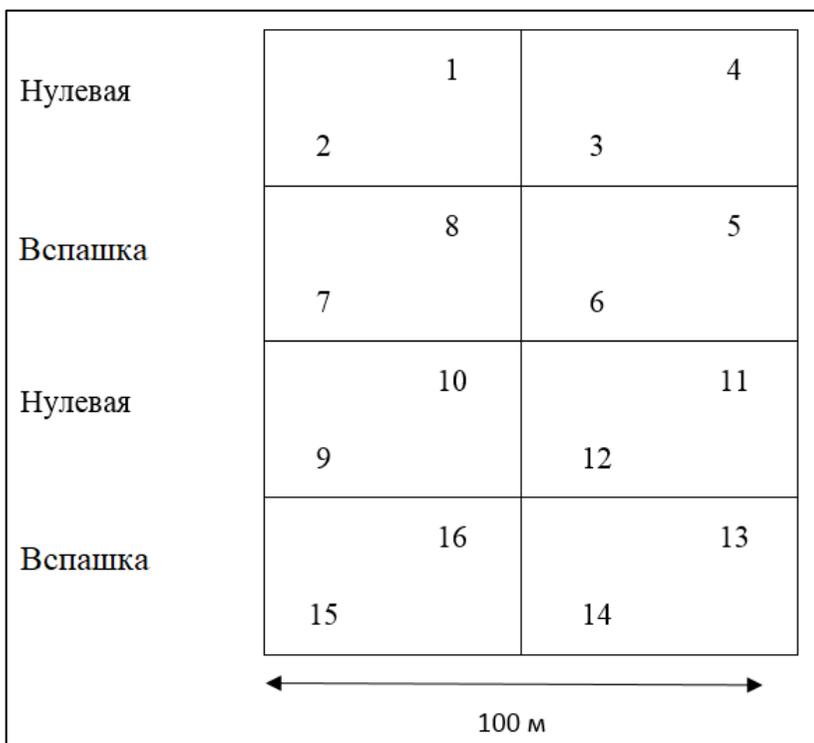


Рис. 1. Схема пробоотбора на поле № 2 ЦТЗ РГАУ – МСХА.

Fig. 1. Sampling scheme on the field No. 2 of the Center for Precision Agriculture of the Russian State Agrarian University.

Для характеристики микробного сообщества почв использовался метод микробиологического посева и количественная ПЦР препаратов ДНК, выделенных из почвы. Выделение ДНК из образцов, отобранных с трех глубин (0–10, 10–20, 20–30 см), проводили с помощью набора Sileks MagNA для почв по методике производителя с модификацией на этапе гомогенизации: был использован гомогенизатор Precellys 24 (BertinTechnologies, Франция), программа 5. Полимеразную цепную реакцию (ПЦР) в реальном времени использовали для оценки количества копий рибосомальных генов бактерий и грибов. Количественную ПЦР осуществляли в амплификаторе C1000 Thermal Cycler с CFX96 Real-Time System

(Bio-Rad Laboratories, USA). Была использована методика, описанная ранее ([Железова и др., 2017](#)).

Для характеристики микробиологического состава сообщества почв из образцов с глубины 0–10 см был сделан посев на элективные питательные агаризованные среды, выбранные для оценки численности разных эколого-трофических групп микроорганизмов: МПА (для бактерий-аммонификаторов – деструкторов белка различной природы), среда Гетчинсона с бумажными дисками (для целлюлозолитиков), среда Чапека (для микроскопических грибов), голодный агар (для олиготрофных бактерий и актиномицетов), среда Эшби (для свободноживущих азотфиксирующих бактерий) ([Теппер и др., 2005](#); [Кутовая и др., 2018](#)) (табл.1). Также посев проводили методом предельных разведений на жидкие среды: среда Виноградского (для анаэробных азотфиксаторов) и ГНД (для денитрификаторов) ([Егоров, 1976](#); [Кутовая и др., 2018](#)). Для посева брали 5 г свежей почвы и суспендировали в 50 мл стерильной воды. Для десорбции микробных клеток суспензия обрабатывалась на орбитальном шейкере “MSV-3500” (Латвия) при 300 об./мин в течение 10 минут, после готовили серию разведений суспензии в 10 раз. В таблице 1 указаны составы сред, используемые для посева разведения почвенной суспензии, и сроки учета каждой среды.

Статистическую обработку результатов проводили в программах STATISTICA 8.0 и Microsoft Excel, различие между средними значениями исследуемых признаков на двух вариантах проверяли по t-критерию для независимых выборок.

Таблица 1. Методика микробиологического посева на твердые и жидкие среды
Table 1. Methodology of microbiological plating on solid and liquid media

Название среды	Состав среды на 600 мл	Разведения почвенной суспензии	Объем суспензии для посева	Сроки учета, сутки
МПА	Мясопептонный бульон, агар	3–5	200 мкл	3
Среда Гетчинсона	K_2HPO_4 – 0.6 г; $CaCl_2$ – 0.1 г; $MgSO_4$ – 0.18 г; $NaCl$ – 0.06 г; $FeCl_3$ – 0.006 г; $NaNO_3$ – 1.50 г; $CaCO_3$ – 6 г. После застывания среды в чашках Петри перед посевом на поверхность среды кладут фильтровальную бумагу в качестве источника целлюлозы	1–3	1 мл	24
Среда Чапека	K_2HPO_4 – 0.6 г; $MgSO_4$ – 0.3 г; $NaNO_3$ – 1.8 г; KCl – 0.3 г; сахароза – 18 г; $FeSO_4$ – 0.006 г; агар-агар – 12 г. Перед разливом по чашкам Петри в колбу с горячей средой добавляют стрептомицин.	2–4	200 мкл	5
Голодный агар	Агар-агар – 12 г.	3–5	200 мкл	5
Среда Эшби	K_2HPO_4 – 0.12 г; $MgSO_4$ – 0.12 г; $NaCl$ – 0.12 г; K_2SO_4 – 0.06 г; Сахар – 7 г; $CaCO_3$ – 1.8 г; Агар-агар – 12 г.	По 25 комочков обрастания на 2 чашки Петри готовят из 2 г воздушно-сухой почвы с увлажнением стерильной водой		10
Жидкая среда Виноградского	Глюкоза – 20 г; K_2HPO_4 – 0.6 г; $MgSO_4$ – 0.6 г; в каждую пробирку перед разливом среды добавляют $CaCO_3$ на кончике шпателя.	2–6	1 мл	5, 7, 10, 12
Жидкая среда ГНД	KH_2PO_4 – 0.6 г; молочная кислота (80 %) – 0.36 г; яблочная кислота – 0.3 г; $C_2H_3O_2Na$ – 0.3 г; мясopептонный бульон – 60 мл; $FeCl_3$ – 0.012 г; $NaOH$ – 3.6 таблетки; бромтимоловый синий – 6 мл.	2–11	1 мл	3, 6, 10, 12

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Влажность почвы варьировала от 10.5 до 15.4 %, водоудерживающая способность – от 39 до 57 % (рис. 2). Способ обработки почвы не оказывал существенного влияния на водоудерживающую способность. На момент исследования 15 июня 2018 г. была выявлена более высокая влажность почвы на варианте “Нулевая” (табл. 2). Это явление может быть как следствием сохранения пожнивных растительных остатков в поверхностном слое почвы, так и более низкого водопотребления и развития биомассы посева из-за повышенной плотности почвы. При сравнении значений вегетационного индекса NDVI посевов в условиях двух способов обработки почвы было показано, что посева более интенсивно развиваются на варианте “Вспашка”, чем на “Нулевой”. Среднее значение NDVI по всем обследуемым точкам составило 0.66 на “Вспашке” и 0.46 на “Нулевой” (табл. 2).

Реакция среды (рН) водной вытяжки в изученных образцах изменялся от 4.0 до 5.4, что несколько ниже, чем для большей части дерново-подзолистых почв средней полосы России. Согласно ранее опубликованным данным, кислотность почвы значительно варьирует в пределах поля № 2 и отмечается общий тренд снижения средней величины рН на данном поле за предшествующий период наблюдений ([Железова и др., 2017](#)). Величина рН в разных точках пробоотбора существенно различалась, что свидетельствует о заметной почвенной неоднородности, которая может оказывать большое влияние на микробиологические показатели и элиминировать влияние способа сельскохозяйственной обработки.

Процентное содержание углерода варьировало в пределах 1.26–1.85 % для образцов верхнего слоя почвы (0–10 см) и значительно снижалось с глубиной. Выявлено более высокое процентное содержание азота в образцах почвы при нулевой обработке (табл. 2). Это согласуется с ранее полученными данными об увеличении пулов углерода и азота в почве при снижении интенсивности обработок ([Mishra et al., 2010](#)). Следует отметить достаточно заметную неоднородность процентного содержания углерода и азота, не обусловленную способами сельскохозяйственной обработки.

Таблица 2. Результаты сравнения выборок ($n = 48$), сгруппированных по способу сельскохозяйственной обработки (t-test by group treatment)
Table 2. Comparison results of samples ($n = 48$) grouped according to agricultural treatment (t-test by group treatment)

	Mean нулевая	Mean вспашка	Std. Dev. нуле- вая	Std. Dev. вспаш- ка	t- value	P
Влажность	14 %	12 %	1 %	1 %	5.49	0.000
Водоудер- живающая способ- ность	48 %	47 %	4 %	3 %	0.46	0.646
pH	4.87	4.61	0.37	0.36	2.50	0.016
C, %	1.457	1.277	0.189	0.089	2.44	0.029
N, %	0.199	0.160	0.031	0.009	3.35	0.005
NDVI	0.46	0.66	0.07	0.11	-4.21	0.001

Примечание. Значимые различия ($p < 0.01$) между средними значениями выделены жирным шрифтом.

Распределение обилия бактерий и грибов в пахотном слое было исследовано с помощью метода количественной ПЦР. В образцах численность копий гена 16S рРНК бактерий варьировала от 8.71×10^9 до 8.11×10^8 копий/г почвы, численность копий гена ITS региона грибов – от 1.47×10^9 до 1.09×10^8 копий/г почвы. Для разных точек пробоотбора выявлены сходные тренды снижения обилия бактерий и грибов с глубиной: незначительная разница между образцами с глубин 0–10 см и 10–20 см, статистически достоверное снижение обилия к глубине 20–30 см по сравнению с глубиной 0–10 см (рис. 3). Способ обработки не оказывал влияния на обилие грибов и бактерий и на их распределение по глубине пахотного слоя. Согласно данным других исследований, при нулевой обработке в почве наблюдается стратификация микробного сообщества и органического вещества, аналогичное его распределению в профиле почв под естественным биоценозом ([Blanco-Canqui, Lal, 2008](#); [Rahman et al., 2008](#); [Martínez et al., 2016](#)). Отсут-

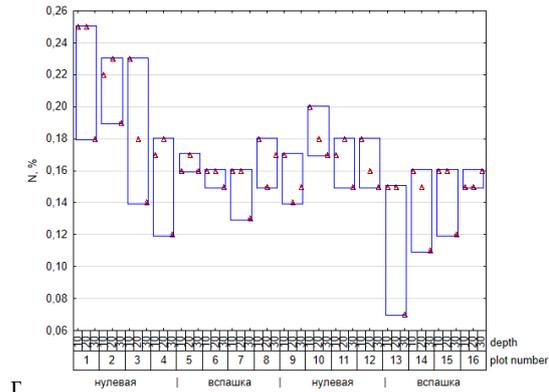
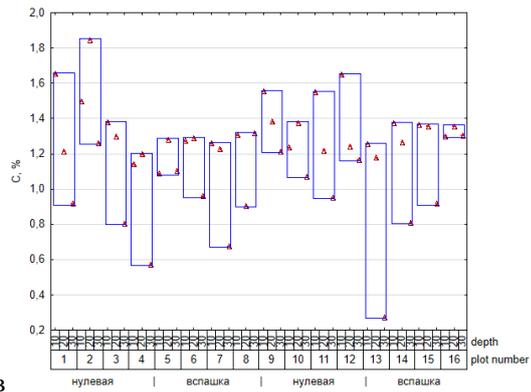
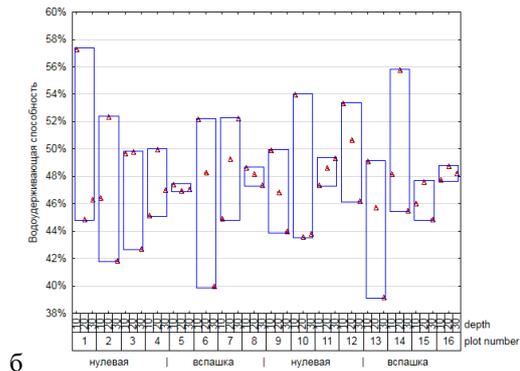
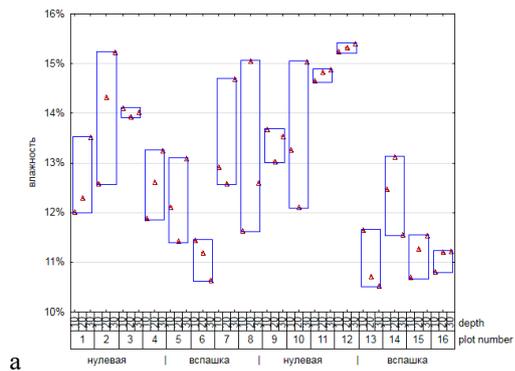
ствие ярко выраженных различий в дифференциации обилия бактерий и грибов может быть связано с изменением способа основной обработки почв при возделывании картофеля и ячменя, для которых применяется минимальная технология.

Для оценки воздействия способа сельскохозяйственной обработки на микробное сообщество пахотного горизонта почвы был проведен посев на элективные среды. Ввиду незначительной профильной дифференциации посев был сделан для образцов слоя 0–10 см. Не было выявлено значимого влияния способа сельскохозяйственной обработки на численность большинства изученных эколого-трофических групп микроорганизмов (табл. 3), за исключением численности микроскопических грибов, определяемой микробиологическим посевом на среду Чапека.

Численность бактерий-аммонификаторов во всех образцах варьировала в пределах $2,9 \times 10^6 - 8,9 \times 10^7$ КОЕ/г почвы. Эти значения сопоставимы с ранее измеренными для почв длительного опыта РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева ([Поддымкина, 2008](#)). Процент обрастания почвенных комочков на среде Эшби составлял 40–100 %, что свидетельствует о высокой численности свободноживущих азотфиксирующих бактерий и сопоставимо с данными, полученными для черноземных почв ([Василенко и др., 2014](#); [Кутовая и др., 2016](#)). Активность и численность анаэробных азотфиксаторов определяли на жидкой среде Виноградского по интенсивности газообразования.

Выявлена более высокая активность свободноживущих азотфиксаторов в образцах при вспашке – газообразование наблюдалось на 5-е сутки инкубации, однако их численность, рассчитанная по таблицам Мак-Креди ([Егоров, 1976](#)), не различается для образцов под разными обработками.

Денитрификация является многостадийным процессом восстановления нитратов до промежуточных продуктов (оксидов азота) или до молекулярного азота. В агроценозах этот процесс приводит к уменьшению количества нитратных форм азота в почве, в том числе вносимых в виде удобрений. Эмиссия закиси азота увеличивается пропорционально дозе применяемых азотных удобрений и при разрушении почвенной структуры ([Степанов, 2011](#); [Добровольская и др., 2015](#)).



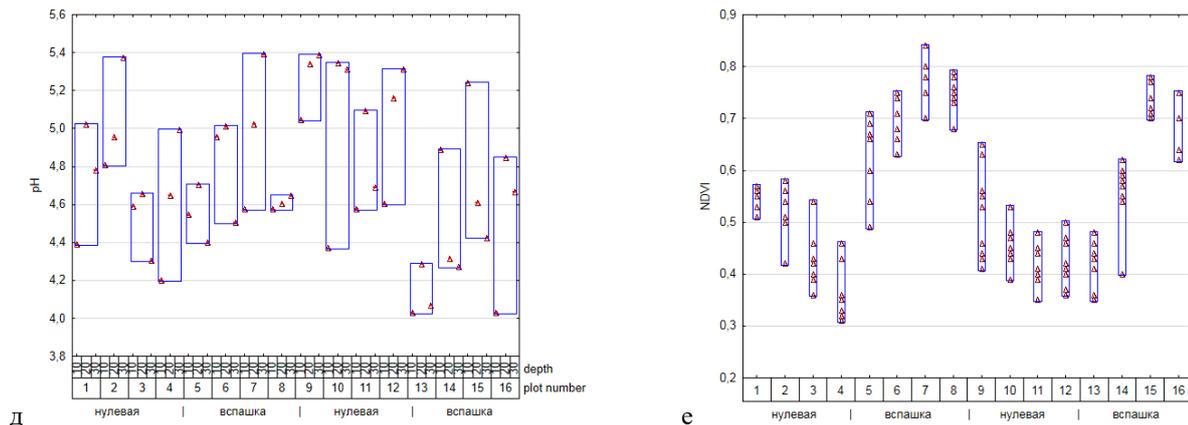


Рис. 2. Внутрипольное варьирование и размах индивидуальных значений влажности (а), водоудерживающей способности (б), процентного содержания углерода (в), азота (г) и рН почвы (д) с трех глубин отбора образцов и варьирование вегетационного индекса NDVI посева (е) в разных точках на поле.

Fig. 2. Intrafield variation and range of individual values of moisture (a), water holding capacity (b), carbon content percentage (c), nitrogen (d) and soil pH (e) from three sampling depths and variation of the stands NDVI (f) in different field locations.

Таблица 3. Результаты сравнения выборок (n = 8), сгруппированных по способу сельскохозяйственной обработки (t-test by group treatment)

Table 3. Results of samples comparison (n = 8) grouped according to the method of agricultural treatment (t-test by group treatment)

Среда	Экологическая группа микроорганизмов	Mean нулевая	Mean вспашка	Std.Dev. нулевая	Std.Dev. вспашка	t-value	p
МПА	аммонификаторы, гетеротрофы	1.98E + 07	1.91E + 07	2.07E + 07	2.87E + 07	0.057	0.955
ГА	бактерии-олиготрофы	1.54E + 07	1.98E + 07	9.41E + 06	1.29E + 07	-0.786	0.445
ГА	актиномицеты-олиготрофы	4.41E + 06	4.09E + 06	3.17E + 06	2.11E + 06	0.233	0.819
Чапек	микробицеты	1.03E + 06	6.69E + 05	2.69E + 05	2.14E + 05	2.981	0.010
Эшби	аэробные азотфиксаторы	67 %	71 %	23 %	20 %	-0.377	0.712
Гетчинсон	целлюлозолитики	5.11E + 05	4.78E + 05	1.84E + 05	1.92E + 05	0.360	0.725
Гетчинсон	индекс Шеннона – разнообразие микробицетов	1.308	1.362	0.291	0.252	-0.399	0.696
ГНД – изменение цвета	денитрификаторы (восстановление NO ₃ ⁻)	6.26E + 05	7.31E + 02	1.77E + 06	1.11E + 03	1.000	0.334
ГНД – накопление биомассы	денитрификаторы	9.34E + 03	2.76E + 04	8.97E + 03	4.29E + 04	-1.178	0.259
ГНД – газообразование	денитрификаторы (образование оксидов азота)	3.21E + 09	3.45E + 08	8.82E + 09	7.78E + 08	0.914	0.376
Виноградского – газообразование	анаэробные азотфиксаторы	6.63E + 05	7.26E + 05	1.14E + 06	1.11E + 06	-0.113	0.912

Примечание. Значимые различия (p < 0.05) между средними значениями выделены жирным шрифтом. Количество микроорганизмов указано в КОЕ/г почвы.

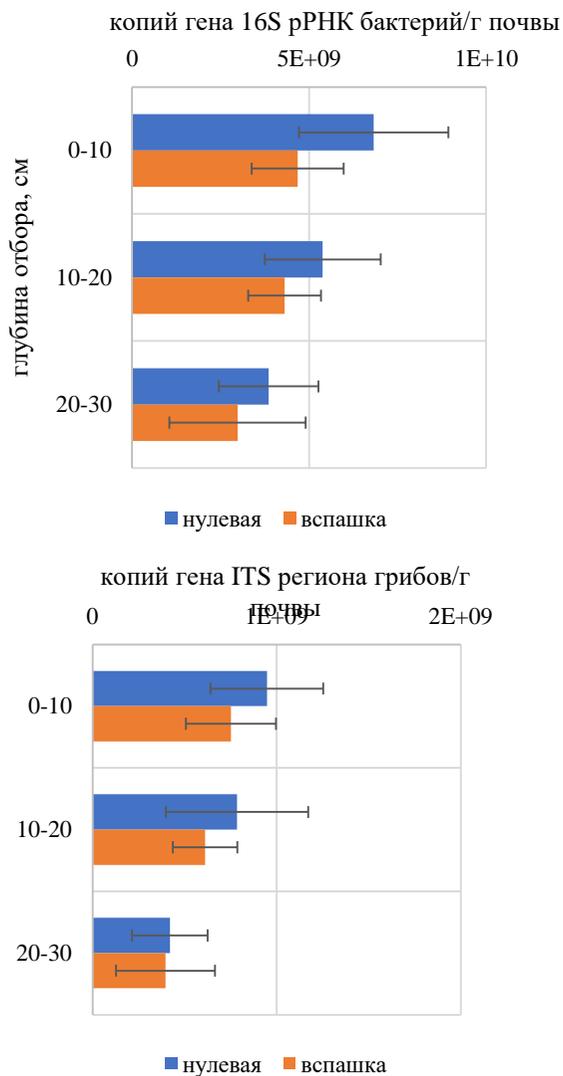


Рис. 3. Изменение обилия бактерий (по количеству копий гена 16S рРНК) и грибов (по количеству копий гена ITS) с глубиной в условиях нулевой обработки и вспашки.

Fig. 3. Change of bacterial and fungal ribosomal gene abundances with depth under no-till and conventional tillage.

Денитрифицирующую активность почвенной микробиоты детектировали на среде ГНД по трем признакам – изменение цвета (1-я стадия процесса), помутнение среды (накопление биомассы денитрификаторов) и газообразование (последние стадии). В некоторых образцах (точки пробоотбора 3, 4, 6, 14, 16) выявлена более высокая численность микроорганизмов-денитрификаторов по сравнению с другими образцами. Это может быть следствием почвенной неоднородности, в частности, в значениях pH, к которому весьма чувствительна эта эколого-трофическая группа. Активность денитрификаторов повышена в кислых почвах ([Bobbink et al., 2010](#)). Более активное газообразование было выявлено в образцах почвы под вспашкой. Изменение цвета среды (восстановление нитрата до нитрита) наблюдалось в нескольких образцах почв под нулевой обработкой. Не было выявлено статистически значимого влияния способа сельскохозяйственной обработки почвы на показатели денитрифицирующей активности ввиду их высокого варьирования.

Экологическая группа олиготрофов была в основном представлена бактериями ($4.9 \times 10^6 - 4.2 \times 10^7$ КОЕ/г почвы), численность актиномицетов была ниже ($3.8 \times 10^5 - 9.7 \times 10^6$ КОЕ/г почвы). Количество олиготрофных и гетеротрофных бактерий было сопоставимо. Способ обработки почвы не оказывал значимого влияния на численность олиготрофных бактерий (табл. 3). Олиготрофные микроорганизмы развиваются на финальных стадиях сукцессии разложения органического вещества, их численность может быть использована как индикатор степени нарушенности почв: согласно ранее проведенным исследованиям на разных типах почв, при интенсивных системах земледелия численность олиготрофов ниже, чем при биологических системах земледелия ([Diepeningen Van et al., 2006](#); [Семенов и др., 2013](#)).

Численность и таксономический состав микромицетов определяли на средах Чапека и Гетчинсона. В образцах под традиционной обработкой было значимо снижено количество микроскопических грибов по сравнению с образцами под нулевой обработкой (табл. 3). Это согласуется с литературными данными об увеличении численности микромицетов при снижении интенсивности сельскохозяйственных воздействий ([Hydbom et al., 2017](#);

[Кутовая и др., 2018](#); [Schmidt et al., 2019](#)). Более высокая численность микромицетов при нулевой обработке может быть обусловлена следующими факторами: сохранение ненарушенной почвенной структуры и обилие растительных остатков в напочвенном слое и в верхнем горизонте почвы ([Hydbom et al., 2017](#)). При увеличении количества и интенсивности обработок нарушается сложение почвы, что может приводить к механическому разрыву, а также к снижению жизнеспособности грибных гиф. Растительные остатки используются многими микромицетами в качестве питательного субстрата.

Способ обработки почвы не влиял на индекс Шеннона, характеризующий биоразнообразие микромицетов (табл. 3). Не было выявлено значимого влияния способа обработки на численность грибов-целлюлозолитиков ($2.5 - 8.7 \times 10^5$ КОЕ/г почвы). Отмечено, что численность микроскопических грибов, в целом, несколько выше для большинства образцов на среде Чапека, чем на среде Гетчинсона (исключение – точки пробоотбора 13 и 14). Это свидетельствует о высокой доле целлюлозолитиков, активно разрушающих растительные остатки, вне зависимости от способа обработки почвы. Анаэробное разложение целлюлозы, определяемое на жидкой среде Гетчинсона, наблюдалось только в 5 образцах в 1–2-м разведении, что свидетельствует о низкой гидролитической активности микробных сообществ исследуемых почв.

Из исследованных почв выделено 18 видов микромицетов на среде Чапека и 15 видов – на среде Гетчинсона, которые относятся к 23 родам из 2 отделов (табл. 3). Количество выделенных видов микроскопических грибов в исследуемых образцах почвы колебалось от 7 до 13 на образец. Отдел Mucoromycota представлен родами *Mortierella*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Zygorrhynchus*. Отдел Ascomycota – 1 телеоморфным (*Talaromyces*) и 13 анаморфными родами. Также было выделено 3 типа изолятов, представленных стерильными пигментированными или гиалиновыми мицелиями неопределенного систематического положения ввиду их сложного культивирования. Наибольшим видовым разнообразием характеризовались роды: *Penicillium* (6 видов), *Acremonium* (3 вида) и *Fusarium* (3 вида). Они являются типичными представителями сапротрофного блока почвенной микобиоты в умеренном климате

([Мирчинк, 1988](#); [Domsch et al., 2007](#)). В то же время некоторые представители *Penicillium* – активные целлюлозолитики, а представители рода *Fusarium* – фитопатогены ([Ellis, 1971](#); [Domsch et al., 2007](#)). Максимальная встречаемость (в посевах хотя бы на одной из использованных сред) выявлена у таксонов: *Penicillium* spp.; *Acremonium* spp.; *Clonostachys rosea*, *Fusarium* spp., *Mucor hiemalis* и у стерильного гиалинового мицелия.

В исследованных почвах по обилию, численности и таксономическому разнообразию преобладают олиготрофные/сапротрофные (виды родов *Mortierella*, *Paecilomyces*, *Penicillium*, *Talaromyces*) микромицеты – до 1.2×10^5 КОЕ/г почвы. Значительно меньше по обилию целлюлозолитических (виды родов *Clonostachys*, *Humicola*, *Mucor*, *Monilia*, *Rhizopus*, *Trichoderma*, *Zygorrhynchus*) и фитопатогенных микроскопических грибов (виды родов *Acremonium*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Verticillium*, *Ulocladium*). Относительно высокая численность (до 1.2×10^4 КОЕ/г почвы) целлюлозолитиков выявлена в образцах 3 и 4 (преобладали представители рода *Rhizopus*) и, преимущественно, на среде Гетчинсона. Значительная численность (до 1.3×10^4 КОЕ/г почвы) фитопатогенных микромицетов выявлена только в образцах 1, 2 (преобладали представители рода *Cladosporium*). В исследовании отмечен лишь 1 энтомопатогенный род микромицета – *Metarhizium*. Эпифитная/эндофитная экологическая группа представлена единичными колониями *Aurebasidium pullulans* и *Epicoccum nigrum*, маловажными для сельскохозяйственных растений данных полей ввиду малой численности микобионтов.

По таксономическому составу микромицетов почвы под вспашкой и нулевой обработкой незначительно различались. *Humicola fuscoatra*, *Metarhizium* spp., *Pochonia* spp. были выявлены в единичных образцах почвы под вспашкой. *Aurebasidium pullulans*, *Cladosporium herbarum*, *Rhizopus stolonifer*, *Geotrichum* spp., *Zygorrhynchus moelleri*, *Doratomyces microsporus* – выявлены только в единичных образцах почвы под нулевой обработкой.

С помощью корреляционного анализа была оценена взаимозависимость изученных показателей. Не было выявлено корреляций, значимых при $p < 0.05$ между показателями численности

микроорганизмов и физическими и химическими характеристиками почвы, кроме корреляции процентного содержания азота с интенсивностью обесцвечивания среды ГНД и численностью микромицетов. Выявленные корреляции могут быть обусловлены влиянием способа обработки почв.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При нулевой обработке наблюдалась более высокая влажность пахотного слоя почвы и большее процентное содержание азота, чем при традиционной обработке. Выявлена высокая неоднородность почвы исследуемого поля по рН и процентному содержанию С и N. Численность микромицетов, в особенности целлюлозолитических и фитопатогенных, была выше при нулевой обработке. Способ сельскохозяйственной обработки почвы не оказал значимого влияния на профилное распределение бактерий и грибов и на численность других исследованных экологических групп микроорганизмов. Таким образом, микробиологические характеристики дерново-подзолистой почвы под посевом викоовсяной смеси при применении нулевой обработки и вспашки почвы отличались незначительно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1996. 415 с.
2. Василенко Е.С., Кутовая О.В., Тхакахова А.К., Мартынов А.С. Изменение численности микроорганизмов в зависимости от величины агрегатов гумусового горизонта миграционно-мицелярного чернозема // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2014. Вып. 73. С. 85–97. DOI: [10.19047/0136-1694-2014-73-150-173](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2014-73-150-173).
3. Добровольская Т.Г., Звягинцев Д.Г., Чернов И.Ю., Головченко А.В., Зенова Г.М., Лысак Л.В., Манучарова Н.А., Марфенина О.Е., Полянская Л.М., Степанов А.Л., Умаров М.М. Роль микроорганизмов в экологических функциях почв // Почвоведение. 2015. Т. 2015. № 9. С. 1087–1096. DOI: [10.7868/S0032180X15090038](https://doi.org/10.7868/S0032180X15090038).
4. Егоров Н.С. Практикум по микробиологии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1976. 307 с.
5. Железова А.Д., Тхакахова А.К., Ярославцева Н.В., Гарбуз С.А., Лазарев В.И., Козут Б.М., Кутовая О.В., Холодов В.А.

Микробиологические показатели агрегатов типичных черноземов в многолетних полевых опытах // Почвоведение. 2017. № 6. С. 711–717. DOI: [10.7868/S0032180X17060120](https://doi.org/10.7868/S0032180X17060120).

6. Железова С.В., Акимов Т.А., Белошапкина О.О., Березовский Е.В. Влияние разных технологий возделывания озимой пшеницы на урожайность и фитосанитарное состояние посевов (на примере полевого опыта Центра точного земледелия РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева) // Агрехимия. 2017. № 4. С. 65–75.

7. Кирюшин В.И. Наследие В.Р. Вильямса и современные проблемы агропочвоведения // Известия ТСХА. 2014. № 1. С. 5–15.

8. Кутовая О.В., Тхакахова А.К., Чевердин Ю.И. Влияние поверхностного переувлажнения на биологические свойства лугово-черноземных почв Каменной Степи // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2016. Вып. 82. С. 56–70. DOI: [10.19047/0136-1694-2016-82-56-70](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-82-56-70).

9. Кутовая О.В., Гребенников А.М., Тхакахова А.К., Исаев В.А., Гармашов В.М., Беспалов В.А., Чевердин Ю.И., Белобров В.П. Изменение почвенно-биологических процессов и структуры микробного сообщества агрочерноземов при разных способах обработки почвы // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2018. Вып. 92. С. 35–61. DOI: [10.19047/0136-1694-2018-92-35-61](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-92-35-61).

10. Мельников А.В., Железова С.В. Традиционная вспашка или нулевая технология – что выгоднее для производства озимой пшеницы в нечерноземной зоне России? // Теоретические и прикладные проблемы АПК. 2019. Т. 39. № 1. С. 35–40. DOI: [10.32935/2221-7312-2019-39-1](https://doi.org/10.32935/2221-7312-2019-39-1).

11. Мирчинк Т.Г. Почвенная микология. М.: Изд-во Московского университета, 1988. 220 с.

12. Орлова Л.В., Чернов Н.Д. Научно-практическое руководство по освоению и применению сберегающего земледелия. Рекомендации. М.: Евротехника, 2006. 183 с.

13. Патыка Н.В., Круглов Ю.В., Тихонович И.А., Патыка В.Ф. Профиль полиморфизма длин рестрикционных фрагментов (trFLP) комплекса прокариотных микроорганизмов подзолистых почв // Доповіді Національної академії наук України. 2009. Т. 1. С. 187–192.

14. Поддымкина Л.М. Влияние длительного применения средств химизации на микробиологическую активность дерново-подзолистой почвы // Известия ТСХА. 2008. № 2. С. 5–17.

15. Семенов А.М., Бубнов И.А., Семенов В.М., Семенова Е.В., Зеленев В.В., Семенова Н.А. Ежедневная динамика численности бактерий и эмиссии CO² почвы и связь их волнообразных колебаний с сукцессией

микробного сообщества // Почвоведение. 2013. Т. 2013. № 8. С. 963–979.
DOI: [10.7868/S0032180X13080078](https://doi.org/10.7868/S0032180X13080078).

16. Степанов А.Л. Микробная трансформация парниковых газов в почвах. М.: ГЕОС, 2011. 192 с.

17. Теплер Е.З., Шильникова В.К., Переверзева Г.И. Практикум по микробиологии. М.: Дрофа, 2005. 256 с.

18. Хитров Н.Б. Почвы длительного полевого опыта ТСХА // Известия ТСХА. 2012. № 3. С. 62–78.

19. Agtmaal van M., Straathof A.L., Termorshuizen A., Lievens B., Hoffland E., de Boer W. Volatile-mediated suppression of plant pathogens is related to soil properties and microbial community composition // Soil Biol. Biochem. 2018. Vol. 117. P. 164–174. DOI: [10.1016/j.soilbio.2017.11.015](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.11.015).

20. Babin D., Deubel A., Jacquiod S., Sørensen S.J., Geistlinger J., Grosch R., Smalla K. Impact of long-term agricultural management practices on soil prokaryotic communities // Soil Biol. Biochem. 2018. Vol. 129. P. 17–28. DOI: [10.1016/j.soilbio.2018.11.002](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.11.002).

21. Bissett A., Richardson A.E., Baker G., Thrall P.H. Long-term land use effects on soil microbial community structure and function // Appl. Soil Ecol. 2011. Vol. 51. P. 66–78. DOI: [10.1016/j.apsoil.2011.08.010](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.08.010).

22. Blanco-Canqui H, Lal R. No-Tillage and Soil-Profile Carbon Sequestration: An On-Farm Assessment // Soil Sci Soc Am J. 2008. Vol. 72. P. 693-701. DOI: [10.2136/sssaj2007.0233](https://doi.org/10.2136/sssaj2007.0233).

23. Bobbink R., Hicks K., Galloway J., Spranger T., Alkemade R., Ashmore M., Bustamante M., Cinderby S., Davidson E., Dentener F., Emmett B., Erisman J.W., Fenn M., Gilliam F., Nordin A., Pardo L., De Vries W. Global assessment of nitrogen deposition effects on terrestrial plant diversity: A synthesis // Ecol. Appl. 2010. Vol. 20. P. 30–59. DOI: [10.1890/08-1140.1](https://doi.org/10.1890/08-1140.1).

24. Capelle C. van, Schrader S., Brunotte J. Tillage-induced changes in the functional diversity of soil biota – A review with a focus on German data // Eur. J. Soil Biol. 2012. Vol. 50. P. 165–181. DOI: [10.1016/j.soilbio.2017.11.015](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.11.015).

25. Diepeningen A.D. Van, De Vos O.J., Korthals G.W., Van Bruggen A.H.C. Effects of organic versus conventional management on chemical and biological parameters in agricultural soils // Appl. Soil Ecol. 2006. Vol. 31. P. 120–135. DOI: [10.1016/j.apsoil.2005.03.003](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2005.03.003).

26. Domsch K.H., Gams W., Anderson T.-H. Compendium of Soil Fungi. Eching: IHW-Verlag, 2007. 672 p. DOI: [10.1111/j.1365-2389.2008.01052.1.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2008.01052.1.x).

27. Ellis M.B. Dematiaceous Hyphomycetes // Mycological Papers. 1971. Vol. 125. P. 1–30.

28. *Gras C., Hernández V.* Hegemony, Technological Innovation and Corporate Identities: 50 Years of Agricultural Revolutions in Argentina // Journal of agrarian change. 2016. Vol. 16. P. 675–683. DOI: [10.1111/joac.12162](https://doi.org/10.1111/joac.12162).
29. *Hydbom S., Ernfors M., Birgander J., Hollander J., Jensen E.S., Olsson P.A.* Reduced tillage stimulated symbiotic fungi and microbial saprotrophs, but did not lead to a shift in the saprotrophic microorganism community structure // Appl. Soil Ecol. 2017. Vol. 119. P. 104–114. DOI: [10.1016/j.apsoil.2017.05.032](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.05.032).
30. *Kaurin A., Mihelič R., Kastelec D., Grčman H., Bru D., Philippot L., Suhadolc M.* Resilience of bacteria, archaea, fungi and N-cycling microbial guilds under plough and conservation tillage, to agricultural drought // Soil Biol. Biochem. 2018. Vol. 120. P. 233–245. DOI: [0.1016/j.soilbio.2018.02.007](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.02.007).
31. *Martínez I., Chervet A., Weisskopf P., Sturny W.G., Etana A., Stettler M., Forkman J., Keller T.* Two decades of no-till in the Oberacker long-term field experiment: Part I. Crop yield, soil organic carbon and nutrient distribution in the soil profile // Soil Tillage Res. 2016. Vol. 163. P. 141–151. DOI: [10.1016/j.still.2016.05.021](https://doi.org/10.1016/j.still.2016.05.021).
32. *Mishra U., Ussiri D.A.N., Lal R.* Tillage effects on soil organic carbon storage and dynamics in Corn Belt of Ohio USA // Soil Tillage Res. 2010. Vol. 107. P. 88–96. DOI: [10.1016/j.still.2010.02.005](https://doi.org/10.1016/j.still.2010.02.005).
33. *Rahman M., Okubo A., Sugiyama S., Mayland H.* Physical, chemical and microbiological properties of an Andisol as related to land use and tillage practice // Soil Tillage Res, 2008. Vol. 101. P. 10–19. DOI: [10.1016/j.still.2008.05.006](https://doi.org/10.1016/j.still.2008.05.006).
34. *Rainbow R., Derpsch R.* Advances in no-till farming technologies and soil compaction management in rainfed farming systems // Rainfed farming systems. 2011. P. 991–1014.
35. *Schmidt R., Mitchell J., Scow K.* Cover cropping and no-till increase diversity and symbiotroph:saprotroph ratios of soil fungal communities // Soil Biol. Biochem. 2019. Vol. 129. P. 99–109. DOI: [10.1016/j.soilbio.2018.11.010](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.11.010).
36. *Semenov M. V., Chernov T.I., Tkhakakhova A.K., Zhelezova A.D., Ivanova E.A., Kolganova T.V., Kutovaya O.V.* Distribution of prokaryotic communities throughout the Chernozem profiles under different land uses for over a century // Appl. Soil Ecol. 2018. Vol. 127. P. 8–18. DOI: [10.1016/j.apsoil.2018.03.002](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.03.002).
37. *Simmons B.L., Coleman D.C.* Microbial community response to transition from conventional to conservation tillage in cotton fields // Appl. Soil Ecol. 2008. Vol. 40. P. 518–528. DOI: [10.1016/j.apsoil.2008.08.003](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2008.08.003).

38. Souza R.C., Hungria M., Cantão M.E., Vasconcelos A.T.R., Nogueira M.A., Vicente V.A. Metagenomic analysis reveals microbial functional redundancies and specificities in a soil under different tillage and crop-management regimes // *Appl. Soil Ecol.* 2015. Vol. 86. P. 106–112. DOI: [10.1016/j.apsoil.2014.10.010](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.10.010).
39. Upchurch R., Chiu C.Y., Everett K., Dyszynski G., Coleman D.C., Whitman W.B. Differences in the composition and diversity of bacterial communities from agricultural and forest soils // *Soil Biol. Biochem.* 2008. Vol. 40. P. 1294–1305. DOI: [10.1016/j.soilbio.2007.06.027](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.06.027).
40. Widmer F., Rasche F., Hartmann M., Fliessbach A. Community structures and substrate utilization of bacteria in soils from organic and conventional farming systems of the DOK long-term field experiment // *Appl. Soil Ecol.* 2006. Vol. 33. P. 294–307. DOI: [10.1016/j.apsoil.2005.09.007](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2005.09.007).

REFERENCES

1. Vadyunina A.F., Korchagina Z.A., *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv* (Methods of studying of physical soil properties), Moscow: Agropromizdat, 1996, 415 p.
2. Vasilenko Y.S., Kutovaya O.V., Tkhakakhova A.K., Martynov A.S., Changes in the intensity of soil-biological processes caused by different-sized aggregates of migratory-mycelial chernozems, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2014, Vol. 73, pp.85–97, DOI: [10.19047/0136-1694-2014-73-150-173](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2014-73-150-173).
3. Dobrovolskaya T.G., Zvyagintsev D.G., Chernov I.Y., Golovchenko A.V., Zenova G.M., Lysak L.V., Manucharova N.A., Marfenina O.E., Polyanskaya L.M., Stepanov A.L., Umarov M.M., The role of microorganisms in the ecological functions of soils, *Eurasian Soil Science*, 2015, Vol. 48, No. 9, pp. 959–967. DOI: [10.7868/S0032180X15090038](https://doi.org/10.7868/S0032180X15090038).
4. Egorov N.S., *Praktikum po mikrobiologii* (Laboratory manual for microbiology studies), Moscow: Izdatelstvo Moskovskogo universiteta, 1976, 307 p.
5. Zhelezova A.D., Tkhakakhova A.K., Yaroslavtseva N. V., Garbuz S.A., Lazarev V.I., Kogut B.M., Kutovaya O. V., Kholodov V.A., Microbiological parameters of aggregates in typical chernozems of long-term field experiments, *Eurasian Soil Science*, 2017, No. 50, pp. 701–707, DOI: [10.7868/S0032180X15090038](https://doi.org/10.7868/S0032180X15090038).
6. Zhelezova S.V., Akimov T.A., Beloshapkina O.O., Berezovsky E.V., Vliyanie raznykh tekhnologii vozdeystviya ozimoi pshenitsy na urozhainost' i fitosanitarnoe sostoyanie posevov (na primere polevogo opyta Tsentra tochnogo zemledeliya RGAU-MSKhA im. K.A. Timiryazeva) (The productivity and phytosanitary status of winter wheat crops under different

cultivation technologies (in the field experiment at Precision Agriculture Centre), *Agrokhimiya*, 2017, No. 4, pp. 65–75.

7. Kiryushin V.I., Nasledie V.R. Vil'yamsa i sovremennye problemy agropochvovedeniya (The heritage of V.R. Williams and modern problems of agricultural soil science), *Izvestiya TSKhA*, 2014, No. 1, pp. 5–15.

8. Kutovaya O.V., Tkhakakhova A.K., Cheverdin Yu.I., Effects of surface flooding on biological properties of meadow-chernozems in Kamennaya Steppe, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2016, Vol. 82, pp. 56–70, DOI: [10.19047/0136-1694-2016-82-56-70](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-82-56-70).

9. Kutovaya O.V., Grebennikov A.M., Tkhakakhova A.K., Isaev V.A., Garmashov V.M., Bepalov V.A., Cheverdin Yu.I., Belobrov V.P., The changes in soil-biological processes and structure of microbial community of agrochernozems in conditions of different ways of soil cultivation, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2018, No. 92, pp. 35–61, DOI: [10.19047/0136-1694-2018-92-35-61](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-92-35-61).

10. Mel'nikov A.V., Zhelezova S.V., *Traditsionnaya vspashka ili nulevaya tekhnologiya – chto vygodnee dlya proizvodstva ozimoi pshenitsy v nechernozemnoi zone Rossii?* (Conventional tillage or no-till – what is more beneficial for winter wheat production in nonchernozem belt of Russia?), *Teoreticheskie i prikladnye problemy APK*, 2019, Vol. 39, No. 1, pp. 35–40, DOI: [10.32935/2221-7312-2019-39-1](https://doi.org/10.32935/2221-7312-2019-39-1).

11. Mirchink T.G., *Pochvennaya mikologiya* (Soil mycology), Moscow: Izdatelstvo Moskovskogo universitetata, 1988, 220 p.

12. Orlova L.V., Chernov N.D., *Nauchno-prakticheskoe rukovodstvo po osvoeniyu i primeniyu sberegayushchego zemledeliya. Rekomendatsii.* (Recommendations for the research and practice of conservative agriculture), Moscow: Evrotekhnik, 2006, 183 p.

13. Patyka N.V., Kruglov Yu.V., Tikhonovich I.A., Patyka V.F., Profil' polimorfizma dlin restriksionnykh fragmentov (tRFLP) kompleksa prokariotnykh mikroorganizmov podzolistykh pochv (tRFLP of microbial complex of sod-podzolic soils), *Dopovidi Natsional'noi akademii nauk Ukraini*, 2009, Vol. 1, pp. 187–192.

14. Poddymkina L.M., Vliyanie dlitel'nogo primeneniya sredstv khimizatsii na mikrobiologicheskuyu aktivnost' dernovo-podzolistoi pochvy (The influence of long-term application of agricultural chemicals on the microbiological activities of sod-podzolic soils), *Izvestiya TSKhA*, 2008, No. 2, pp. 5–17.

15. Semenov A.M., Bubnov I.A., Semenov V.M., Semenova E.V., Zelenev V.V., Semenova N.A., Daily dynamics of bacterial numbers, CO₂ emissions from soil and relationships between their wavelike fluctuations and succession of the microbial community, *Eurasian Soil Science*, 2013, Vol. 2013, No. 8, pp. 963–979, DOI: [10.7868/S0032180X13080078](https://doi.org/10.7868/S0032180X13080078).

16. Stepanov A.L., *Mikrobnaya transformatsiya parnikovykh gazov v pochvakh* (Microbial transformation of greenhouse gases in soils), Moscow: GEOS, 2011, 192 p.
17. Tepper E.Z., Shil'nikova V.K., Pereverzeva G.I., *Praktikum po mikrobiologii* (Laboratory manual for microbiology studies), Moscow: Drofa, 2005, 256 p.
18. Khitrov N.B., *Pochvy dlitel'nogo polevogo opyta TSKhA* (Soils of long-term field experiment of RSAU – Moscow Timiryazev Agricultural Academy), *Izvestiya TSKhA*, 2012, No. 3, pp. 62–78.
19. Agtmaal van M., Straathof A.L., Termorshuizen A., Lievens B., Hoffland E., de Boer W., Volatile-mediated suppression of plant pathogens is related to soil properties and microbial community composition, *Soil Biol. Biochem.*, 2018, Vol. 117, pp. 164–174, DOI: [10.1016/j.soilbio.2017.11.015](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.11.015).
20. Babin D., Deubel A., Jacquiod S., Sørensen S.J., Geistlinger J., Grosch R., Smalla K., Impact of long-term agricultural management practices on soil prokaryotic communities, *Soil Biol. Biochem.*, 2018, Vol. 129, pp. 17–28, DOI: [10.1016/j.soilbio.2018.11.002](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.11.002).
21. Bissett A., Richardson A.E., Baker G., Thrall P.H., Long-term land use effects on soil microbial community structure and function, *Appl. Soil Ecol.*, 2011, Vol. 51, pp. 66–78, DOI: [10.1016/j.apsoil.2011.08.010](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.08.010).
22. Blanco-Canqui H., Lal R. No-Tillage and Soil-Profile Carbon Sequestration: An On-Farm Assessment // *Soil Sci Soc Am J.* 2008. Vol. 72. P. 693–701, DOI: [10.2136/sssaj2007.0233](https://doi.org/10.2136/sssaj2007.0233).
23. Bobbink R., Hicks K., Galloway J., Spranger T., Alkemade R., Ashmore M., Bustamante M., Cinderby S., Davidson E., Dentener F., Emmett B., Erisman J.W., Fenn M., Gilliam F., Nordin A., Pardo L., De Vries W., Global assessment of nitrogen deposition effects on terrestrial plant diversity: A synthesis, *Ecol. Appl.*, 2010, Vol. 20, pp. 30–59, DOI: [10.1890/08-1140.1](https://doi.org/10.1890/08-1140.1).
24. Capelle C. van, Schrader S., Brunotte J., Tillage-induced changes in the functional diversity of soil biota – A review with a focus on German data, *Eur. J. Soil Biol.*, 2012, Vol. 50, pp. 165–181, DOI: [10.1016/j.soilbio.2017.11.015](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.11.015).
25. Diepeningen A.D. Van, De Vos O.J., Korthals G.W., Van Bruggen A.H.C., Effects of organic versus conventional management on chemical and biological parameters in agricultural soils, *Appl. Soil Ecol.*, 2006, Vol. 31, pp. 120–135, DOI: [10.1016/j.apsoil.2005.03.003](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2005.03.003).
26. Domsch K.H., Gams W., Anderson T.-H., *Compendium of Soil Fungi*, Eching: IHW-Verlag, 2007. 672 p., DOI: [10.1111/j.1365-2389.2008.01052.1.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2008.01052.1.x).
27. Ellis M.B., *Dematiaceous Hyphomycetes*, *Mycological Papers*, 1971, Vol. 125, pp. 1–30.

28. Gras C., Hernández V. Hegemony, Technological Innovation and Corporate Identities: 50 Years of Agricultural Revolutions in Argentina, *Journal of agrarian change*, 2016, Vol. 16, pp. 675–683, DOI: [10.1111/joac.12162](https://doi.org/10.1111/joac.12162)
29. Hydbom S., Ernfors M., Birgander J., Hollander J., Jensen E.S., Olsson P.A., Reduced tillage stimulated symbiotic fungi and microbial saprotrophs, but did not lead to a shift in the saprotrophic microorganism community structure, *Appl. Soil Ecol.*, 2017, Vol. 119, pp. 104–114, DOI: [10.1016/j.apsoil.2017.05.032](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.05.032).
30. Kaurin A., Mihelič R., Kastelec D., Grčman H., Bru D., Philippot L., Suhadolc M., Resilience of bacteria, archaea, fungi and N-cycling microbial guilds under plough and conservation tillage, to agricultural drought, *Soil Biol. Biochem.*, 2018, Vol. 120, pp. 233–245, DOI: [0.1016/j.soilbio.2018.02.007](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.02.007).
31. Martínez I., Chervet A., Weisskopf P., Sturny W.G., Etana A., Stettler M., Forkman J., Keller T., Two decades of no-till in the Oberacker long-term field experiment: Part I. Crop yield, soil organic carbon and nutrient distribution in the soil profile // *Soil Tillage Res.* 2016. Vol. 163. P. 141–151, DOI: [10.1016/j.still.2016.05.021](https://doi.org/10.1016/j.still.2016.05.021).
32. Mishra U., Ussiri D.A.N., Lal R., Tillage effects on soil organic carbon storage and dynamics in Corn Belt of Ohio USA, *Soil Tillage Res.*, 2010, Vol. 107, pp. 88–96, DOI: [10.1016/j.still.2010.02.005](https://doi.org/10.1016/j.still.2010.02.005).
33. Rahman M., Okubo A., Sugiyama S., Mayland H. Physical, chemical and microbiological properties of an Andisol as related to land use and tillage practice // *Soil Tillage Res.*, 2008. Vol. 101. P. 10–19, DOI: [10.1016/j.still.2008.05.006](https://doi.org/10.1016/j.still.2008.05.006).
34. Rainbow R., Derpsch R., Advances in no-till farming technologies and soil compaction management in rainfed farming systems, *Rainfed farming systems*, 2011, pp. 991–1014.
35. Schmidt R., Mitchell J., Scow K., Cover cropping and no-till increase diversity and symbiotroph: saprotroph ratios of soil fungal communities, *Soil Biol. Biochem.*, 2019, Vol. 129, pp. 99–109, DOI: [10.1016/j.soilbio.2018.11.010](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.11.010).
36. Semenov M.V., Chernov T.I., Tkhakakhova A.K., Zhelezova A.D., Ivanova E.A., Kolganova T.V., Kutovaya O.V., Distribution of prokaryotic communities throughout the Chernozem profiles under different land uses for over a century, *Appl. Soil Ecol.*, 2018, Vol. 127, pp. 8–18, DOI: [10.1016/j.apsoil.2018.03.00](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.03.00).
37. Simmons B.L., Coleman D.C., Microbial community response to transition from conventional to conservation tillage in cotton fields, *Appl. Soil Ecol.*, 2008, Vol. 40, pp. 518–528, DOI: [10.1016/j.apsoil.2008.08.003](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2008.08.003).

38. Souza R.C., Hungria M., Cantão M.E., Vasconcelos A.T.R., Nogueira M.A., Vicente V.A., Metagenomic analysis reveals microbial functional redundancies and specificities in a soil under different tillage and crop-management regimes, *Appl. Soil Ecol.*, 2015, Vol. 86, pp. 106–112, DOI: [10.1016/j.apsoil.2014.10.010](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.10.010).
39. Upchurch R., Chiu C.Y., Everett K., Dyszynski G., Coleman D.C., Whitman W.B., Differences in the composition and diversity of bacterial communities from agricultural and forest soils, *Soil Biol. Biochem.*, 2008, Vol. 40, pp. 1294–1305, DOI: [10.1016/j.soilbio.2007.06.027](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.06.027).
40. Widmer F., Rasche F., Hartmann M., Fliessbach A., Community structures and substrate utilization of bacteria in soils from organic and conventional farming systems of the DOK long-term field experiment, *Appl. Soil Ecol.*, 2006, Vol. 33, pp. 294–307, DOI: [10.1016/j.apsoil.2005.09.007](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2005.09.007).