

УДК 631.46

ИЗМЕНЕНИЕ ПОЧВЕННО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И СТРУКТУРЫ МИКРОБНОГО СООБЩЕСТВА АГРОЧЕРНОЗЕМОВ ПРИ РАЗНЫХ СПОСОБАХ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

**© 2018 г. О. В. Кутовая^{1,*}, А. М. Гребенников¹,
А. К. Тхакахова¹, В. А. Исаев¹, В. М. Гармашов²,
В. А. Беспалов², Ю. И. Чевердин², В. П. Белобров¹**

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

*²НИИСХ ЦЧП им. В.В. Докучаева,
Россия, 397463 Воронежская обл., Таловский р-н,
п/о институт им. В.В. Докучаева, уч. № 2*

**e-mail: langobard@mail.ru*

Изучено влияние способов обработки почвы (вспашка с оборотом пласта на глубину 20–22 и 14–16 см, безотвальная и поверхностная обработки соответственно на глубину 14–16 и 6–8 см, а также нулевая или минимальная обработка) на биологическую активность различных эколого-трофических групп микроорганизмов на агрочерноземах Каменной степи (Воронежская область) с использованием классических методов посева на элективные среды. Показано, что черноземы являются высокорезистентными почвами, устойчивыми к внешнему воздействию, сохраняющие высокую биологическую активность даже при максимальной механической обработке. Вспашка с оборотом пласта приводит к аэрации пахотного горизонта и инициации активности аэробных форм микроорганизмов углеродного цикла, отвечающих за минерализацию как сложных, так и простых органических соединений почвы. Вклад микроорганизмов азотного цикла (нитратредукторов и азотфиксаторов) в общую биологическую активность миграционно-мицелярных черноземов пашни и залежи был минимальным. Степень механического воздействия на почву влияет на количественные показатели и биологическую активность микроорганизмов в почве – чем сильнее воздействие, тем более глубокие слои затронуты. Процессы поступления свежего органического вещества превалируют над процессами минерализации практически во всех вариантах опыта, кроме вспашки с оборотом пласта на глубину 14–16 см, на что указывают значения коэффициентов минерализации. Наиболее сильный гумусово-аккумулятивный эффект наблюдали в варианте с нулевой обработкой, который максимально приближен к таковым процессам залежи. Минимальная обработка

почвы позволит сохранить уникальную структуру черноземной почвы, увеличить поступление свежих органических остатков, сохранить высокое биологическое разнообразие, свойственное природным биоценозам.

Ключевые слова: биологическая активность, вспашка, поверхностная обработка, нулевая обработка, микробиоценоз

DOI: 10.19047/0136-1694-2018-92-35-61

ВВЕДЕНИЕ

Обработка почвы является одним из важнейших факторов воздействия, определяющим физические, химические свойства агрогенных почв, приводящим к изменению в структуре и функционировании почвенного микробного сообщества, фактором, влияющим на экологическое состояние и плодородие почвы и, в конечном итоге, на показатели урожайности возделываемых культур.

Поскольку микроорганизмы первые откликаются на любое внешнее влияние, когда более консервативные почвенные показатели еще не успели измениться и невозможно обнаружить их воздействие, изучение биологических свойств почвы является весьма актуальным.

Разные способы обработки почвы создают различные условия для сохранения и оптимизации почвенной влаги ([Trojan, Linden, 1998](#)), что непосредственно влияет на развитие аэробных и анаэробных микроорганизмов, таких как микроскопические грибы (сухопутные аэробные микроорганизмы), актиномицеты (континентальная ветвь прокариот широкой экологической амплитуды), денитрификаторы (типичные анаэробные формы). Соотношение групп микроорганизмов потенциально можно использовать для оценки степени аэробных/анаэробных условий среды обитания почв степной зоны ([Кутювая и др., 2016](#)).

Также тип обработки почвы изменяет ее структурные компоненты, размер и форму агрегатов ([Chan, Mead, 1988](#)), следовательно, может определять направленность почвенно-биологических процессов в этих агрегатах и в почве в целом. Показано, что трансформация органических веществ, особенно разложение сложных органических соединений микроорганизмами активнее происходит в мелких агрегатах <1 мм. Количество активных форм микроорганизмов углеродного цикла увеличивается от крупных агрегатов к мелким. Активность микрофлоры азотного цикла

повышается от мелких к агрономически ценным агрегатам (1.0–5.0 мм) и снова снижается к более крупным агрегатам ([Василенко и др., 2014](#)). По данным молекулярно-биологических исследований ДНК почвы фракции мелкого размера (<0.25 мм) отличались высокими показателями биологического разнообразия в отличие от более крупных структурных отдельностей ([Иванова и др., 2015](#)).

Традиционные методы обработки почвы, как правило, отрицательно влияют на долгосрочную продуктивность почвы из-за эрозии и потери органического вещества ([Hobbs et al., 2008](#)). Сохранение почвы как эффективной агроэкосистемы может быть осуществлено за счет консервативной обработки, которая определяется как сочетание трех факторов: непрерывное минимальное нарушение почвы, постоянное покрытие почвы органическими остатками растений (стерней, мульчей, диверсификация видов сельскохозяйственных культур, выращенных последовательно (севооборот) и/или в ассоциациях (веб-сайт ФАО: <http://www.fao.org/ag/ca/1a.html>). Ассоциации культур могут быть значительным фактором улучшения структуры почвы, увеличением активности целлюлозолитического бактериального сообщества ([Гребенников, 2008, 2011a](#)).

Одним из методов минимальной обработки почвы является система прямого посева без вспашки и другого физического воздействия на почву, который приобрел популярность в засушливой местности, подверженной ветровой эрозии ([Hobbs et al., 2008](#)). При консервативной обработке на поверхности почвы остаются 30% растительных остатков сельскохозяйственных культур, что является важной практикой уменьшения эрозии почвы ([Uri, 1999](#)), повышения биоразнообразия и активности микробной популяции ([Staley, 1999](#)), а также увеличение микробной биомассы ([Balota, 2003](#)). По данным ПЦР-Реал Тайм, наиболее отзывчивы на обработку почвы бактерии, грибы занимают промежуточное положение, а наиболее устойчивы – археи ([Железова и др., 2017](#)).

Преимуществами методов консервативной обработки почвы по отношению к традиционной вспашке с оборотом пласта являются снижение стоимости за счет исключения основной обработки и культивации, действие стерни и растительных остатков в качестве термоизолятора и уменьшения колебания температуры почвы,

увеличение содержания почвенного органического вещества, сохранение влажности почвы ([Schwab et al., 2002](#); [West, Post, 2002](#)).

Таким образом, изучение биологической активности различных эколого-трофических групп микроорганизмов является одной из составляющих комплексной оценки экологического состояния почв, находящихся в сельскохозяйственном производстве под различными видами обработки, включая вспашку, поверхностную и нулевую обработку.

Цель работы – изучить структуру микробных комплексов мигриционно-мицелярных агрочерноземов при механическом воздействии на почву различного уровня.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В полевом опыте НИИСХ ЦЧП Воронежской области исследовали влияние различных способов обработки почвы на численность основных групп почвенных микроорганизмов в слоях 0–10 и 10–20 см. Варианты опыта представлены в порядке убывания механического воздействия на почву – от сильного к нулевому: отвальная вспашка на глубину 20–22 см (1); отвальная вспашка на глубину 14–16 см (2); безотвальная обработка на глубину 14–16 см (3); поверхностная обработка на глубину 6–8 см (4); нулевая обработка или прямой посев (5); в качестве абсолютного контроля использовали образцы почвы многолетней залежи (6).

Для определения типа почвы на защитной полосе западной части опытного поля 1 заложен разрез, описание которого приводится ниже. Название почвы дано в полевых условиях с последующим лабораторным уточнением в соответствии с классификациями почв СССР ([К-1977](#)), России (РК) ([2004](#), 2008) и международной классификацией почв (WRB-2007) ([2007](#)) на основе конкретного проявления имеющихся в классифицируемом объекте диагностических признаков, используемых в соответствующей классификации. Названия почвы по WRB, представленные в статье, отредактированы в соответствии с третьей редакцией WRB-2014, утвержденной на 20-м Мировом конгрессе по почвоведению, проходившем в июне 2014 г. в Корее.

Поверхность почвы волнистая с выраженным микро-(нано-) рельефом, вскипает с глубины 62 см.

PU1, 0–10(12) см. Темно-серый, рыхлый, комковато-порошистый, легкоглинистый, свежий. Содержит большое количество корней растений. Переход к нижележащему резкий по плотности и структуре. Граница ровная.

PU2, 10(12)–22 см. Темно-серый, плотнее вышележащего, мелкоореховато-комковатый, легкоглинистый, свежий. Содержит большое количество корней растений. Переход к нижележащему заметный по плотности и структуре. Граница ровная.

PU3, 22–32 см. Темно-серый, плотнее вышележащего, крупнокомковатый, легкоглинистый, свежий. Характеризуется наличием агрегатов с острыми ребрами и матовой поверхностью. Распространены корни растений. Переход к нижележащему ясный по цвету, плотности и влажности. Граница ровная.

AU, 32–50(53) см. Темно-серый с легким буроватым оттенком, плотнее предыдущего, комковато-зернистый, легкоглинистый, влажный. Распространены корни растений. Переход к нижележащему постепенный по усилению бурых тонов в окраске. Граница ровная.

AUB, 50(53)–62(70) см. Темно-серый с бурым оттенком, плотный, зернисто-комковатый, легкоглинистый, влажный. Распространены корни растений. Переход к нижележащему ясный по цвету, структуре и всплыванию. Граница неровная.

Vca, 62(70)–80(90) см. Серо-бурый, плотный, комковато-призмический, легкоглинистый, влажный. Вскипает с поверхности, но карбонатные новообразования морфологически не выражены. Встречаются кротовины, распространены корни растений. Переход к нижележащему заметный по окраске и новообразованиям. Граница волнистая.

VCA, 80(90)–130+ см. Буровато-палевый, плотный, комковато-призмический, пористый, легкоглинистый, влажный. Распространены пятна карбонатов, единично встречаются журавчики диаметром около 1 см.

Почва: чернозем типичный среднесиловый легкоглинистый на лёссовидных глинах (K-1977); агрочернозем миграционно-мицелиарный глубоко квазиглееватый среднесиловый глинистый на лёссовидных глинах (PK); *haplic Chernozem (Pachic, Clayic) (WRB, 2014)*.

Диагностику численности микроорганизмов различных эколого-трофических групп проводили классическим методом посева на агаризованные элективные питательные среды различного состава. Определяли численность организмов-аммонификаторов – деструкторов белка различной природы (посев на мясо-пептонном агаре, МПА), амилитических микроорганизмов – иммобилизаторов легкодоступного углерода, ассимилирующих минеральные формы азота (посев на крахмало-аммиачном агаре, КАА),

нитратредуцирующих бактерий (посев на нитратном агаре), целлюлозолитических микроорганизмов (на среде Виноградского), учет количества грибов проводили на среде Чапека, актиномицетов – на крахмало-аммиачном агаре, азотобактера – на почвенных пластинках, олиготрофных микроорганизмов – на голодном агаре (ГА).

Исследования проводили по вариантам, на которых не предусматривалось внесение удобрений, культура севооборота – горох.

По полученным данным рассчитывали коэффициент минерализации:

$$K_m = \text{КОЕ}_{\text{КАА}} / \text{КОЕ}_{\text{МПА}},$$

где $\text{КОЕ}_{\text{КАА}}$ и $\text{КОЕ}_{\text{МПА}}$ – численность микроорганизмов на средах КАА и МПА соответственно.

Для оценки связи между численностью основных групп почвенных микроорганизмов и урожайностью гороха рассчитывали коэффициенты корреляции.

Для определения различий между почвами вариантов опыта и залежи по совокупности исследуемых микроорганизмов проводили следующую процедуру: ранжировали последовательность значений численности по каждой значимой группе микроорганизмов, включающую все наблюдения в опыте и на залежи в пределах одного слоя. Таким образом получены последовательности рангов по микроорганизмам для каждого варианта опыта в пределах одного из исследуемых слоев. Далее для установления различий между средними этих последовательностей использовали метод Лорда для малых выборок, который сводится к определению статистики следующего вида ([Закс, 1976](#)):

$$u = \frac{|m_1 - m_2|}{(R_1 + R_2) : 2},$$

где m_1 и m_2 – средние значения, R_1 и R_2 – размах двух сравниваемых последовательностей.

Если величина u превышала табличное значения для требуемого уровня значимости (0.05) при существующем объеме выборки, то различия между сравниваемыми последовательностями считались достоверными.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты микробиологических посевов на элективные среды представлены на рис. 1.

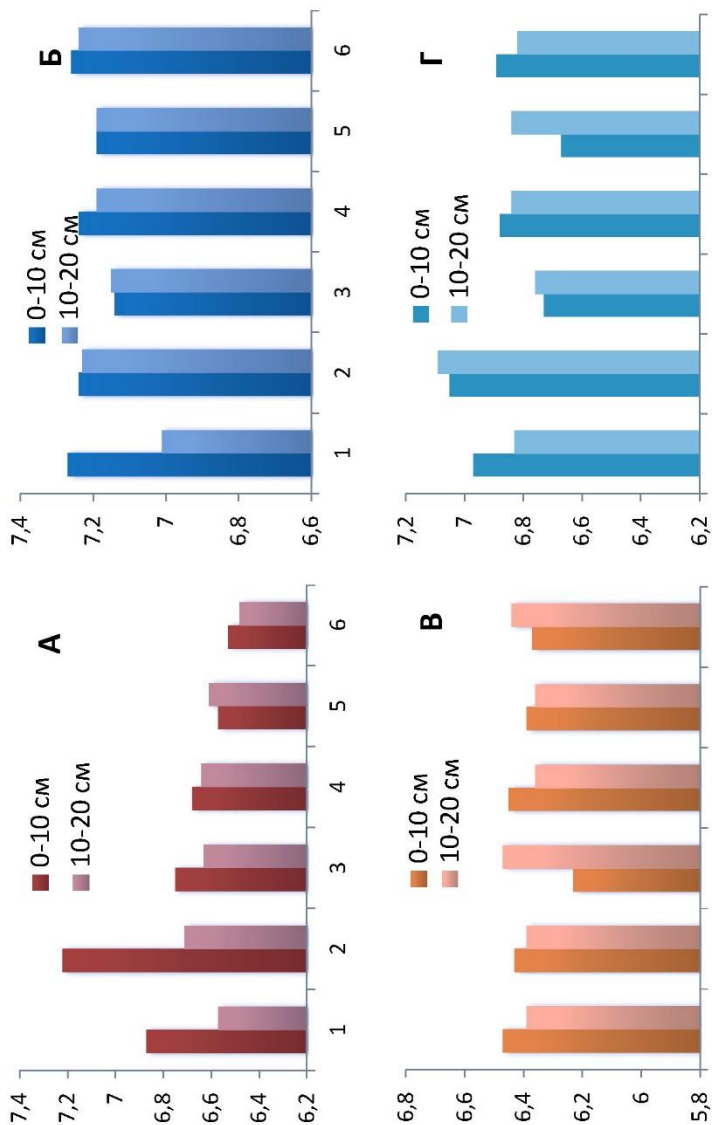
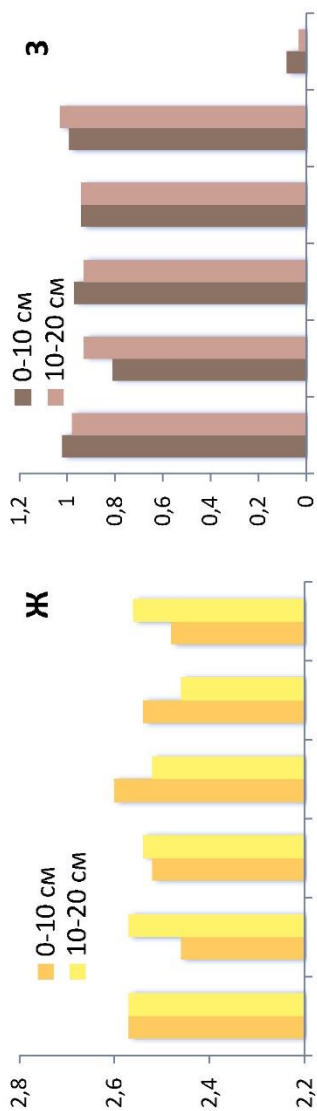
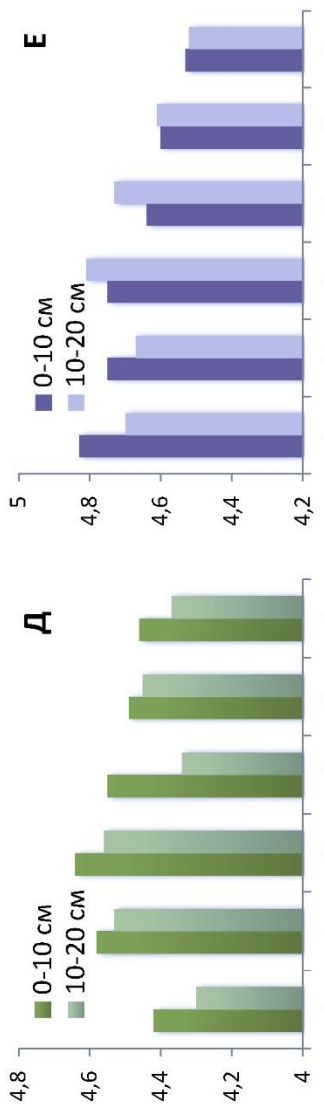


Рис. 1. Численность микроорганизмов (lg КОЕ/г почвы) различных физиологических групп (А – аммонификаторы, среда МПА; Б – амилолитики, среда КАА, В – актиномицеты, среда КАА; Г – олиготрофы, среда ГА; Д – почвенные грибы, среда Чапека; Е – целлюлозолитические микроорганизмы, среда Виноградского; Ж – нитратредуцирующие бактерии, среда нитратный агар; З – азотфиксаторы, *Azotobacter*,



на почвенных пластинках) в слоях 0–10 и 10–20 см по вариантам опыта: 1 – отвальная вспашка на глубину 20–22 см; 2 – отвальная вспашка на глубину 14–16 см; 3 – безотвальная обработка на глубину 14–16 см; 4 – поверхностная обработка на глубину 6–8 см; 5 – нулевая обработка; 6 – залежь.

Наиболее высокая активность микроорганизмов, произрастающих на МПА, отмечена в слое 0–10 см в образцах с отвальной вспашкой на глубину 14–16 см (вариант опыта 2) и на глубину 20–22 см (вариант 1) (рис. 1А). В других вариантах численность аммонификаторов практически не различалась. Таким образом, в порядке убывания численности этой группы микроорганизмов в слое 0–10 см составила следующий ряд: отвальная вспашка 14–16 см → отвальная вспашка 20–22 см → безотвальная обработка 14–16 см → поверхностная обработка 6–8 см → нулевая обработка → залежь (2→1→3→4→5→6). Активность рассматриваемых бактерий в слое 0–10 см на многолетней залежи была меньше по сравнению со всеми вариантами опыта.

Процессы разложения органических веществ напрямую связаны с их окислением, т.е. доступностью свободного кислорода для микроорганизмов-аммонификаторов. Очевидно, что их численность в верхнем слое пахотных вариантов с оборотом пласта была наибольшей. При этом самыми консервативными оказались варианты залежи и нулевой обработки почвы. С одной стороны, высокая численность микроорганизмов на пашне говорит об активности почвенно-биологических процессов, с другой, при такой активности практически не остается возможности депонирования органического вещества.

В слое 10–20 см наиболее высокая активность микроорганизмов на среде МПА также была отмечена на варианте 2 с отвальной вспашкой на глубину 14–16 см, а минимальная – на многолетней залежи (рис. 1А). Остальные варианты незначительно различались между собой и характеризовались средними значениями между обозначенными экстремумами. Если степень обогащенности слоя 0–10 см бактериями, растущими на МПА, в варианте с отвальной вспашкой на глубину 14–16 см следует считать очень богатой, то на делянках в вариантах с отвальной вспашкой на глубину 20–22 см и безотвальной обработкой – богатой, а на остальных вариантах и залежи – средней. В слое 10–20 см обогащенность почв бактериями, развивающимися на МПА, на всех вариантах опыта следует оценивать как среднюю ([Титова, Козлов, 2012](#)).

Численность бактерий, культивируемых на КАА в верхнем слое 0–10 см и в нижнем 10–20 см, была одного порядка и практически не различались между собой (рис. 1Б).

Максимальная разница зафиксирована в почвенной толще одного варианта – отвальная вспашка на глубину 20–22 см (вариант 1) между поверхностным и глубинным слоями. Микроорганизмы, культивируемые на среде КАА, являются иммобилизаторами легкодоступного углерода. Для осуществления этого процесса требуется свободный кислород для окисления органических веществ, которого в верхнем слое очевидно больше, что повлияло на некоторое увеличение численности амилолитиков и, вероятно, небольшого ускорения процесса минерализации легкодоступных углеродсодержащих веществ.

Это предположение подтверждается минимальными показателями численности амилолитиков в варианте с безотвальной обработкой на глубину 14–16 см (вариант 3).

Степень обогащенности слоев 0–10 и 10–20 см бактериями, культивируемыми на КАА, на всех вариантах опыта и на залежи следует оценивать как богатую. Исключением является слой 10–20 см в варианте с отвальной вспашкой на глубину 10–20 см, обогащенность которого рассматриваемыми микроорганизмами соответствует градации средняя ([Титова, Козлов, 2012](#)).

Из анализа численности агрономически ценной микрофлоры, участвующей в трансформации органических остатков (МПА + КАА), следует, что в слое 0–10 см на вариантах с отвальной вспашкой (варианты 1, 2) количество этих микроорганизмов до 1.6 раз выше, чем в почве многолетней залежи. Остальные варианты опыта по суммарному количеству микроорганизмов, растущих на МПА и КАА в слое 0–10 см агрочерноземов, незначительно отличались от их активности в таком же слое залежи.

Однако в нижнем слое 10–20 см суммарное количество бактерий на средах МПА + КАА распределилось по-другому. В варианте с отвальной вспашкой на глубину 14–16 см (вариант 2) количество микроорганизмов практически соответствовало таковому в черноземах залежи, а в варианте 1 с отвальной вспашкой на глубину 20–22 см было на 31% ниже по отношению к последней. Численность бактерий в слое 10–20 см на остальных вариантах опыта была незначительно ниже (на 2–9%) по сравнению с их количеством в соответствующем слое залежи.

По данным численности бактерий на средах МПА и КАА для различных слоев пахотного горизонта был рассчитан коэффициент

минерализации K_m , представляющий собой соотношение численности микроорганизмов, развивающихся на конечных стадиях минерализации, к численности микроорганизмов, разрушающих свежие растительные и животные остатки (табл. 1).

Поскольку эта величина практически во всех исследуемых случаях превышает единицу, можно констатировать, что в рассматриваемых почвах свежие органические вещества при минерализации большей частью закрепляются в почвенном гумусово-аккумулятивном профиле. В верхнем слое варианта с отвальной вспашкой на глубину 14–16 см (вариант 2) количество вновь поступившего и минерализованного микроорганизмами углерода находится в равновесии ($K_m = 1.0$), что не дает возможности накопления здесь органического вещества. Следует отметить, что по сравнению с многолетней залежью в вариантах опыта относительное количество микроорганизмов, культивируемых на МПА, увеличивалось более значительно по сравнению с амилोलитиками, растущими на КАА, что непосредственно находит отражение в значениях коэффициента минерализации. При этом величина K_m в вариантах опыта как в слоях 0–10, 10–20 см, так и в пахотном горизонте в целом была ниже по сравнению с многолетней залежью. Наиболее значительным уменьшение величины K_m было в почвах под вариантами опыта с отвальной вспашкой. Так, в слое 0–10 см в вариантах опыта с отвальной вспашкой на глубину 20–22 и 14–16 см величина K_m по сравнению с многолетней залежью уменьшилась в 2.1 и 5.3 раза соответственно. В слое 10–20 см аналогичные величины составили 2.1 и 1.7 раза.

Таблица 1. Значения коэффициента минерализации (K_m) в почвах вариантов опыта по слоям 0–10, 10–20 см и в пределах пахотного горизонта 0–20 см

Вариант опыта	K_m		
	0–10 см	10–20 см	0–20 см
Вспашка 20–22 см	2.5	2.7	2.6
Вспашка 14–16 см	1.0	3.3	2.2
Безотвальная 14–16 см	2.5	3.4	3.0
Минимальная 6–8 см	3.6	3.5	3.6
Нулевая	4.1	3.7	3.9
Залежь	5.3	5.7	5.5

Наиболее приближенным к процессам трансформации органического вещества залежи закономерно был вариант с нулевой обработкой почвы (вариант 5), особенно, в слое 0–10 см, что делает такой вариант землепользования наиболее значимым для сохранения черноземных почв в данном регионе.

Количество актиномицетов (рис. 1В) незначительно изменялось по вариантам опыта и на залежи в пределах каждого исследуемого слоя и составило на глубине 0–10 см 6.23–6.47 lg КОЕ/г почвы, а на глубине 10–20 см – 6.36–6.47 lg КОЕ/г почвы. В подавляющем большинстве исследуемых вариантов как на делянках опыта, так и на залежном участке численность актиномицетов соответствует бедной градации обогащенности почвы этими микроорганизмами, а в слое 0–10 см на варианте с безотвальной обработкой (вариант 3) численность актиномицетов составила 6.23 lg КОЕ/г почвы, что следует расценивать как очень бедную обогащенность актиномицетами этого слоя в указанном варианте опыта ([Титова, Козлов, 2012](#)).

Активность олиготрофов (рис. 1Г), микроорганизмов, не требовательных к элементам питания, в слое 0–10 см по вариантам опыта и на многолетней залежи изменялась примерно с так же, как и численность бактерий, выращенных на МПА. Наиболее высокая активность олиготрофов в слое 0–10 см была отмечена в образцах, взятых на вариантах с отвальной вспашкой на глубину 14–16 см. В порядке убывания численности этой группы микроорганизмов в слое 0–10 см в почвах сельскохозяйственного использования образовывали следующий ряд: отвальная вспашка 14–16 см → отвальная вспашка 20–22 см → поверхностная обработка 6–8 см → безотвальная обработка 14–16 см → нулевая обработка (2→1→4→3→5). Активность рассматриваемых бактерий в слое 0–10 см многолетней залежи была на уровне вариантов с поверхностной обработкой.

Олиготрофные микроорганизмы обычно используют для питания простые органические кислоты и спирты, которые образуются в процессе жизнедеятельности гетеротрофных микроорганизмов. Таким образом, олиготрофы метаболически связаны с аммонификаторами, что подтверждается нашими исследованиями. Их численность увеличивается в тех зонах, где минерализация растительных остатков подходит к завершению и органические вещества находятся в низких концентрациях ([Заварзин, Колотилова, 2001](#)),

можно предположить, что в вариантах с оборотом пласта ряд сукцессионных процессов проходит быстрее, чем с безотвальной и нулевой обработками (варианты 3, 5).

По степени обогащенности олиготрофами на делянках опыта и на залежи как в верхнем, так и в нижнем слоях почвы в основном соответствовали градации средней обогащенности. Исключениями были варианты с нулевой обработкой в слое 0–10 см (очень бедная обогащенность) и безотвальной обработкой в обоих исследуемых слоях (бедная обогащенность) (Титова, Козлов, 2012).

Количество микромицетов (рис. 1Д) как в слое 0–10, так и на глубине 10–20 см было максимальным в вариантах с безотвальной обработкой (3) – 4.64 и 4.56 lg КОЕ/г почвы соответственно и минимальным при использовании отвальной вспашки на глубину 20–22 см (1) – 4.42 lg КОЕ/г почвы на глубине 0–10 см и 4.30 lg КОЕ/г почвы на глубине 10–20 см. Численность грибов на многолетней залежи в рассматриваемых слоях была близка к минимальным значениям и соответственно составляла 4.46 и 4.37 lg КОЕ/г почвы.

Почвенные микроскопические грибы чрезвычайно чувствительны к аэрации, поэтому во всех вариантах их численность в нижнем слое пахотного горизонта была ниже, чем в слое 0–10 см, а в случае поверхностной обработки (4) – на 37% по абсолютным показателям численности колоний на чашках Петри. Наиболее приближенные показатели по микромицетам оказались в варианте с нулевой обработкой и многолетней залежью, что говорит о тождественности процессов разложения сложных органических веществ, поступающих в почву, в основном, с корнями естественной луговой растительности и сельскохозяйственных культур, а также их экссудатов.

Углеводные полимеры являются основными питательными субстратами для бактерий, а целлюлоза – наиболее распространенный субстрат в природе. Целлюлозолитические микроорганизмы обладают экзоферментами, катализирующими расщепление высокополимерных субстратов с образованием растворимых продуктов, которые в свою очередь могут быть пищей для других групп микроорганизмов.

Общая численность целлюлозоразрушающих бактерий в разных слоях пахотного и гумусового горизонтов является невысокой и колеблется в пределах от 4.52 lg КОЕ/г почвы в слое 10–20 см

залежи (6) до 4.83 lg КОЕ/г почвы в слое 0–10 варианта с отвальной вспашкой (1).

Количество целлюлозолитиков в верхнем слое 0–10 см уменьшается в ряду: отвальная вспашка 20–22 см → отвальная вспашка 14–16 см → безотвальная обработка 14–16 см → поверхностная обработка 6–8 см → нулевая обработка → залежь (1→2→3→4→5→6), чем интенсивней нагрузка на почву, тем активнее данные бактерии. Среди целлюлозолитиков встречаются как аэробные, так и анаэробные формы, поэтому в вариантах с оборотом пласта превалируют аэробные целлюлозолитики в верхнем слое почвы, более аэрированном, а в вариантах с минимальными и поверхностными обработками наоборот преобладают анаэробные формы бактерий в нижнем слое 10–20 см. Наиболее приближены к показателям численности целлюлозолитических микроорганизмов залежи (вариант 6) данные варианта нулевой обработки (вариант 5), разница между верхним и нижним слоями практически нивелируется в обоих вариантах.

Нитратредуцирующие бактерии, культивируемые на нитратном агаре, способны восстанавливать нитрат NO_3^- до газообразного азота. Метаболизм такого рода бактерий относится к анаэробному энергетическому метаболизму, во время окисления органических субстратов вместо O_2 воздуха или почвы бактерии используют кислород NO_3^- и NO_2^- . В процессе нитратного дыхания нитрат (NO_3^- – степень окисления азота +5) восстанавливается до нитрита (NO_2^- – степень окисления азота +3) и далее до N_2 (степень окисления азота 0) в три этапа с образованием NO (степень окисления азота +2) и N_2O (степень окисления азота +1). Редуктазы, катализирующие эти процессы, последовательно индуцируются при переходе к анаэробно-биозису.

Количество нитратредуцирующих бактерий во всех вариантах эксперимента и почвах залежи как в слое 0–10 см, так и на глубине 10–20 см, изменялось незначительно, от 2.46 до 2.60 lg КОЕ/г почвы, что является незначимой разницей. Вероятно, такие низкие показатели нитратредукции и денитрификации обусловлены, во-первых, засушливыми условиями данной территории вообще, и в момент взятия образцов в частности; во-вторых, низким уровнем доступного минерального азота в форме нитратов и нитритов, так как для эксперимента были выбраны варианты опыта, где

минеральные удобрения не вносятся, чтобы исключить еще один фактор влияния на биологические параметры. На почвах многолетней залежи показатели денитрификации как правило снижены, как показывают результаты предыдущих исследований на стационаре Каменная степь (Василенко и др., 2014, Кутовая и др., 2016; 2017).

Биологический процесс аэробной фиксации атмосферного азота оценивали по росту слизистых колоний бактерий рода *Azotobacter* на почвенных пластинах. Азотобактер требователен к условиям среды, для его развития необходимы благоприятные водно-воздушные условия, а также наличие микроэлементов, особенно молибдена, и достаточного количества фосфора в почве. Процесс азотфиксации является энергетически затратным для свободноживущих диазотрофов, поэтому бактерии переходят к фиксации атмосферного азота только при недостатке легкодоступных форм минерального азота в почве.

Активность азотобактера была минимальной по сравнению с другими группами микроорганизмов, однако в почвах сельскохозяйственных угодий по сравнению с почвами залежи их активность оказалась значительно выше. Максимальные показатели зафиксированы в пахотном горизонте в почвах с нулевой обработкой (вариант 5) и в варианте 1 с отвальной вспашкой на глубину 20–22 см. Минимальной активностью как в слое 0–10, так и на глубине 10–20 см, характеризовался вариант 2 с отвальной вспашкой на глубину 14–16 см. При этом величины активности азотобактера были примерно одного порядка и изменялись в диапазоне 0.81–1.03 lg КОЕ/г почвы.

Почвы многолетней залежи значительно уступали по активности азотобактера всем вариантам опыта. Так, в слое 0–10 см количество азотобактера многолетней залежи было в 9.5–15.2 раза ниже по сравнению с аналогичным слоем вариантов опыта, а в слое 10–20 см его активность при разных обработках в 47–59 раз превосходила соответствующую величину для многолетней залежи.

Стабильное состояние экосистемы залежи предполагает консервативность почвенно-микробиологических процессов, особенно процессов азотного цикла, при которых осуществляется минерализация органических остатков растительного и животного происхождения, включение легкодоступных элементов питания в жизненные циклы как растений, так и почвенных микроорганизмов,

что и является причиной столь невысокой численности *Azotobacter* в почве залежного участка.

Как следует из проведенного анализа, активность исследуемых групп микроорганизмов чаще была более высокой в вариантах с отвальной вспашкой (1, 2). Традиционная обработка почвы приводит к развитию микробных сообществ, в которых преобладают аэробные микроорганизмы (Staley, 1999). При этом доминирование этих микроорганизмов может вызывать угнетение других форм, снижение общего биоразнообразия и биологического потенциала почвы. Так, уменьшение численности микроорганизмов в этих вариантах опыта наблюдали для микромицетов и нитратредуцирующих бактерий.

Анализ значимости почвенно-биологических процессов, происходящих в черноземных почвах, проводили по суммарной численности различных групп микроорганизмов, культивируемых на элективных средах по всем вариантам опыта (рис. 2).

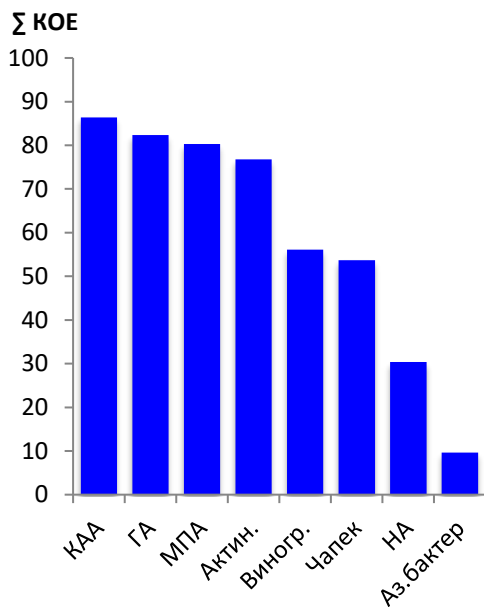


Рис. 2. Значимость суммарной численности микроорганизмов, культивируемых на различных эколого-трофических элективных средах.

Разброс данных по активности микроорганизмов внутри каждой эколого-трофической группы был невелик по вариантам опыта – отклонение от средней величины до 15%, однако разница между средами доходила до 7 порядков. Поэтому вклад каждой группы был неодинаков, что и представлено на рис. 2.

Численность микроорганизмов является показателем их активности в данный период времени в исследуемой почве и может быть критерием интенсивности процессов, которые эти микроорганизмы осуществляют. По всем вариантам опыта и на всех исследованных глубинах особенную активность проявили микроорганизмы углеродного цикла, преобразующие органические вещества: иммобилизаторы легкодоступного углерода (среда КАА); олиготрофные микроорганизмы, развивающиеся на последних стадиях сукцессий минерализации углеродсодержащих веществ и использующие их низкомолекулярные составляющие (среда ГА); а также гетеротрофные аммонификаторы, участвующие в разложении сложных белковых веществ вплоть до аммония (среда МПА) и актиномицеты, разлагающие сложные органические вещества почвы до простых соединений.

В блок низкой значимости попали микроорганизмы азотного цикла: нитратредукторы, восстанавливающие нитраты и приводящие к потерям азота в почве (среда НА), и азотобактер, фиксирующий молекулярный азот из воздуха. Одной из причин низкой значимости процессов азотного цикла может быть культура севооборота в момент почвенных исследований – горох. В корни этой бобовой культуры, как известно, внедряются граммотрицательные α -протобактерии рода *Rhizobium*, которые стимулируют корневую кору и некоторые клетки в центральной части, вызывая сильный рост. Корень локально увеличивается и образуется узел или клубенец. Растение-хозяин питает ризобии минеральными веществами и энергией, *Rhizobium*, в свою очередь, фиксирует атмосферный азот, но может находиться с растением как в антагонистических паразитических отношениях, так и в сбалансированном состоянии в условиях симбиоза. Таким образом, при возделывании бобовых культур цикл азота в почве купируется и ограничивается: N_2 атмосферы – ризобии – растение; почва практически выключена из этого цикла, за исключением корневых экссудатов. Поэтому активность свободных микроорганизмов азотного цикла и значимость их в

ряду почвенно-биологических процессов в агрочерноземах была низкой.

Для улучшения свойств почв по разным направлениям: возвращение зернистой структуры агрогоризонтам, повышение содержание органического вещества, особенно лабильного, влияющего на биологическую активность и доступность элементов питания растениям, улучшение водно-воздушного режима, целесообразно увеличить поступление в почвы органического вещества за счет использования сельскохозяйственных культур, после которых остается максимальное количество пожнивных остатков. Биогенность почв можно значительно увеличить, если в качестве пожнивных использовать не чистые посевы, а их экологически и аллелопатически совместимые смеси ([Гребенников, 2011б](#)).

Урожайность гороха, выращенного на делянках опыта, представлена в табл. 2.

Наиболее высокая урожайность зафиксирована в вариантах с отвальной вспашкой: максимальная – 21.2 ц/га – в варианте со вспашкой на глубину 14–16 см (2), которая была незначительно выше урожайности, полученной на варианте со вспашкой на 20–22 см (1) – 20.9 ц/га, и существенно превосходила урожайность гороха на всех остальных вариантах опыта. Вариант с нулевой обработкой почвы (5) характеризовался подтвержденной статистически наименьшей урожайностью (13.7 ц/га) по отношению к остальным вариантам.

Расчет коэффициентов корреляции между численностью микроорганизмов и урожайностью гороха представлен в табл. 3. Значимые коэффициенты корреляции (превышающие уровень 0.878 при трех степенях свободы) отмечены между урожайностью и численностью нитратредуцирующих бактерий (0.89) в верхнем слое 0–10 см и олиготрофных микроорганизмов (0.97) в нижнем

Таблица 2. Урожайность гороха по вариантам опыта с разными обработками почвы ($НСР_{05} = 2.2$)

Вариант опыта	Урожайность, ц/га
Вспашка 20–22 см	20.9
Вспашка 14–16 см	21.2
Безотвальная 14–16 см	18.8
Минимальная 6–8 см	18.8
Нулевая	13.7

Таблица 3. Коэффициенты корреляции между численностью микроорганизмов и урожайностью гороха ($u_{\text{крит}} = 0.878$)

Слой, см	Микроорганизмы, среда культивирования							
	МПА	КАА	актино-мицеты	нитрат-редукторы	грибы	целлюлозолитики	олиготрофы	азотобактер
0–10	0.59	0.51	0.24	0.89	0.09	0.83	-0.16	-0.30
10–20	0.18	-0.34	0.30	0.32	-0.07	0.40	0.98	-0.75

* Жирным шрифтом выделена достоверная корреляция

Таблица 4. Значения u -статистики между вариантами опыта по совокупному количеству микроорганизмов в слое 0–10 (числитель) и 10–20 см (знаменатель) ($u_{\text{крит}} = 0.499$)

Обработка	Вспашка 14–16 см	Безотвальная 14–16 см	Минимальная 6–8 см	Нулевая	Залежь
Вспашка 20–22 см	<u>0.073</u>	<u>0.232</u>	0.500*	0.625	0.556
Вспашка 14–16 см	0.176	0.350	0.250	0.594	0.500
Безотвальная 14–16 см	–	<u>0.184</u>	<u>0.468</u>	0.620	0.543
Минимальная 6–8 см	–	0.175	0.025	0.375	0.306
Нулевая	–	–	<u>0.113</u>	<u>0.335</u>	<u>0.298</u>
	–	–	0.188	0.156	0.111
	–	–	–	0.500	<u>0.400</u>
	–	–	–	0.458	0.357
	–	–	–	–	<u>0.000</u>
	–	–	–	–	0.036

* Жирным шрифтом выделены существенные различия.

слое 10–20 см. В остальных случаях коэффициенты корреляции были незначимы (<0.878), но в основном указывали на прямую связь урожайности с количеством микроорганизмов. Положительная корреляция в обоих слоях почвы зафиксирована у целлюлозолитических микроорганизмов, аммонификаторов (среда МПА) и низкая у актиномицетов, что также говорит о степени их влияния на урожайность гороха. Любопытно, что отрицательная корреляция урожая гороха в толще пахотного горизонта отмечена с активностью *Azotobacter*, т.е. свободноживущие азотфиксирующие микроорганизмы, вероятно, выступают антагонистами симбиотическому *Rhizobium* и могут отрицательно влиять на урожайность сельскохозяйственных бобовых культур.

Преимущественные прямые корреляционные связи между урожайностью и количеством различных групп микроорганизмов дали основание для сопоставления почв вариантов опыта и залежи по совокупному количеству представителей почвенной микрофлоры. Результаты определения различий между вариантами опыта по совокупности количества исследуемых микроорганизмов в слоях 0–10 и 10–20 см на основе вычисления *u*-статистики методом Лорда приведены в табл. 4.

Значимые отличия по совокупному количеству микроорганизмов между вариантами опыта отмечены в основном в слое 0–10 см и всего в двух случаях в слое 10–20 см.

Значения *u*-статистики слоя 0–10 см показали, что вариант с отвальной вспашкой на глубину 20–22 см (1) существенно превосходил количество микроорганизмов в этом слое на вариантах с поверхностной (4) и нулевой обработками (5), а также в почвах залежи (6). Количество микроорганизмов в слое 0–10 см в вариантах со вспашкой на глубину 14–16 см (2) было существенно выше, чем на делянках с нулевой обработкой (5) и в аналогичном слое залежи (6). В варианте с поверхностной обработкой (4) в слое 0–10 см совокупное количество микроорганизмов было значимо выше по сравнению только с нулевой обработкой (5). Между почвами остальных вариантов опыта и залежи в слое 0–10 см различия по совокупности микроорганизмов были несущественными.

Расчет *u*-статистики для слоя 10–20 см показал, что по совокупности микроорганизмов варианты с отвальной вспашкой на глубину 20–22 см (1) значительно превосходили варианты с нулевой обработкой (5) и почвы залежи (6). Различия между другими вариантами были несущественными.

Таким образом, анализ значений *u*-статистики продемонстрировал различия в количественных показателях микроорганизмов, связанных именно с уровнем механического воздействия на почву, особенно это показано для верхнего слоя 0–10 см. Чем сильнее разница в степени воздействия, тем значительнее различия в численности микрофлоры и тем более глубокие слои затрагиваются.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Почвообрабатывающие системы влияют на биологические свойства черноземов и оказывают большое воздействие на продуктивность почвы и ее устойчивость. Исследуемые способы

обработки миграционно-мицелиарных агрочерноземов в основном приводили к увеличению численности рассматриваемых групп микроорганизмов по сравнению с почвами залежи. Наиболее значительное увеличение биогенности почв отмечено в слое 0–10 см при использовании отвальной вспашки как на глубину 20–22, так и 14–16 см, что подтверждено статистически с помощью метода Лорда. Эти варианты опыта отличались максимальным количеством микроорганизмов углеродного цикла, особенно аммонификаторов и олиготрофов, участвующих в трансформации свежих органических остатков и растительных экссудатов. С глубиной численность исследуемых групп микроорганизмов уменьшалась, и различия по биогенности агрочерноземов залежи и делянок опыта с разными обработками нивелировались. Так, если в слое 0–10 см достоверные различия между вариантами опыта и почвами залежи обнаруживались в 6 случаях сравнения, то уже на глубине 10–20 см было отмечено только в 2. Коэффициенты минерализации органического вещества в почвах всех исследуемых вариантах и залежи были значительно выше единицы, что свидетельствует о преобладании процессов минерализации органического вещества почвы над утилизацией свежих органических остатков ([Зинченко и др., 2012](#)). Однако в почвах опытных делянок по сравнению с агрочерноземами залежи наблюдалось уменьшение коэффициента минерализации, что было наиболее выражено в слое 0–10 см в вариантах с отвальными вспашками. Таким образом, в исследуемых вариантах опыта по сравнению с залежью значительно возросло количество микрофлоры, утилизирующей свежие органические остатки, и снизилась доля микроорганизмов, минерализующих гумусовые вещества почвы.

Наиболее высокая урожайность гороха была получена на вариантах с отвальной вспашкой как на глубину 20–22, так и 14–16 см. Эти варианты, несущественно различаясь по урожайности между собой, значимо превосходили все остальные. Следует отметить, что в целом, с увеличением степени минимизации обработки в условиях легкоглинистых миграционно-мицелиарных агрочерноземов Каменной степи, происходило снижение урожайности гороха.

Установленная прямая тесная достоверная связь урожайности от численности нитратредуцирующих бактерий в слое 0–10 см,

а также олиготрофов в слое 10–20 см; это, вероятно, указывает на то, что лимитирующим фактором урожайности является недостаток свежего органического вещества.

Поскольку черноземы являются плодородными, устойчивыми к внешним воздействиям высоко буферными почвами за счет высокого содержания гумусовых веществ, благоприятной зернистой структуры, оптимальных физических и химических показателей, резко изменить или катастрофически сузить состав микробного сообщества за счет внешних воздействий практически невозможно. Аналогичное заключение получено в исследованиях агрегатного состояния черноземов в пашнях разного возраста: структурное состояние агрочерноземов Каменной степи, даже в условиях старой пашни (120 лет освоения), остается хорошим ([Лебедева и др., 2017](#)). Однако задача сохранения и преумножения биоразнообразия является одной из приоритетных для сбережения и спасения естественного плодородия и почвенного биологического потенциала черноземных почв.

Обычные методы обработки почвы могут отрицательно повлиять на долгосрочную продуктивность почвы из-за эрозии и потери органического вещества ([Mathew et al., 2012](#)). В то время как нулевая обработка, наиболее приближенная по степени механического воздействия на почву к естественным биоценозам, позволит сохранить чернозем, его уникальную мелкозернистую структуру, которая является своеобразным гарантом благоприятных для произрастания растительности водно-физических свойств ([Лебедева и др., 2017](#)), а также оптимизировать водно-воздушный и температурный режимы, увеличить поступление свежих органических остатков в почву, сохранить биоразнообразие, характерное для естественных ценозов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Василенко Е.С., Кутовая О.В., Тхакахова А.К., Мартынов А.С.* Изменение численности микроорганизмов в зависимости от величины агрегатов миграционно-мицелярного чернозема // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева 2014. Вып. 73. С. 85–97.
2. *Гребенников А.М.* Влияние смешивания посевов на микробиологическую активность почв // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева 2008. Вып. 61. С. 75–82.

3. *Гребенников А.М.* Воспроизводство плодородия черноземов ЦЧЗ при их сидерации смешанными агросообществами: Автореф. дис. ... докт. с.-х. н. М., 2011а. 44 с.
4. *Гребенников А.М.* Использование сидерации смешанными агросообществами для повышения плодородия типичных черноземов // Плодородие. 2011б. № 2. С. 30–32.
5. *Железова А.Д., Тхакахова А.К., Ярославцева Н.В., Гарбуз С.А., Лазарев В.И., Когут 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.
6. *Заварзин Г.А., Колотилова Н.Н.* Введение в природоведческую микробиологию. М.: Книжный дом Университет, 2001. 256 с.
7. *Закс Л.* Статистическое оценивание. М.: Статистика, 1976. 598 с.
8. *Зинченко М.К., Бибик Т.С., Стоянова Л.Г.* Влияние систем удобрений на структуру и изменение отдельных физиологических групп микроорганизмов в серой лесной почве Владимирского ополья // Фундаментальные исследования. № 12. Ч. 3. 2014. С. 552–557.
9. *Иванова Е. А., Кутовая О. В., Тхакахова А. К., Чернов Т. И., Першина Е.В., Маркина Л.Г., Андронов Е. Е., Когут. Б.М.* Структура микробного сообщества агрегатов чернозема типичного в условиях контрастных вариантов сельскохозяйственного использования // Почвоведение. 2015. № 11. С. 1367–1382. doi: 10.7868/S0032180X15110088.
10. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
11. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 223 с.
12. *Кутовая О.В., Гребенников А.М., Чевердин Ю.И., Маркина Л.Г.* Влияние длительности использования агрочерноземов в земледелии на мезофауну и активность микрофлоры // Аграрная Россия. 2017. № 1. С. 2–9.
13. *Кутовая О.В., Тхакахова А.К., Чевердин Ю.И.* Влияние поверхностного переувлажнения на биологические свойства лугово-черноземных почв Каменной Степи // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2016. Вып. 82. С. 56–70. doi: 10.19047/0136-1694-2016-82-56-70.
14. *Лебедева И.И., Чевердин Ю.И., Титова Т.В., Гребенников А.М., Маркина Л.Г.* Структурное состояние миграционно-мицелярных (типичных) агрочерноземов Каменной Степи в условиях разновозрастной пашни // Почвоведение. 2017. № 2. С. 227–238. doi: 10.7868/S0032180X17020095
15. Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
16. *Титова В.И., Козлов А.В.* Методы оценки функционирования микробоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества. Нижний Новгород, 2012. 64 с.

17. *Balota E.L., Colozzi-Filho A., Andrade D.S., Dick R.P.* Microbial biomass in soils under different tillage and crop rotation systems // *Biol. Fertil. Soils*. 2003. V. 38. No. 1. P. 15–20.
18. *Chan K.Y., Mead J.A.* Surface physical properties of a sandy loam soil under different tillage practices // *Austr. J. Soil Res.* 1988. V. 26. No. 3. P. 549–559.
19. *Hobbs P.R., Sayre K., Gupta R.* The role of conservation agriculture in sustainable agriculture // *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. V. 363, No. 1491, pp. 543–555, 2008. doi: 10.1098/rstb.2007.2169
20. *Mathew R.P., Feng Y., Githinji L., Ankumah R., Balkcom K.S.* Impact of No-Tillage and Conventional Tillage Systems on Soil Microbial Communities // *Applied and Environmental Soil Science*. 2012. Article ID 548620. 10 p.
21. *Schwab E.B., Reeves D.W., Burmester C.H., Raper R.L.* Conservation tillage systems for cotton in the Tennessee Valley // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2002. V. 66. No. 2. P. 569–577.
22. *Staley T.E.* Soil microbial biomass alterations during the maize silage growing season relative to tillage method // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1999. V. 63. No. 6. P. 1845–1847.
23. *Trojan M.D., Linden D.R.* Macroporosity and hydraulic properties of earthworm-affected soils as influenced by tillage and residue management // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1998. V. 62. No. 6. P. 1687–1692.
24. *Uri N.D.* Factors affecting the use of conservation tillage in the United States // *Water, Air, and Soil Pollution*. 1999. V. 116. No. 3–4. P. 621–638.
25. *West T.O., Post W.M.* Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2002. V. 66. No. 6. P. 1930–1946.
26. World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome, 2014. 181 p.

THE CHANGES IN SOIL-BIOLOGICAL PROCESSES AND STRUCTURE OF MICROBIAL COMMUNITY OF AGROCHERNOZEMS IN CONDITIONS OF DIFFERENT WAYS OF SOIL CULTIVATION

**O. V. Kutovaya¹, A. M. Grebennikov¹, A. K. Tkhakakhova¹,
V. A. Isaev¹, V. M. Garmashov², V. A. Bespalov²,
Yu. I. Cheverdin², V. P. Belobrov¹**

¹*V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,
Russia, 119017, Moscow, Pyzhevskii per. 7-2*

² V.V. Dokuchaev Research Institute of Agriculture of the Central Black Earth strip, 397463, Voronezh region., Talovsky district, pos. 2 section of V.V. Dokuchaev Institute quarter 5-81

The impact of soil cultivation methods (tillage with soil overturning at a depth of 20–22 and 14–16 cm, beardless plowing and surface treatment respectively at a depth of 14–16 and 6–8 cm, and also zero or minimal tillage) on biological activity of various ecology-trophic groups of microorganisms on agrophernozems of the Kamennaya Steppe (Voronezh oblast) using classical inoculation methods on elective media. It is shown that chernozems are highly resistant soils that are resistant to external impacts, preserving high biological activity even at the maximum mechanical treatment. Tillage with soil overturn leads to aeration of the arable horizon and the activity initiation of aerobic microorganisms of the carbon cycle, responsible for the mineralization of both complex and simple organic compounds of the soil. The contribution of microorganisms of the nitrogen cycle (nitrate-reducers and nitrogen fixers) to the overall biological activity of migratory-micellar chernozems of arable land and layland was minimal. The level of mechanical impact on the soil affects the quantitative indices and biological activity of microorganisms in the soil - the stronger the effect, the deeper layers are affected. The processes of entrance for fresh organic matter prevail over the processes of mineralization practically in all variants of the experiment, except for tillage with the soil overturn to a depth of 14–16 cm, as indicated by the values of the mineralization coefficients. The strongest humus-accumulative effect was observed in the variant with zero treatment, which is maximally approximated to such processes, occurred in a layland. Minimal soil cultivation will help to preserve the unique structure of chernozem soil, to increase the flow of fresh organic remains, to preserve the high biological diversity which is specific for natural biocenoses.

Keywords: the biological activity, tillage, surface treatment, zero treatment (no-till), microbiocoenosis

REFERENCES

1. Vasilenko E.S., Kutovaya O.V., Tkachakhova 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. e70–e81.
2. Grebennikov A.M. The effect of mixing of crops in microbiological activity of soil, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2008, V. 61, pp. 75–82. (in Russian)
3. Grebennikov A.M. *The reproduction of the fertility of chernozems of CCZ with their green manuring mixed agrocommunities*, Doctor's thesis Moscow, 2011a. 44 p. (in Russian)

4. Grebennikov A.M. Use of green manuring mixed agrose societies to improve the fertility of typical Chernozem, *Fertility*, 2011b, No. 2, pp. 30–32. (in Russian)
5. Zhelezova A.D., Takakuwa A.K., Yaroslavtseva N.V., Garbuz C.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, V. 50 (6), pp. 701–707. doi: 10.1134/S1064229317060126
6. Zavarzin G.A., Kolotilova H.H. *Introduction to the natural history microbiology*. Moscow: publishing house of the University, 2001. 256 p. (in Russian)
7. Zaks L. *Statistical estimation*. Moscow: Statistics, 1976. 598 p. (in Russian)
8. Zinchenko M.K., Bibik T.S., Stoyanova L.G. The Influence of systems of fertilizers on the structure and change of separate physiological groups of microorganisms in gray forest soil of Vladimir Opole, *Fundamental research*, 2014, No. 12. Part 3, pp. 552–557. (in Russian)
9. Ivanova E.A., Kutovaya O.V., Tkhakakhova A.K., Chernov T.I., Pershina E.V., Markina L.G., Andronov E.E., Kogut B.M. The Structure of Microbial Community in Aggregates of a Typical Chernozem Aggregates under Contrasting Variants of Its Agricultural Use, *Eurasian Soil Science*, 2015, V. 48 (11), pp. 1242–1256. doi: 10.1134/S1064229315110083
10. *Classification and diagnostics of soils in Russia*. Smolensk: Oikumena, 2004. 342 p. (in Russian)
11. *Classification and diagnostics of soils of the USSR*. Moscow, Kolos Publ., 1977, 223 p. (in Russian)
12. Kutovaya O.V., Grebennikov A.M., Chevardin Y.I., Markina L.G. The Effect of duration of use of agrocenoses in agriculture, menopau-well, microflora activity, *Agrarian Russia*, 2017, No. 1, pp. 2–9. (in Russian)
13. 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*, 2017, V. 82, pp. 56–71. doi: 10.19047/0136-1694-2016-82-56-70.
14. Lebedeva I.I., Cheverdin Yu.I., Titova T.V., Grebennikov A.M., Markina L.G. Structural State of Migrational-Mycelial (Typical) Agrochernozems of the Kamennaya Steppe on Plowed Fields of Different Ages, *Eurasian Soil Science*, 2017, V. 50 (2), pp. 218–228. doi: 10.1134/S1064229317020090
15. *Field determinant of soils in Russia*. Moscow, 2008. 182 p. (in Russian)
16. Titova V.I., Kozlov A.V. *Methods of evaluation the functioning of the microbiocenose of the soil participating in the transformation of organic matter*. Nizhny Novgorod. 2012. 64 p. (in Russian)
17. Balota E.L., Colozzi-Filho A., Andrade D.S., Dick R.P. Microbial biomass in soils under different tillage and crop rotation systems, *Biology and Fertility of Soils*, 2003, V. 38, No. 1, pp. 15–20.

18. Chan K.Y., Mead J.A. Surface physical properties of a sandy loam soil under different tillage practices, *Austral. J. Soil Res.*, 1988, V. 26, No. 3, pp. 549–559.
19. Hobbs P.R., Sayre K., Gupta R., The role of conservation agriculture in sustainable agriculture, *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, vol. 363, No. 1491, pp. 543–555, 2008. doi: 10.1098/rstb.2007.2169
20. Mathew R.P., Feng Y., Githinji L., Ankumah R., Balkcom K.S. Impact of No-Tillage and Conventional Tillage Systems on Soil Microbial Communities, *Appl. Environ. Soil Sci.*, 2012, Article ID 548620. 10 p.
21. Schwab E.B., Reeves D.W., Burmester C.H., Raper R.L. Conservation tillage systems for cotton in the Tennessee Valley, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2002, V. 66, No. 2, pp. 569–577.
22. Staley T.E. Soil microbial biomass alterations during the maize silage growing season relative to tillage method, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1999, V. 63, No. 6, pp. 1845–1847.
23. Trojan M.D. Linden D.R. Macroporosity and hydraulic properties of earthworm-affected soils as influenced by tillage and residue management, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1998, V. 62, No. 6, pp. 1687–1692.
24. Uri N.D. Factors affecting the use of conservation tillage in the United States, *Water, Air, and Soil Pollution.*, 1999, V. 116, No. 3–4, pp. 621–638.
25. West T.O., Post W.M. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2002, V. 66, No. 6, pp. 1930–1946.
26. *World reference base for soil resources 2014*. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome, 2014. 181 p.

Ссылки для цитирования

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 // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2018. Вып. 92. С. 35-61. doi: 10.19047/0136-1694-2018-92-35-61

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, Vol. 92, pp. 35-61. doi: 10.19047/0136-1694-2018-92-35-61