

ИЗМЕНЕНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОБОЦЕНОЗА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ И ИЗВЕСТКОВАНИИ

А.Н. Налиухин, д.с.-х.н., ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова
127550, ул. Прянишникова 31а, Москва, Россия, E-mail: naliuhin@yandex.ru

В стационарном полевом опыте изучено влияние органической, минеральной, органоминеральной систем удобрения и органоминерального удобрения (ОМУ) на урожайность культур, физико-химические свойства, альфа- и бета-разнообразие микробного сообщества дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы. Исследования проводили на двух уровнях кислотности (pH_{KCl} 5,1 и 5,9), созданных путём известкования. По влиянию на урожайность применение навоза КРС было менее эффективно, чем его совместное внесение с минеральными удобрениями в половинных дозах. Сходный эффект получен при внесении ОМУ. Кроме того, применение ОМУ способствует существенному увеличению запасов почвенного органического углерода на 18-32%. Одностороннее внесение минеральных удобрений приводит к значительному снижению альфа-разнообразия структуры почвенных микробных сообществ. Обнаружена чёткая кластеризация микробиоты в вариантах с внесением навоза и без него. Выявлено, что таксономическая структура микробоценоза формируется под действием двух основных факторов: культуры севооборота и применяемых удобрений. Таким образом, мониторинг изменения агрохимических свойств почв и структуры микробных сообществ позволит проводить комплексную оценку агроэкологического состояния почв и своевременно принимать решения по недопущению их деградации.

Ключевые слова: система удобрения, агрохимические показатели, урожайность, микробоценоз почвы, метагеномные исследования.

Для цитирования: Налиухин А.Н. Изменение агрохимических свойств и микробоценоза дерново-подзолистой почвы при применении удобрений и известковании// Плодородие. – 2021. – №5. – С. 44-48. DOI: 10.25680/S19948603.2021.122.11.

Устойчивое функционирование агроэкосистем во многом обусловлено научно обоснованной системой удобрения, учитывающей биологические особенности потребления элементов питания различными культурами, влияние предшественников, действие и последствие удобрений [12]. Результаты длительных и сверхдлительных опытов показывают, что применение органических, минеральных, известковых удобрений и сидератов позволяет поддерживать плодородие почв в течение длительного времени [4, 11, 13].

Увеличение в структуре посевных площадей зерновых и пропашных культур при сокращении выхода навоза вызывает необходимость поддержания почвенного органического вещества ($\text{C}_{\text{орг.}}$) на определённом уровне, который определяется типом почвы, гранулометрическим составом, специализацией севооборота и множеством других факторов [14]. Дерново-подзолистые почвы, например в Вологодской области, занимают около 90% пахотных угодий, они характеризуются низким содержанием гумуса (до 2-3%), кислой реакцией среды, повышенной обеспеченностью подвижным фосфором и средним – калия [1]. На территории области выделено семь округов, характеризующихся различными почвенно-климатическими условиями. Такое многообразие факторов затрудняет прогноз динамики плодородия почв, в первую очередь оценку изменения содержания почвенного органического вещества [15, 19, 20].

Органические и органоминеральные системы удобрения, обеспечивая дополнительное поступление органического вещества, способствуют, тем самым, увеличению содержания $\text{C}_{\text{орг.}}$, улучшают азотный, фосфатный и калийный режимы почвы [2, 4].

Почвенные микроорганизмы чутко реагируют на изменение технологии обработки почвы, применения

удобрений и севооборота. Существуют довольно противоречивые данные о влиянии агрохимических факторов на структуру микробного сообщества. В целом таксономическая структура почвенных микробных сообществ коррелирует с полезными функциями почвы и экосистем, включая круговорот питательных веществ, нейтрализацию токсичных соединений и подавление развития вредных и патогенных организмов. На основе анализа почвенной микробиоты могут быть приняты решения по организации управления земельными ресурсами для достижения максимальной продуктивности культур [16, 18].

Отклик микробоценоза почв на изменение плодородия почвы можно учесть только в длительных опытах, продолжающихся не менее одной ротации севооборота.

Цель исследований – изучить влияние различных систем удобрения на физико-химические свойства почвы, продуктивность сельскохозяйственных культур и структуру микробоценоза почвы.

Методика. Полевой опыт заложен в 2015 г. на опытном поле ФГБОУ ВО «Вологодская ГМХА» в 5-польном севообороте: 1 – вико-овсяная смесь на зелёную массу; 2 – озимая пшеница; 3 – ячмень яровой с подсевом клевера лугового; 4 – клевер луговой; 5 – овёс посевой. Эксперимент развёрнут на трёх последовательно вводимых полях, что позволяло создать 3-кратную повторность во времени и пространстве для каждой культуры севооборота [5-8].

Почва опытного участка – дерново-среднеподзолистая легкосуглинистая, согласно классификации ФАО – Albic Retisol (Loamic, Aric, Cutanic, Differentic, Ochric). Мощность пахотного горизонта – 20 см. Пахотный горизонт перед закладкой опыта имел следующие агрохимические показатели: pH_{KCl} 5,1-5,2,

содержание почвенного органического углерода ($C_{орг.}$) – 1,50-1,86 %, подвижного фосфора – 251-296, калия – 116-148 мг/кг почвы (по Кирсанову), гидролитическая кислотность (по Каппену) – 3,40-4,14 ммоль(экв)/100 г, сумма поглощённых оснований (по Каппену – Гильковицу) – 10,5-12,8 ммоль(экв)/100 г почвы [5-8].

В течение экспериментального периода 2015-2020 г., среднегодовое количество осадков и температура составляла 706 мм и 2,4 °C соответственно. За теплый период (апрель-октябрь) выпадало 72 % годово-

го количества осадков, за холодный (ноябрь-март) – 28 %. Схема опыта включала два фактора (см. табл. 1): А – известкование (A_1 – без внесения $CaCO_3$ с исходным уровнем pH_{KCl} 5,1 и A_2 – внесение $CaCO_3$ до создания pH_{KCl} 5,9) и В – шесть систем удобрения: 1 – контроль (без удобрений), 2 – минеральная, 3 – органическая (навоз КРС), 4 – органоминеральная, 5 – органоминеральное удобрение (ОМУ) и 6 – ОМУ, гранулы которого модифицированы биопрепаратом бисолбифит [5-8].

1. Урожайность культур севооборота при применении различных систем удобрения и известковании (в среднем по трем полям, 2015-2019 г.), т з.е/га

Фактор В - удобрения	Вико-овсяная смесь			Озимая пшеница			Ячмень			Клевер луговой, в сумме за 2 укоса			Овес			Среднее		
	Фактор А		Ср. В	Фактор А		Ср. В	Фактор А		Ср. В	Фактор А		Ср. В	Фактор А		Ср. В	Фактор А		Ср. В
	A_1	A_2		A_1	A_2		A_1	A_2		A_1	A_2		A_1	A_2		A_1	A_2	
Контроль (без удобрения)	3,25	3,71	3,48	2,61	2,92	2,76	1,80	2,13	1,97	7,81	8,15	7,98	4,70	5,07	4,89	4,03	4,40	4,22
Навоз, 50 т/га	4,13	4,64	4,38	3,35	3,88	3,61	2,10	2,50	2,30	8,78	9,53	9,16	5,13	5,63	5,38	4,70	5,24	4,97
НРК, экв. навозу	4,33	4,85	4,59	3,82	4,39	4,11	2,66	3,06	2,86	8,69	9,65	9,17	5,29	5,51	5,40	4,96	5,49	5,23
Навоз, 25 т/га + НРК, экв. навозу в дозе 25 т/га	4,64	5,17	4,90	4,02	4,62	4,32	2,72	3,09	2,90	8,98	10,28	9,63	5,90	5,77	5,83	5,25	5,79	5,52
ОМУ, экв. по N навозу 50 т/га	4,43	4,90	4,67	3,87	4,37	4,12	2,81	3,19	3,00	9,20	9,94	9,57	5,37	5,19	5,28	5,14	5,52	5,33
ОМУ+БисолБифит, экв. по N навозу 50 т/га	4,72	5,42	5,07	4,12	4,59	4,36	3,05	3,22	3,14	9,27	9,97	9,62	5,41	5,45	5,43	5,31	5,73	5,52
Среднее по А	4,25	4,78	4,52	3,63	4,13	3,88	2,52	2,87	2,69	8,79	9,59	9,19	5,30	5,44	5,37	4,90	5,36	5,13
HCp_{05} частных различий фактора А	0,43			0,93			0,45			0,63			0,41			0,32		
факт. В и АВ	0,18			0,38			0,19			0,26			0,17			0,13		
	0,31			0,66			0,32			0,44			0,29			0,23		

Все системы удобрения за полную ротацию севооборота уравниваются по количеству внесенного азота. Количество азота, фосфора и калия, вносимое с минеральными удобрениями, соответствовало их поступлению с навозом в дозе 50 т/га (N_{150}). В варианте 5, при совместном внесении органических и минеральных удобрений в полных дозах, общее количество действующего вещества было в 2 раза больше по сравнению с вариантами 2–4 и 6, и составляло $N_{300}P_{240}K_{450}$.

Удобрения вносили в форме Наа, Кх, а также комплексного азотно-фосфорно-калийного удобрения марки 15:15:15 + 7%S; ОМУ (7:7:8 + микроэлементы и гуминовые кислоты) производства ОАО «Буйский химический завод», модифицированного биопрепаратом бисолбифит [6]. В качестве известкового удобрения использовали известняковую муку (98% $CaCO_3$), органического – компост на основе навоза КРС с содержанием 0,27% N, 0,24 P_2O_5 и 0,45% K_2O [5-8].

Органические и известковые удобрения вносили в занятом вико-овсяном пару под вспашку. Минеральные и органоминеральные удобрения применяли ежегодно под первые три культуры севооборота, на клевере луговом и овсе изучали их последствие [6].

В севообороте возделывали вику посевную яровую сорта Львовская 28, овёс яровой – Боррус и Лев, пшеницу мягкую озимую – Московская 56, ячмень яровой – Выбор, клевер луговой сорта Дымковский.

Учёт урожайности и методы анализа почв подробно изложены в работах [5-8]. Статистическую обработку данных проводили по модели двухфакторного дисперсионного анализа ANOVA с использованием программы Statgraphics Centyion. Различия между вариантами анализировали с помощью критерия Тьюки (Tukey test

HSD), позволяющего более глубоко выявить скрытое взаимодействие между вариантами при $p < 0,05$ [3].

С использованием высокопроизводительного секвенирования последовательностей варибельного участка V4 генов 16S рРНК была изучена таксономическая структура микробоценоза почв, сложившаяся в различных вариантах полевого опыта при применении удобрений. Статистическую обработку проводили с использованием пакета phyloseq для языка программирования R. Проведена оценка сходства микробных сообществ. Для характеристики биоразнообразия и выполнения сравнительного анализа микробных сообществ рассчитывали параметры альфа- и бета-разнообразия [17]. Метагеномный анализ почвенного микробного сообщества и статистический анализ полученных данных были проведены в ФГБНУ ВНИИСХМ в лаборатории микробиологического мониторинга и биоремедиации почв.

Результаты и их обсуждение. Все системы удобрения существенно влияли на повышение урожайности возделываемых в севообороте сельскохозяйственных культур ($p < 0,001$). Следует выделить два периода: действие и последствие удобрений. В первый период урожайность вико-овсяной смеси, озимой пшеницы и ячменя в вариантах с удобрениями на фоне известкования повышалась на 39-77% к контролю (без удобрений). Во второй период (последствия удобрений) прибавка урожайности клевера и овса по сравнению с контролем была меньше и составляла 22-31 и 17-25% соответственно.

Применение навоза совместно с $CaCO_3$ способствовало получению дополнительной урожайности в среднем на 12% по отношению к неизвесткованной почве. Преимущество минеральной системы удобрения над органической проявлялось на зерновых культурах: ози-

мой пшенице и яровом ячмене на фоне известкования, где была получена дополнительная прибавка 13 и 23% соответственно (табл. 1). Органоминеральная система традиционно считается лучшей для зоны дерново-подзолистых почв. В нашем эксперименте также проявилось её преимущество по сравнению с другими системами удобрения, особенно в последствии на овсе посевном. Изучение новых видов ОМУ показало некоторое их преимущество над минеральными. Особенно сильный эффект наблюдался от ОМУ с Бисолбифитом – на известкованном фоне при pH 5,1-5,2 прибавка урожайности составляла 6,5% к минеральной системе удобрения.

Известкование способствовало улучшению физико-химических свойств почвы и, как следствие, увеличению отдачи от удобрений. Наиболее отзывчивой культурой на известкование был яровой ячмень. Урожайность ячменя на различных системах удобрения от внесения СаСО₃ повышалась на 14-15%. Клевер луговой, в среднем по опыту, увеличивал урожайность от известкования на 4-11% (см. табл. 1). Овес посевной, как культура, устойчивая к кислой реакции среды, оказался слабочувствительным к известкованию ($p > 0,05$). В целом следует отметить, что известкование даже слабокислой почвы, способствует существенному повышению продуктивности сельскохозяйственных культур и увеличивает эффективность различных систем удобрения [6].

В среднем за ротацию севооборота наибольшая урожайность была достигнута при органоминеральной системе удобрения на фоне известкования (+43% к контролю). Взаимодействие факторов (удобрений и СаСО₃) не выявлено ($p > 0,05$).

После завершения 5-летней ротации отмечается тенденция к снижению содержания и запасов С_{орг.} на контроле (без удобрений) и при минеральной системе удобрения. По-видимому, запашка только одних растительных остатков не может стабилизировать гумусное состояние почв. Внесение навоза КРС из расчёта 10 т/га в год способствует сохранению исходного содержания органического углерода в почве. По нашим исследованиям, именно такая доза навоза стабилизирует гумусо-

вое состояние почв в полевых севооборотах Нечернозёмной зоны России [10].

Известкование ранее слабокислой почвы увеличило pH по вариантам опыта до реакции, близкой к нейтральной (pH 5,8-5,9), существенно снизило величину гидролитической кислотности и увеличило сумму поглощённых оснований ($p < 0,001$). Достоверно выросла степень насыщенности почвы основаниями (83,6-88,8%).

В то же время, применение систем удобрения существенно не отражается на содержании фосфора, извлекаемого солянокислой вытяжкой по Кирсанову и СаCl₂-вытяжкой по Скофилду. По всей вероятности, это объясняется изначально высоким содержанием подвижного фосфора в почве (260-270 мг/кг по методу Кирсанова), что связано с высоким содержанием фосфора в материнских почвообразующих породах.

Для изучения влияния систем удобрения на калийный режим почвы были определены три формы К₂O, экстрагируемые различными вытяжками: подвижный калий по Кирсанову, обменный – по Масловой и легкоподвижный – по Скофилду (см. табл. 2). В результате дисперсионного анализа выявлено, что содержание различных форм калия существенно зависело только от кислотности почвы ($p < 0,05$), а системы удобрения не оказывали достоверного влияния ($p > 0,05$). Не наблюдалось также и сопряжённого эффекта от взаимодействия факторов (см. табл. 2). Возделывание культур без внесения удобрений (контроль) привело к отрицательному балансу калия, в результате содержание подвижного К₂O снизилось на 20 %, обменного – на 35 и легкоподвижного на 60 %, по сравнению с исходным уровнем. При этом все системы удобрения способствовали не существенному изменению содержания подвижного калия. При анализе почвенных образцов по методу Масловой в 1М СН₃COONH₄ вытяжку переходило примерно на 10-12 % К₂O больше, чем в 0,2 М HCl-вытяжку по Кирсанову. Это связано с наиболее полным вытеснением обменного калия из почвы, на что указывается в работе [9]. Определение легкоподвижного калия также отражает отмеченные закономерности.

2. Агрохимические свойства почвы при применении различных систем удобрения и известковании (в среднем по трем полям)

Показатель	Без удобрений		Навоз, 50 т/га		NPK, экв. навозу в дозе 50 т/га		Навоз, 25 т/га + NPK, экв. навозу 25 т/га		ОМУ, экв по N навозу 50 т/га		ОМУ+Бисолбифит, экв. по N навозу 50 т/га	
	A ₁	A ₂	A ₁	A ₂	A ₁	A ₂	A ₁	A ₂	A ₁	A ₂	A ₁	A ₂
<i>Содержание С_{орг.} и его запасы</i>												
Содержание С _{орг.} , %	1,54	1,45	1,71*	1,52	1,48	1,46	1,74*	1,58	1,78	1,92	1,86*	1,72
Запасы С _{орг.} в слое 0-20 см т/га	38,5	36,3	42,8	38,0	37,0	36,5	43,5	39,5	44,5	48,0	46,5	43,0
<i>Физико-химические свойства</i>												
pH _{KCl} , ед.	5,4	5,9*	5,4	5,8*	5,3*	5,8*	5,2	5,9*	5,4*	5,8*	5,2	5,9*
H ₊ , ммоль(экв)/100 г	2,26*	1,71*	2,50*	1,69*	2,86*	1,89*	2,76*	1,67*	2,74*	1,97*	2,78*	1,96*
S, ммоль(экв)/100 г	11,2*	13,7*	11,5*	12,8*	10,5*	11,6*	10,8	12,7*	11,5*	10,4	11,2	11,3
V, %	82,2*	88,8*	80,7*	88,4*	78,4*	85,9*	79,6*	88,1*	79,8*	83,6*	79,6*	85,2*
<i>Фосфатный режим почв</i>												
P ₂ O ₅ (по Кирсанову), мг/кг	249	272	244	259	250 *	272	260	273	280 *	266*	276	215*
P ₂ O ₅ (по Скофилду), мг/л	0,16	0,14	0,14	0,13	0,15	0,16	0,18	0,21	0,38	0,32	0,38	0,25
<i>Калийный режим почв</i>												
K ₂ O (по Кирсанову), мг/кг	103	86*	117	89*	112	93*	106*	105*	127*	97*	130*	103*
K ₂ O (по Масловой), мг/кг	116*	107*	126*	102*	126*	111*	114*	130*	164*	130*	161*	121*
K ₂ O (по Скофилду), мг/л	14,0	13,0	10,0	12,0	18,0	14,0	11,0	10,0	18,0	12,0	19,0	17,0

*Статистически достоверные различия между значением до закладки и в конце ротации севооборота.

Примечание. A₁ – без известки, A₂ – с известкой.

При анализе таксономической структуры микробного сообщества было выявлено 10759 таксонов из 456 родов, отнесенных к 34 филам (31 бактериальная и 3 археотные). Во всех образцах почвы доминируют филы Actinobacteria, Acidobacteria и Proteobacteria, а также присутствуют археотные филы. Наиболее многочис-

ленной из фил архей является Thaumarchaeota.

Оценка альфа-разнообразия по числу оперативных таксономических единиц (ОТЕ) и индексу Шеннона (рис. 1) показывает, что одностороннее внесение минеральных удобрений способствует значительному снижению разнообразия почвенных микробных сообществ.

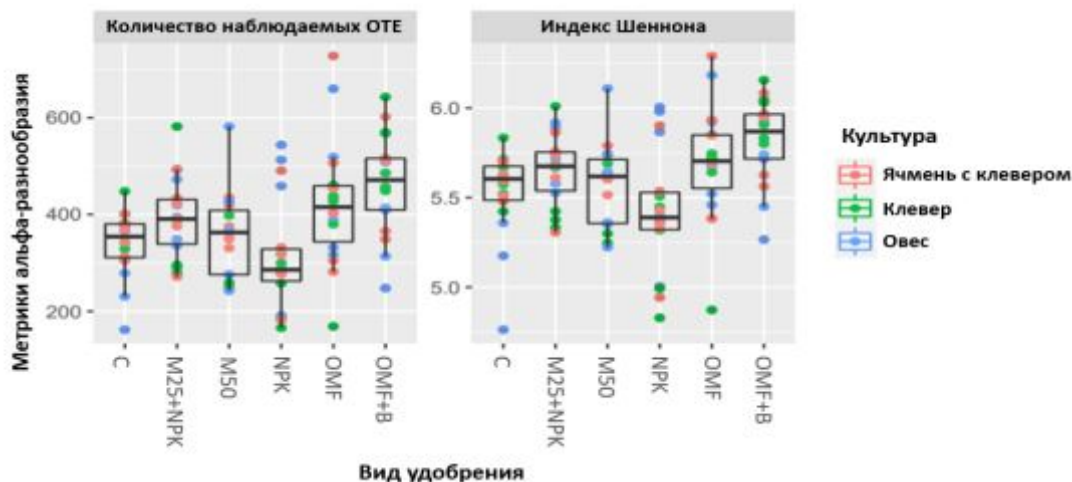


Рис. 1. Альфа-разнообразие почвенных сообществ при применении удобрений и известкования
Условные обозначения: С – контроль, М25 – навоз, 25 т/га, М50 – навоз, 50 т/га, NPK – азотно-фосфорно-калийное удобрение, OMF – органическое удобрение, OMF + В – органическое удобрение с добавлением Бисолбифита

Только на последней культуре севооборота – овсе, наблюдается сглаживание различий между вариантами. В то же время, совместное внесение NPK с навозом, особенно применение ОМУ, способствует повышению уровня видового богатства и разнообразия. Таким образом, можно предположить, что при использовании удобрений марки ОМУ создаётся высокая функциональная устойчивость микробиома почвы, позволяю-

щая ему быстро восстанавливаться во время негативных воздействий [18, 21]. Это подтвердилось попарным сравнением почвенных микробных сообществ по критерию Стюдента для индексов ОТЕ и Шеннона.

При оценке бета-разнообразия наиболее чёткая кластеризация выявлена между контрольным вариантом (без удобрений) и вариантом с внесением навоза (рис. 2).

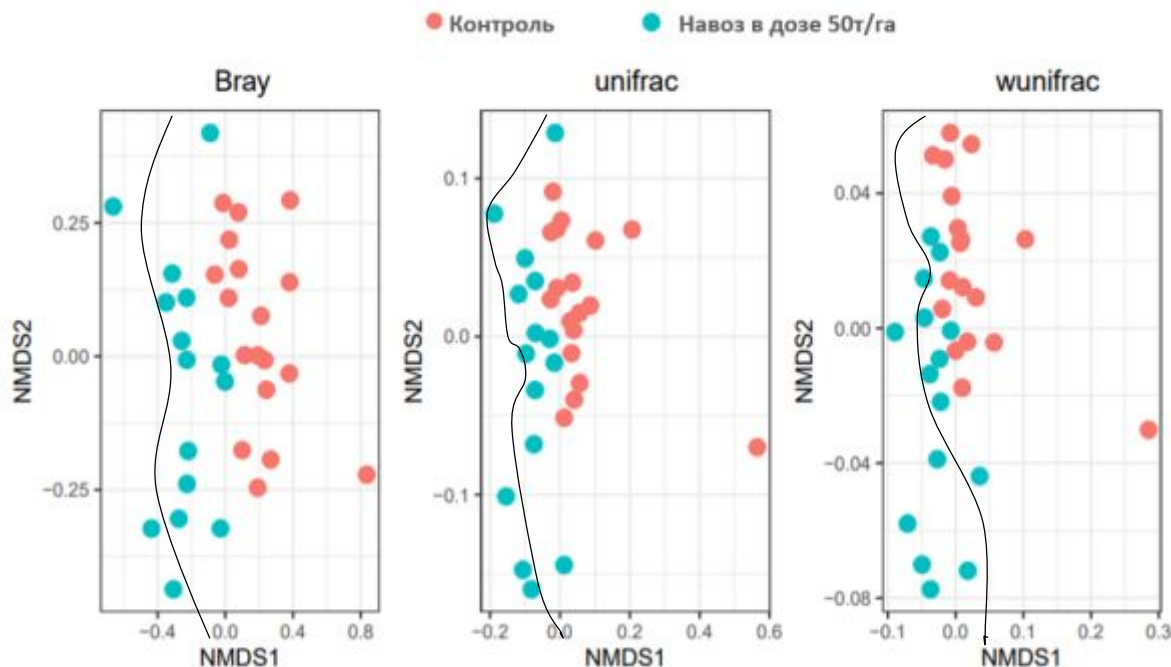


Рис. 2. Бета-разнообразие микробных сообществ на контроле – без удобрений (светло-серые точки) и в варианте с навозом в дозе 50 т/га (серые точки), с использованием трех различных метрик сходства: Bray – метрика Брея-Кертиса; unifracs – невзвешенный (качественный) UniFrac; wunifracs – взвешенный (количественный) UniFrac

Проведение Adonis-анализа показало достоверные различия ($p < 0,05$) влияния каждого изучаемого фактора (удобрений и CaCO_3) по отдельности и их взаимодействий на таксономический состав почвенной микро-

биоты. Недостоверный вклад в бета-разнообразие почвенных микробных сообществ по результатам анализа вносит фактор известкования ($R^2=0,011$).

Наиболее сильно влияет на структуру микробиома взаимодействие систем удобрения и культур севооборота. В то же время наибольшее влияние на формирование таксономического состава оказывают по большей части другие факторы ($R^2=0,578$). В данном случае, повсей видимости, речь идёт о «коровом сообществе», которое наиболее консервативно и наименее подвержено изменению. Эти выводы подтверждаются ранее проведёнными исследованиями, которые опубликованы в работе [8].

Заключение. В целом биомодифицированные органоминеральные удобрения оказывали такое же действие на свойства почвы, как и совместное внесение навоза КРС в дозе 25 т/га с минеральными удобрениями. Применение ОМУ позволяет сохранять содержание почвенного органического вещества на исходном уровне, который был до закладки опыта. Известкование значительно снижало кислотность почвы и повышало эффективность изучаемых систем удобрения. Отмечается закономерность снижения содержания подвижных форм калия при нейтрализации почвенной кислотности, что во многом связано с антагонизмом между калием и кальцием в почвенном поглощающем комплексе дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы. Применение только минеральных удобрений приводит к снижению таксономического разнообразия почвенного микробного сообщества, в то время как применение навоза, а также совместное внесение навоза с минеральными удобрениями, способствует повышению уровня видового богатства и разнообразия почвенного микробиома. Установлено, что при внесении удобрений, с учётом видовых особенностей культур, формируются специфические микробные сообщества, среди которых можно выделить маркерные таксоны, по которым в дальнейшем определять направленность почвенных процессов и принимать своевременные меры по недопущению деградации почв.

Литература

1. Веденеева Н.В., Налиухин А.Н. Состояние плодородия пахотных почв и планирование урожайности льна-долгунца в Вологодской области // *Агрохимический вестник*. – 2012. – № 3. – С. 2-4.
2. Кирпичников Н.А. Последствие фосфорных удобрений на фосфатное состояние дерново-подзолистой почвы и урожайности озимой пшеницы при известковании // *Плодородие*. – 2021. – № 3. – С. 49-51.
3. Кирюшин Б.Д., Усманов Р.Р., Васильев И.П. Основы научных исследований в агрономии. – М.: КолосС, 2009. – 398 с.
4. Мерзлая Г.Е. Биологические факторы в системах удобрения // *Агрохимия*. – 2017. – № 10. – С. 24–36.

5. Налиухин А.Н., Белозеров Д.А., Ерегин А.В. Изменение агрохимических показателей дерново-среднеподзолистой легкосуглинистой почвы и продуктивности культур севооборота при применении различных систем удобрения // *Земледелие*. – 2018. – № 8. – С. 3-7.
6. Налиухин А.Н., Власова О.А., Силуянова О.В. Эффективность биологической модификации гранул органоминеральных удобрений при возделывании сельскохозяйственных культур // *Роль молодых учёных в решении актуальных задач АПК: сборник науч. трудов межд. научно-практ. конф. СПбГАУ*. – СПб., 2016. – С. 67-70.
7. Налиухин А.Н., Мерзлая Г.Е., Максимова А.С., Силуянова О.В., Белозёров Д.А., Ерегин А.В. Эффективность органических и минеральных удобрений при известковании дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы // *Плодородие*. – 2018. – № 2 (101). – С. 42-45.
8. Налиухин А.Н., Хамитова С.М., Глинушкин А.П. и др. Изменение метаболома прокарпийного сообщества как показатель плодородия пахотных дерново-подзолистых почв при применении удобрений // *Почвоведение*. – 2018. – № 3. – С. 331–337.
9. Никитина Л. В. Исследования калийного режима разных типов почв в длительных опытах Геосети // *Агрохимия*. – 2018. – № 1. – С. 39–51.
10. Сычев В.Г., Налиухин А.Н., Шевцова Л.К. и др. Влияние систем удобрения на содержание почвенного органического углерода и урожайность сельскохозяйственных культур: результаты длительных полевых опытов Географической сети опытов России // *Почвоведение*. – 2020. – № 12. – С. 1521-1536.
11. Сычев В.Г., Шевцова Л.К., Мерзлая Г.Е. Исследование динамики и баланса гумуса при длительном применении систем удобрения на основных типах почв // *Агрохимия*. – 2018. – № 2. – С. 3–21.
12. Edmeades D. C. The long-term effects of manures and fertilisers on soil productivity and quality: a review // *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 2003. 66, 165–180.
13. Galantini J., Rosell R. Long-term fertilization effects on soil organic matter quality and dynamics under different production systems in semi-arid Pampean soils // *Soil Tillage Res.*, 2006. 87, 72–79.
14. Körschens M., Albert E., Armbruster M. et al. Effect of mineral and organic fertilization on crop yield, nitrogen uptake, carbon and nitrogen balances, as well as soil organic carbon content and dynamics: results from 20 European long-term field experiments of the twenty-first century // *Archives of Agronomy and Soil Science*, 2003. 59:8, 1017-1040.
15. Lützow M.V., Kögel-Knabner I., Ekschmitt K. et al. Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions a review // *Eur. J. Soil Sci.*, 2006. 57, 426–445.
16. Magarran, E. Ecological diversity and its measurement. Mir, Moscow, 1992. 184.
17. McMurdie P.J., Holmes S. Phyloseq: An R Package for Reproducible Interactive Analysis and Graphics of Microbiome Census Data. *PLoS One* 8, e61217, 2013.
18. Nannipieri P., Ascher J., Ceccherini et al. Microbial diversity and soil functions // *Eur. J. Soil Sci.*, 2003. 54, 655–670.
19. Rasmussen P.E., Goulding K.W.T., Brown J.R. et al. Long-Term agroecosystem experiments: assessing agricultural sustainability and global change // *Science*, 1998. 282, 893–896.
20. Six J., Conant R.T., Paul E.A. et al. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils // *Plant and Soil*, 2002. 241, 155–176.
21. Yin B., Crowley D., Sparovek G. et al. Bacterial functional redundancy along a soil reclamation gradient // *Appl. Environ. Microbiol.*, 2000. 66, 4361–4365.

CHANGES IN THE AGROCHEMICAL PROPERTIES AND MICROBIOCENOSIS OF SOD-PODZOLIC SOILS UPON FERTILIZERS AND LIME APPLICATION

A.N. Naliukhin, Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry
Pryanishnikov ul. 31a, 127434 Moscow, Russia
E-mail: naliukhin@yandex.ru

Under the conditions of a stationary field experiment, the effect of organo-mineral fertilizer (OMF) modified by the bacteria *Bacillus subtilis* Ch-13 in comparison with various fertilization systems (organic, mineral, organo-mineral) on crop yields, physico-chemical properties, alpha and beta diversity microbial community of sod-podzolic light loamy soil was studied. Present research were carried out against the background of liming (pH – 5.9) and without it (pH – 5.1). In terms of its effect on yield, the use of cattle manure was less effective than its combined application with mineral fertilizers in half doses. A similar effect was obtained with the introduction of OMF. In addition, the use of OMF contributes to a significant increase in soil organic carbon stocks by 18%–32%. Unilateral application of mineral fertilizers leads to a significant decrease in the alpha diversity of the structure of soil microbial communities. A clear clustering of microbiota was found in variants with and without manure. It was revealed that the taxonomic structure of the microbial community is formed under the influence of two main factors: crop rotation and the applied fertilizers. Thus, monitoring changes in the agrochemical properties of soils and the structure of microbial communities will make it possible to carry out a comprehensive assessment of the agroecological state of soils and make timely decisions to prevent their degradation.

Key words: fertilization system, agrochemical indicators, productivity, soil microbocenosis, metagenomic studies.