

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ В ДЛИТЕЛЬНОМ ОПЫТЕ С РАЗЛИЧНЫМИ АГРОТЕХНИЧЕСКИМИ ПРИЕМАМИ*

Н.П. Ковалевская,¹ кандидат биологических наук,
Н.Е. Завьялова,² доктор биологических наук, **Д.Ю. Шаравин,¹** кандидат биологических наук,
Д.С. Фомин,² кандидат сельскохозяйственных наук

¹Институт экологии и генетики микроорганизмов
 Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН, 614081, Пермь, ул. Голева, 13
 E-mail: nina_kov@mail.ru

²Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства
 Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН,
 614532, Пермский край, с. Лобаново, ул. Культуры, 12
 E-mail: nezavyalova@gmail.com

В длительном стационарном опыте изучено влияние севооборотов с разной насыщенностью бобовыми культурами, бессменных посевов озимой ржи и ячменя, бессменного чистого пара на эколого-физиологическое состояние микробного сообщества дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы. Определены показатели биологической активности почвы (потенциальная интенсивность эмиссии CO₂, удельная скорость дыхания микробной биомассы, метаболический коэффициент, азотфиксация). Показано, что лучшее гумусовое состояние почвы и существенное увеличение содержания в ней общего азота обеспечивают органическое удобрение (навоз) в севообороте с 28,6% бобовых культур. Установлено, что доля микробной биомассы C_{микр} в составе органического вещества дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы составляет 1,50-3,24%. Внесение минерального удобрения приводит к незначительному снижению содержания углерода микробной биомассы и увеличению лабильного органического углерода. Уменьшение метаболической активности микробных сообществ отмечено во всех вариантах длительного опыта независимо от агротехнического приема. Многолетнее интенсивное возделывание сельскохозяйственных культур бессменно или в севообороте нарушает устойчивость почвенного микробиоценоза в условиях Предуралья.

BIOLOGICAL ACTIVITY OF SOD-PODZOLIC SOILS IN THE LONG TERM EXPERIMENT WITH DIFFERENT AGROTECHNICAL METHODS

Kovalevskaya N.P.,¹ Zavyalova N.E.,² Sharavin D.Yu.,¹ Fomin D.S.²

¹Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms, Ural Branch, 614081, Perm, ul. Goleva, 13
 E-mail: nina_kov@mail.ru

²Perm Agricultural Institute, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, 614532, Perm Krai, Lobanovo, ul. Kultury, 12
 E-mail: nezavyalova@gmail.com

The effect of long-term application of grain-fallow-plow crop rotation with various legume densities, permanent cultivation of winter rye and barley, continuous bare fallow on the ecological and physiological state of the microbial community of sod-podzolic heavy loam soil was investigated. Biological activity indexes of soil microbiocenoses such as potential intensity of CO₂ emission, microbial biomass gross respiration rate, metabolic coefficient, nitrogen fixation were assessed. It has been shown that the best humus state of soil and significant increase in the total nitrogen content provides the introduction of organic fertilizer (manure) in the "Crop rotation of 28,6% of legumes". The ratio of the microbial biomass in sod-podzolic heavy loam soil organic matter varies from 1,50 to 3,24%. Application of mineral fertilizers leads to insignificant decrease in the carbon content of microbial biomass and raising of labile organic carbon. The decrease of metabolic activity in microbial communities has been determined in all variants of long-term study regardless of agrotechnical techniques. It has been established that permanent intensive cultivation of crops either with or without crop rotation leads to stability interference of the Cis-Urals soil microbiocenosis.

Ключевые слова: дерново-подзолистая почва, удобрения, микробиоценоз почвы, углерод микробной биомассы, коэффициент микробного дыхания, азотфиксация

Key words: sod-podzolic soil, organo-mineral fertilizers, soil microbiocenosis, microbial biomass carbon, microbial respiration coefficient, nitrogen fixation

Важное направление в решении проблемы сохранения и воспроизводства плодородия почвы, улучшения экологической обстановки и формирования высокой продуктивности сельскохозяйственных культур – оптимизация применения агрохимических средств [1]. Систематическое внесение органических и минеральных удобрений, выращивание многолетних бобовых трав способствуют повышению исходного уровня окультуренности дерново-подзолистой почвы, что обеспечивает устойчивую урожайность полевых культур

при снижении степени деградации почвы до экологических нормативов [2]. Большой интерес представляют результаты многолетних исследований по трансформации и деградации гумуса в дерново-подзолистой почве в длительных стационарных опытах [3–5]. В них учтены многолетнее внесение по ротациям севооборота различных питательных элементов с удобрениями и вынос их с урожаем [6].

Распашка и сельскохозяйственное использование почвы сопровождаются изменением интенсивности и

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №17-45-590166 p_a).

Табл. 1. Агрохимические показатели дерново-подзолистой почвы при различном землепользовании

Фактор А – землепользования	pH _{KCl}	Гумус, %	Сгк:Сфк	Азот общ, %	N _{л^т} мг/кг	N _{л^т} мг/кг	N _{мин^т} мг/кг
Без минеральных удобрений							
Севооборот (28,6% бобовых) + навоз	5,46	2,53	0,76	1729	564	217	8,9
Севооборот (0% бобовых)	5,19	1,89	0,72	1295	423	205	6,7
Севооборот (42,9% бобовых)	4,90	1,90	0,78	1428	507	247	8,7
Ячмень	5,14	1,88	0,72	1442	423	217	7,9
Озимая рожь	5,10	1,81	0,70	1441	448	227	7,1
Залежь	4,84	2,35	0,96	1554	553	300	5,2
Чистый пар	4,99	1,34	0,55	980	396	175	7,0
NPK							
Севооборот (28,6% бобовых) + навоз	5,33	2,51	0,78	2058	591	284	10,8
Севооборот (0% бобовых)	5,05	1,93	0,72	1281	419	222	7,0
Севооборот (42,9% бобовых)	5,04	1,92	0,79	1449	560	258	9,2
Ячмень	5,01	1,77	0,76	1624	557	279	7,3
Озимая рожь	5,12	1,83	0,76	1449	568	230	6,8
Главных факторов А эффектов	фактора А	0,06	0,12	296	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт
	фактора В и взаимодействия АВ	0,05	Fф<Fт	Fф<Fт	47,93	Fф<Fт	Fф<Fт
Частных различий	I порядка	0,08	0,18	419	160,18	67,36	1,6
	II порядка	0,14	0,13	149	107,18	43,78	2,7

направленности микробиологических процессов, резко меняется состав микробного сообщества, усиливаются минерализационные процессы, уменьшается содержание органического вещества и общего азота в почве. Для воспроизводства почвенного плодородия все большее значение приобретают севообороты с бездефицитным балансом азота, возможностью продуцирования биологических азотсодержащих соединений и повышенным углеродным питанием почвы [7]. Увеличение продуктивности пашни и сохранение плодородия пахотных земель осуществляются за счет активизации биологических ресурсов. Возврат питательных веществ в почву происходит в процессе ежегодного поступления свежего органического вещества, активизации почвенной микрофлоры [8]. Обогащение почвы симбиотическим азотом в зависимости от вида многолетних бобовых трав, уровня ее удобрения и погодных условий составляет 175-258 кг/га и более [9]. Основным показателем почвенного плодородия служит микробиологическая активность почвы. Запас гумуса – стабильный признак, обусловленный сочетанием целого комплекса почвенных свойств и генетическими особенностями почвы. Значения потенциальной интенсивности выделения диоксида углерода и запаса микробной биомассы характеризуют физиологическую активность почвенной гетеротрофной микробиоты и являются ее количественными показателями [10].

Вовлечение почв в систему землепользования приводит к усилению процессов минерализации органического вещества, уменьшению количества гумуса, увеличению содержания углекислоты в атмосфере [11]. По динамике и скорости продуцирования углекислоты можно не только судить о напряженности биологических процессов, но и оценить потери органического вещества вследствие развития процессов минерализации [12]. Сравнительные данные, полученные в условиях агроценозов и ненарушенных земель, дают возможность выявить характер изменений, вызываемых антропогенными воздействиями.

Цель настоящей работы – изучение изменений био-

логической активности микробоценозов дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы в многолетнем залежном и пахотном состоянии.

Методика. Полевые исследования проводили на базе длительного стационара, заложенного в 1977 г. Почва опытного участка – дерново-мелкоподзолистая тяжелосуглинистая. Ее агрохимическая характеристика при закладке опыта: содержание гумуса – 1,9%, подвижного P₂O₅ и обменного K₂O (по Кирсанову) – соответственно 174 и 158 мг/кг, pH_{KCl} 4,8, Нг – 4,5 и S – 21,2 ммоль/100 г.

Варианты опыта: 1 – чистый пар бессменно; 2 – ячмень бессменно; 3 – озимая рожь бессменно; 4 – севооборот (0% бобовых): ячмень – озимая рожь – яровая пшеница – ячмень – овес; 5 – севооборот (28,6% бобовых) + навоз: унавоженный чистый пар – озимая рожь – пшеница яровая + клевер – клевер 1 г.п. – клевер 2 г.п. – ячмень – овес; 6 – севооборот (42,9% бобовых): сидеральный пар (клевер 1 г.п.) – озимая рожь – пшеница яровая + клевер – клевер 1 г.п. – клевер 2 г.п. – ячмень – овес + клевер; 7 – залежь.

Минеральные удобрения N₆₀P₃₀K₆₀ вносили перед посевом под культивацию в форме аммиачной селитры, простого суперфосфата и хлористого калия. Органические удобрения (подстилочный навоз) применяли в типичном севообороте (28,6% бобовых + навоз) в паровом поле фоном 42 т/га из расчета 6 т/га пашни севооборота. Повторность опыта – 3-кратная, размещение вариантов последовательное, методом расщепленных делянок. Фракционно-групповой состав гумуса определяли по методу Пономаревой-Плотниковой [13], фракции азота – по методу Королевой, Шконде [14].

Величину базального дыхания (БД) и субстрат-индуцированного дыхания (СИД) определяли согласно методике Ананьевой [15]. Показатели почвенного дыхания выражали в мкг СО₂/г почвы ч. Содержание углерода микробной биомассы (С_{мик}) рассчитывали как V_{СИД} мкл СО₂/г почвы ч / 40,04+0,37, относительный коэффициент микробного дыхания (QR) – как отношение абсолютной величины БД к СИД (V_{БД}/V_{СИД}). Для

Табл. 2. Биологические показатели состояния микробного сообщества пахотного слоя дерново-подзолистой почвы

Вариант	$C_{орг}, \%$	БД, мкг $CO_2-C/г ч$	СИД, мкг $CO_2-C/г ч$	QR	Азотфиксация, мкг $C_2H_4/кг ч$
Без минеральных удобрений					
Озимая рожь	1,05	1,94±0,23	3,93±0,41	0,494	33,08±2,25
Ячмень	1,09	2,07±0,19	5,50±0,28	0,376	15,54±1,74
Севооборот (0% бобовых)	1,10	2,12±0,17	4,71±0,48	0,450	18,70±4,35
Севооборот (28,6% бобовых) + навоз	1,47	2,84±0,26	7,89±0,38	0,360	44,10±7,20
Севооборот (42,9% бобовых)	1,10	2,66±0,32	6,41±0,78	0,415	35,64±5,56
Чистый пар	0,78	1,66±0,30	4,87±0,51	0,341	11,53±2,38
Залежь	1,36	4,73±0,89	10,98±0,90	0,431	16,04±4,59
НРК					
Озимая рожь	1,06	2,11±0,44	5,31±0,39	0,397	7,52±1,50
Ячмень	1,03	2,55±0,21	5,66±0,62	0,451	44,15±6,52
Севооборот (0% бобовых)	1,11	2,12±0,29	5,20±0,56	0,408	16,04±2,30
Севооборот (28,6% бобовых) + навоз	1,46	2,70±0,39	8,30±0,36	0,325	34,33±5,67
Севооборот (42,9% бобовых)	1,11	2,51±0,40	5,12±0,39	0,490	3,51±2,30

определения активности азотфиксации применяли ацетиленовый метод. Потенциальную активность азотфиксации выражали в мкг этилена/кг почвы ч [16]. Повторность измерений – 3-кратная. Статистическая обработка данных проведена в программе Excel 2007.

Результаты и обсуждение. В типичном для Предуралья 7-польном севообороте с двумя полями клевера и насыщенностью навозом 6 т/га за счет совокупного взаимодействия биоресурсов возделываемых бобовых и зерновых культур содержание гумуса увеличилось на 33% от исходного уровня. Бесменное парование почвы в течение 40 лет привело к обеднению почвы гумусом и азотом: потеря гумуса составила 30% от его содержания в почве при закладке опыта. Глубина гумификации органического вещества (Сгк:Сфк) изменялась от 0,55 в бесменном пару до 0,96 в залежи. Анализ данных по содержанию гумуса в образцах почвы разных вариантов (табл. 1) показал, что он достоверно уменьшался в ряду: севооборот (28,6% бобовых) + навоз > залежь > севооборот (0% бобовых) = севооборот (42,9% бобовых) > ячмень > озимая рожь > чистый пар.

Азотный фонд дерново-подзолистой почвы длительного стационарного опыта представлен на 43-57% негидролизруемыми и на 28-40% трудногидролизруемыми формами азота. Длительное применение полного минерального удобрения (НРК) привело к увеличению количества гидролизующих форм азота, а также абсолютного содержания легкогидролизующей фракции. В севообороте с двумя полями клевера, внесением навоза и минеральных удобрений отмечено максимальное накопление доступных для растений фракций азота. Бесменное парование и возделывание культур в зерновом севообороте истощало почву. Различные приемы земледелия не изменили соотношения фракций в составе азота, характерное для дерново-подзолистых почв Предуралья [17].

Дыхательная активность или базальное дыхание (БД) дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы (слой 0-20 см) в зависимости от вида земледельческого

управления снижалась в ряду: залежь > севооборот (28,6% бобовых) + навоз > севооборот (42,9% бобовых) > севооборот (0% бобовых) > ячмень > озимая рожь > чистый пар (табл. 2). Эмиссия CO_2 из залежной почвы была выше в 2,85 раза, чем на участке бесменного чистого пара. Дополнительное внесение минерального удобрения $N_{60}P_{30}K_{60}$ снижало уровень углекислого газа в севообороте с различным содержанием бобовых культур на 4-5% и повышало БД в вариантах с бесменным возделыванием озимой ржи и ячменя соответственно на 32 и 2%. Кроме участка залежи самые высокие показатели СИД выявлены в севообороте с 28,6% бобовых + навоз без НРК – 7,89 мкг $CO_2-C/г ч$ и при внесении минерального удобрения – 8,30 мкг $CO_2-C/г ч$. Азотфиксирующая активность почвенной микрофлоры в севообороте (28,6% бобовых) + навоз была выше на 20%, чем в севообороте (42,9% бобовых) (табл. 2). При внесении $N_{60}P_{30}K_{60}$ происходило подавление функциональной активности азотфиксирующих бактерий на 22% в севообороте с 28,6% бобовых + навоз + НРК и на 90% в севообороте с 42,9% бобовых + НРК.

Содержание углерода микробной биомассы $C_{микро}$ – чувствительный индикатор качества органического вещества почвы и динамики его изменений. Показатели $C_{микро}$ в почве без НРК варьировали от 157,78 мкг/г в варианте с бесменным возделыванием озимой ржи до 439,98 мкг/г на залежи (табл. 3). Доля $C_{микро}$ в составе органического вещества дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы составляла 1,50-3,24%. Во всех исследуемых почвах при разном типе землепользования соотношение $C_{микро}/C_{орг}$ было ниже 2,3%, что свидетельствует о потере органического углерода. Высокие значения метаболического коэффициента qCO_2 связаны с большой скоростью отмирания микробной биомассы почв, что в свою очередь связано с ухудшением функционирования их микробного сообщества. В вариантах бесменная озимая рожь и севооборот (42,9% бобовых)+НРК получены наибольшие значения qCO_2 при внесении удобрений (табл. 3).

Табл. 3. Удельное микробное дыхание (qCO_2) и доля микробного углерода ($C_{\text{микр}}$) в содержании общего ($C_{\text{орг}}$) и лабильного ($C_{\text{лаб}}$) органического углерода (извлекаемого раствором пирофосфата натрия) дерново-подзолистой почвы при различном землепользовании

Вариант	$C_{\text{микр}}$, мкг/г	qCO_2 , мкг CO_2 - С /мг Смик /ч	Смикр/ Сорг., %	$C_{\text{лаб}} / C_{\text{лаб}} Na_2P_2O_7$, %
Без минеральных удобрений				
Озимая рожь	157,78	2,30	1,50	8,30
Ячмень	220,43	1,76	2,02	10,50
Севооборот (0% бобовых)	188,72	2,11	1,72	8,58
Севооборот (28,6% бобовых) + навоз	316,14	1,68	2,15	12,65
Севооборот (42,9% бобовых)	257,10	1,93	2,34	11,69
Чистый пар	195,53	1,59	2,51	11,50
Залежь	439,98	2,01	3,24	14,67
НРК				
Озимая рожь	212,79	2,25	2,00	10,64
Ячмень	226,00	1,74	2,20	9,46
Севооборот (0% бобовых)	209,34	1,90	1,89	7,48
Севооборот (28,6% бобовых) + навоз	332,59	1,52	2,28	13,86
Севооборот (42,9% бобовых)	205,15	2,30	1,85	9,77

Количественная оценка нарушений микробного сообщества на основе коэффициента микробного дыхания QR также показала нарушение устойчивости микробного сообщества во всех вариантах. Полученные значения QR варьировали от 0,325 до 0,494 и соответствовали средней степени устойчивости микробиоценозов (табл. 2).

Таким образом, многолетнее интенсивное возделывание сельскохозяйственных культур бесценно или в севообороте негативно влияло на устойчивость микробного сообщества дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почв. Активность почвенных микробиоценозов в большей степени зависела от общего пула органического углерода. Перевод пахотной почвы в залежную способствовал накоплению органического вещества в верхнем слое, что вызывало усиление дыхательной активности почв и увеличение в них пула микробного углерода. Снижение метаболической активности микробных сообществ отмечено во всех вариантах длительного опыта независимо от агротехнического приема. Дополнительное внесение минеральных удобрений $N_{60}P_{30}K_{60}$ в севообороты с бобовыми культурами приводило к подавлению азотфиксирующей активности микробиоценозов.

Литература.

1. Овчинникова М.Ф., Гомонова Н.Ф., Минеев Г.В. Содержание, состав, подвижность гумусовых веществ дерново-подзолистой почвы и уровень ее биопродуктивности при длительном применении агрохимических средств // Доклады Россельхозакадемии. – 2003. – №5. – С.22-25.

2. Дроздов И.А., Тюлин В.А., Сулягин В.П. Минеральные и органические удобрения адаптивных севооборотов Верхневолжья // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 12. – С.45-49.

3. Овчинникова М.Ф., Гомонова Н.Ф., Минеев В.Г. Специфичность состава и свойств гумусовых веществ в дерново-подзолистых почвах разной степени окультуренности // Доклады Россельхозакадемии. – 2006. – №8. – С.27-31.

4. Гомонова Н.Ф., Минеев В.Г. Динамика гумусового состояния и азотного режима дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы при длительном применении удобрений // Агрохимия. – 2012. – №6. – С.23-31.

5. Русакова И.В. Влияние соломы зерновых и зернобобовых культур на содержание углерода, агрохимические свойства и баланс элементов питания в дерново-подзолистой почве // Агрохимический вестник. – 2015. – №6. – С.6-10.

6. Золкина Е.И. Влияние длительного применения систем удобрения на баланс элементов питания в зернопропашном севообороте // Агрохимический вестник. – 2017. – №6. – С.67-70.

7. Никитишин В.И., Личко В.И. Баланс азота в агроэкосистемах на серых лесных почвах при длительном внесении удобрений // Почвоведение. – 2008. – № 4. – С.481-493.

8. Дубенок Н.Н., Бородычев В.В., Лытов М.Н., Пахомов Д.А. Формирование бездефицитного баланса азота в почве при возделывании бобовых культур // Агрохимический вестник. – 2007. – № 5. – С.9-11.

9. Постников П.А. Продуктивность севооборотов при использовании приемов биологизации // Аграрный вестник Урала. – 2015. – № 6 (136). – С.20-23.

10. Горобцова О.Н., Улигова Т.С., Темботов Р.Х., Хакунова Е.М. Оценка уровня биологической активности агрогенных и естественных черноземов Кабардино-Балкарии // Почвоведение. – 2017. – №5. – С.614-623.

11. Заварзин Г.А., Кудеяров В.Н. Почва как главный источник углекислоты и резервуар органического углерода на территории России // Вестник РАН. – 2006. – Т. 76. – № 1. – С.14-29.

12. Кудеяров В.Н., Курганова И.Н. Дыхание почв России. Анализ базы данных многолетнего мониторинга. Общая оценка // Почвоведение. – 2005. – № 9. – С.1112-1121.

13. Агрохимические методы исследования почв. – М.: Наука, 1975. – 656 с.

14. Шконде Э.И., Королева И.Е. О природе и подвижности почвенного азота // Агрохимия. – 1964. – № 10. – С.17-35.

15. Ананьева Н.Д., Сусьян Е.А., Гавриленко Е.Г. Особенности определения углерода микробной биомассы почвы методом субстрат-индуцированного дыхания // Почвоведение. – 2011. – № 11. – С.1327-1333.

16. Эмер Н.Р., Семёнов А.М., Зелёнов В.В., Зинякова Н.Б., Костина Н.В., Голиченков М.В. Ежегодная динамика численности и активности азотфиксирующих бактерий на участках залежной и интенсивно возделываемой почвы // Почвоведение. – 2014. – № 8. – С.963-970.

17. Завьялова Н.Е., Косолапова А.И., Сторожева А.Н. Влияние возрастающих доз полного минерального удобрения на органическое вещество и азотный режим дерново-подзолистой почвы Предуралья // Агрохимия. – 2014. – №6. – С.20-28.

Поступила в редакцию 18.06.18
 После доработки 05.11.18
 Принята к публикации 10.12.18