

**ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ НА  
ПЛОДОРОДИЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ И  
ПРОДУКТИВНОСТЬ КУЛЬТУР****Е.И. Золкина, ВНИИОУ – филиал ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ»****601390, Россия, п. Вяткино Судогодского района, Владимирской области, ул. Прянишникова, 2****e-mail : [ek.Zolkina2017@yandex.ru](mailto:ek.Zolkina2017@yandex.ru). Тел. 8 930 747 43 68**

*Важнейший прием повышения продуктивности сельскохозяйственных культур – применение различных систем удобрения. Установлено, что эффективность минеральной системы удобрения при использовании двойной дозы ( $N_{100}P_{50}K_{120}$ ) была более высокой, она обеспечила среднюю продуктивность зернопропашного севооборота в 11-й ротации 32,7 ц/га. Определение биологической активности почвы в условиях Нечерноземной зоны за 11-ю ротацию при длительном использовании удобрений показало, что разложение целлюлозы характеризуется как средней интенсивности и способствует благоприятным условиям сохранения плодородия почвы и произрастания полевых культур. Следует отметить, что применение органических удобрений в большей степени стимулирует развитие микроорганизмов, использующих органические формы азота. При органической и органоминеральной системах удобрения коэффициент минерализации КАА/МПА составил 1,1-1,2, что свидетельствует о сбалансированности процессов минерализации и гумификации органического вещества в почве.*

*Ключевые слова: дерново-подзолистая почва, биологическая активность почвы, численность микроорганизмов, система удобрения, продуктивность, погодные условия.*

DOI: 10.25680/S19948603.2019.110.06

Образование органического вещества (гумус) напрямую зависит от разложения органических остатков в почве, а процессы разложения – от активности почвенной микрофлоры. Общее биологическое состояние почвенной среды характеризует ее биологическая активность, которую определяют с помощью разных показателей, но чаще всего используют целлюлозоразрушающую способность почвы. Скорость разложения целлюлозы влияет на скорость разложения органики в целом [1-3]. Но поскольку степень активности этих микроорганизмов зависит от наличия в почве доступного азота, фосфора, калия и других элементов, то степень распада целлюлозы, можно считать, отражает «напряженность хода микробиологических процессов вообще» [4, 5]. Множество работ и исследований подтверждают большую роль органического вещества в усилении биологической активности почв, в том числе навоза, соломы, сидератов, растительных остатков [6-8].

Цель исследований – изучить биологические показатели в пахотном (0-20 см) слое дерново-подзолистой супесчаной почвы при длительном применении различных систем удобрения под разными культурами зернопропашного севооборота.

**Методика.** Исследования по влиянию различных систем удобрения на продуктивность севооборота и плодородие дерново-подзолистой супесчаной почвы проводили в длительном стационарном опыте ВНИИОУ [9].

Опыт заложен в 1968-1969 гг. в 4-польном севообороте с чередованием культур: 1 – однолетний люпин; 2 – озимая пшеница; 3 – картофель; 4 – ячмень. Изучали эффективность трех систем удобрения: органическую, минеральную и органоминеральную при двух уровнях удобренности. Схема опыта включает 16 вариантов: 1. Без удобрений; 2.  $P_{50}K_{60}$ ; 3.  $N_{50}P_{50}$ ; 4.  $N_{50}K_{60}$ ; 5.  $N_{50}P_{50}K_{60}$ ; 6. Навоз, 10 т/га; 7. Навоз, 20 т/га; 8.  $N_{50}P_{25}K_{60}$ ; 9.  $N_{50}P_{50}K_{90}$ ; 10. Навоз, 5 т/га +  $N_{25}P_{12}K_{30}$ ; 11.

Навоз, 10 т/га +  $N_{50}$ ; 12. Навоз, 10 т/га +  $N_{90}P_{25}$ ; 13. Навоз, 10 т/га +  $N_{50}P_{25}K_{60}$ ; 14.  $N_{100}P_{50}K_{120}$ ; 15.  $N_{50}P_{25}K_{60}$ ; 16. Навоз, 10 т/га +  $N_{100}P_{50}K_{120}$ . В 1984–1989 гг. исследовали последствие удобрений. Начиная с 1990 г., в схему опыта внесены изменения: в варианте 11 начали вносить навоз, 10 т/га +  $N_{50}P_{25}K_{60}$  + солома, в варианте 12 – навоз, 10 т/га +  $N_{50}P_{25}K_{60}$  + солома + сидерат, в варианте 15 –  $N_{50}P_{25}K_{60}$  + солома, остальные варианты без изменений. В работе использовали данные, полученные в вариантах: 1. Без удобрений; 2. Навоз, 20 т/га; 3. Навоз, 10 т/га +  $N_{50}P_{25}K_{60}$ ; 4.  $N_{100}P_{50}K_{120}$ . Повторность опыта – четырехкратная, размер делянок 161 м<sup>2</sup> (7 м × 23 м). Опыт входит в Географическую сеть опытов с удобрениями России.

В статье представлены данные за 11-ю ротацию севооборота (2014-2017 гг.). Почва опытного участка – дерново-подзолистая супесчаная, низкой степени окультуренности. Перед закладкой опыта в пахотном (0-20 см) слое содержалось: гумус (по Тюрину) 1,05–1,17%, подвижный фосфор (по Кирсанову) – 14-25 мг/кг, обменный калий (по Масловой) – 63-104 мг/кг,  $pH_{\text{кол}}$  6,2-6,5, гидролитическая кислотность (по Каппену) – 1,0-2,2 мг-экв/100 г.

Биологическое состояние исследуемой дерново-подзолистой почвы оценивали по следующим показателям: численность основных физиологических групп микроорганизмов (ФГМ) – методом учета на плотных и жидких питательных средах [10]; биологическая активность (БА); соотношение численности амилотических и протеолитических микроорганизмов – КАА/МПА. В таблицах и на рисунках представлены средние значения определяемых показателей в образцах из пахотного слоя почвы (0-20 см), в двукратной повторности в два срока: весной до внесения удобрений и в середине вегетации. Математическую обработку экспериментальных данных и построение рисунков

проводили с использованием компьютерных программ Excel и Statistica 6.0.

В зависимости от систем удобрения в длительном стационарном опыте определяли биологическую активность почвы, которая характеризуется степенью и скоростью разложения льняного полотна, выдержанного в почве установленный период времени (определяется с учетом количества выпавших осадков в период применения аппликационного метода). Известно несколько способов закладки льняных полотен в почву.

Изучение БА оптимизированной дерново-подзолистой супесчаной почвы проводили методом аппликаций по методике И.С. Вострова и А.И. Петровой [11]. В почву на глубину 0-20 см в вертикальном положении закладывались стеклянные пластинки размером 5-15 см, обернутые льняной тканью, предварительно взвешенной. Пластинки закладывали после появления всходов на изучаемых культурах. Через определенное время (60 дней) пластинки осторожно выкапывали, с них осторожно смывали частички почвы, ткань просушивали и повторно взвешивали. По разности массы ткани до и после экспозиции определяли интенсивность жизнедеятельности целлюлозоразрушающих микроорганизмов, поскольку они способны фиксировать азот из атмосферы, используя в качестве единственного источника углерода питания целлюлозу. Эти микроорганизмы, осуществляя разложение целлюлозы растительных остатков, могут обогащать почву азотом.

**Результаты и их обсуждение.** С помощью проведенных исследований в длительном стационарном опыте установили сезонную динамику активности целлюлозоразрушающих микроорганизмов.

На БА почвы влияли не только удобрения и предшественники, но и метеорологические условия вегетационных периодов. Более сильно разложение льняного полотна проходило при оптимальных условиях жизнедеятельности целлюлозоразлагающих микроорганизмов. В сухие и жаркие, а также холодные годы их рабочая активность снижалась. Более интенсивное разложение целлюлозы отмечено при хорошо увлажненных условиях в почве и невысокой температуре воздуха (рис. 1).

Анализ полученных данных показал, что интенсивность разложения целлюлозы в пахотном (0-20 см) слое дерново-подзолистой почвы за 11-ю ротацию и по вариантам опыта была различной: от слабой (23%) до очень сильной (85%), согласно соответствующей шкалы [12].

В среднем за 4 года наблюдений наибольшая степень разложения льняной ткани в почве достигала 85% при использовании органической системы удобрения – повышенных доз навоза (20 т/га). Исключением был вариант с применением минеральной системы повышенных доз ( $N_{100}P_{50}K_{120}$ ), при которой степень разложения льняного полотна идентифицировалась как средняя. Более высокая БА органической системы удобрения, по сравнению с минеральной, при недостатке влаги обусловлена положительным влиянием органического вещества наводна-физические свойства почв, которые не играли существенной роли при оптимальной влагообеспеченности. Условия увлажнения особенно сильно отразились на эффективности азотных удобрений.

Интенсивность распада клетчатки в слое 0-20 см дерново-подзолистой почвы под разными культурами была неодинакова. В проведенных исследованиях, в зависимости от удобрений и предшественников, накапливалось 122,8 ц/га биомассы воздушно-сухого вещества корнепоживных остатков в варианте без удобрений. Применение органических и минеральных удобрений при значительном росте урожая культур способствует увеличению количества биомассы растительных остатков.

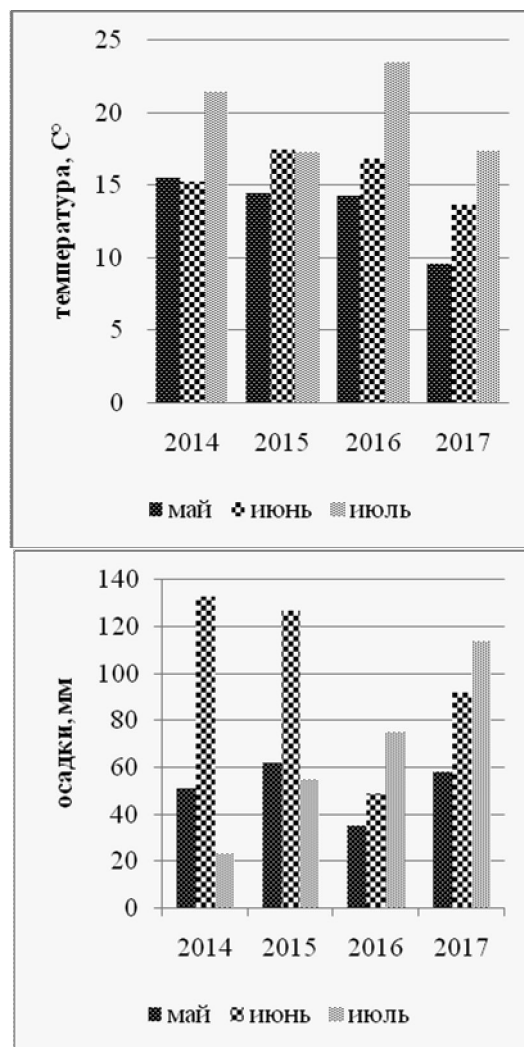


Рис. 1. Среднемесячная температура воздуха и количество осадков за исследуемый период

В биомассе корнепоживных остатков аккумулируется 179-276 кг/га азота, 70-101 фосфора, 148-269 кг/га калия за ротацию севооборота. Наибольшей интенсивностью разложения целлюлозы, как в сухой 2016 г. так и во влажный 2017 г., отличалось возделывание картофеля. Степень разложения льняной ткани под исследуемой культурой при применении органической системы повышенных доз была на 54% выше по отношению к люпину, на 68 – к озимой пшенице и на 48% к ячменю за ротацию севооборота. Этому способствовали ежегодная поверхностная обработка в верхнем слое почвы 10-12 см, а также внесение удобрений под предшественник озимая пшеница, что сформировало более высокий урожай и оставило больше корнепоживных остатков – до 36% (рис. 2).

Однако, после того же предшественника, но идущего после картофеля, БА под ячменем оказалась слабее на 30%. Наименьшая БА отмечена под посевами озимой пшеницы – 27%, несмотря на то, что предшественником являлся однолетний люпин, который по эффективности не уступает навозу. Тут могло сказаться влияние погодных условий за ротацию (2014-2017 гг.). Так, под однолетним люпином, который является высокоэффективным азотфиксатором, разложение льняной ткани – на органической системе (навоз, 20 т/га) составило 32%, а с применением органоминеральной системы – 36%.

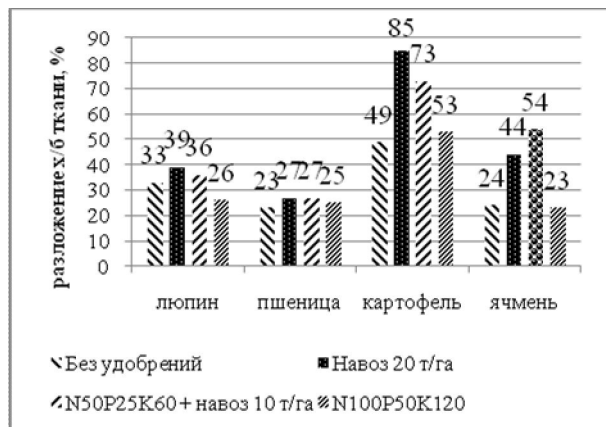


Рис. 2. Степень разложения льняного полотна под разными культурами в зависимости от систем удобрения (в среднем за 2014-2017 гг.)

Результаты исследований показали, что при использовании органической (навоз, 20 т/га) и органоминеральной (навоз, 10 т/га + N<sub>50</sub>P<sub>25</sub>K<sub>60</sub>) систем удобрения БА, т.е. разложение целлюлозы значительно интенсифицируется. Это можно объяснить тем, что с увеличением доз удобрений активность почвенных микроорганизмов существенно усиливается.

На основании экспериментальных данных, полученных в длительном стационарном опыте, за звено севооборота установлено, что возделывание культур в варианте без удобрений было малоэффективно – продуктивность в среднем за 11-ю ротацию исследований не превышала 18,9 ц/га. Длительное возделывание сельскохозяйственных культур без использования органических и минеральных удобрений постепенно приводило к снижению продуктивности посевов. Анализ многолетних данных показал, что при недостатке влаги действие органической системы удобрения на урожайность культур превышало минеральную. В условиях достаточной и повышенной влагообеспеченности эффективность органической системы оказалась ниже минеральной.

При использовании органоминеральной системы удобрения, средних доз (навоз, 10 т/га + N<sub>50</sub>P<sub>25</sub>K<sub>60</sub>) продуктивность севооборота была примерно равна таковой при органической системе и составила, соответственно, 28,1 и 30,8 ц/га. Следует отметить, что органическая система удобрения при внесении высоких доз (навоз, 20 т/га) уступала минеральной (N<sub>100</sub>P<sub>50</sub>K<sub>120</sub>) по продуктивности. При этом достаточно интенсивно шло разложение льняного полотна, которое превышало в 1,6 раза минеральную систему, что в свою очередь подтверждает доступность органического материала растений (табл. 1).

Длительное внесение удобрений существенно влияло на количественный и качественный состав микроорганизмов, соотношение отдельных групп их. Применение органической системы удобрения увеличивало численность микроорганизмов, использующих органические формы азота (МПА), почти в 2 раза, органоминеральной – в 1,9, минеральной – в 1,5 раза по сравнению с контролем (без удобрений). Численность микроорганизмов, использующих органические формы азота (МПА), по сравнению с вариантом без удобрений была обусловлена, очевидно, увеличением количества растительного опада и корневых выделений растений.

#### 1. Влияние длительного применения различных систем удобрения на продуктивность культур зернопропашного севооборота за 11-ю ротацию (2014-2017 гг.)

Вариант опыта	Среднегодовая продуктивность		
	урожайность, ц/га	прибавка	
Без удобрений	18,9	-	-
Навоз, 20 т/га	28,1	9,3	49
Навоз, 10 т/га + N <sub>50</sub> P <sub>25</sub> K <sub>60</sub>	30,8	11,9	63
N <sub>100</sub> P <sub>50</sub> K <sub>120</sub>	32,7	13,8	73

Численность микроорганизмов амилалитических (КАА) при применении органической и органоминеральной систем удобрения возрастала на 27-52%, в то время как при использовании минеральной системы удобрений она увеличивалась в 1,2 раза (табл. 2).

#### 2. Численность основных физиологических групп микроорганизмов в пахотном слое дерново-подзолистой супесчаной почвы за 11-ю ротацию севооборота

Вариант опыта	Протеолитические (среда МПА) микроорганизмы	Амилитические (среда КАА)	Целлюлолитические (среда Гетчинсона)	Микромицеты (среда Чапека)	Нитрификаторы	Денитрификаторы	КАА МПА
тыс. КОЕ/г почвы							
Без удобрений	8210	13693	30,4	39,8	6,8	750	1,7
Навоз, 20 т/га	15906	18080	59,4	78,6	16,4	2500	1,1
Навоз, 10 т/га + N <sub>50</sub> P <sub>25</sub> K <sub>60</sub>	16820	20736	55,4	60,7	15,0	2500	1,2
N <sub>100</sub> P <sub>50</sub> K <sub>120</sub>	12184	16854	64,8	91,1	15,8	950	1,4
НСР <sub>0,05</sub>	3150	3350	18,6	14,3	3,9	210	

Следует отметить, что коэффициент минерализации азота (КАА/МПА) при использовании органической системы удобрения различался. Анализ результатов исследований численности агрономически полезных групп микроорганизмов в почве показал, с одной стороны, что разложение органического вещества при использовании минеральных удобрений шло более интенсивно, а с другой стороны, – истощение легкодоступных источников органического азота в почве в варианте без удобрений.

Нитрификационная способность в слое почвы 0-20 см существенно увеличилась в вариантах повышенных доз органической системы (навоз, 20 т/га). При внесении минеральных удобрений в повышенных дозах (N<sub>100</sub>P<sub>50</sub>K<sub>120</sub>) наблюдалось увеличение нитрифицирующих микроорганизмов в 2,3 раза, совместно минераль-

ных и органических удобрений – в 2,2 раза, что выше чем на контроле.

Активность денитрификации достигает максимума при использовании минеральной системы удобрения в начале вегетационного периода, а органической и органоминеральной – в середине его, так как в почве накапливается наибольшее количество минерального азота.

В зависимости от возделываемых культур в длительном стационарном опыте и вида удобрений денитрификация при внесении удобрений была выше, чем без применения удобрений. Наименьшей численностью всех групп микроорганизмов характеризовались почвы севооборота без удобрений.

**Заключение.** На основании экспериментальных данных, полученных в результате длительного (50 лет) стационарного опыта, заложенного на дерново-подзолистой супесчаной почве, установлено, что применение средних доз удобрений (навоз, 10 т/га + N<sub>50</sub>P<sub>25</sub>K<sub>60</sub>) позволило получить почти такую же продуктивность, как при внесении высоких доз органического удобрения. При повышенных дозах удобрений (N<sub>100</sub>P<sub>50</sub>K<sub>120</sub>) наибольшее влияние на урожайность культур оказывала минеральная система удобрения. Использование различных систем удобрения в значительной степени оптимизировало биологическое состояние дерново-подзолистой супесчаной почвы и позволило увеличить устойчивость урожайности культур по годам (2014-2017 гг.).

Особый интерес в 50-летнем длительном полевом опыте представляют исследования по влиянию различных систем удобрения на биологические свойства дерново-подзолистой почвы, в частности на БА, показателем которой служит целлюлозоразрушающая способность. Оценка БА почвы как «очень сильная» достигнута в варианте с органической системой удобрения при использовании повышенной дозы навоза (20 т/га) более 80%, а также при достаточных влажности и тепла. При применении минеральных удобрений в повышенных дозах (N<sub>100</sub>P<sub>50</sub>K<sub>120</sub>) значительно интенсифицируется

разложение целлюлозы в сравнении с растительными остатками без удобрений.

Проведена комплексная оценка биологического состояния почвы при длительном применении различных систем удобрения. Установлено, что при использовании минеральной системы удобрения (1,4), а также варианта без удобрений (1,7) коэффициент минерализации был более высоким. Это говорит о более интенсивном разложении органического вещества при внесении минеральных удобрений и истощении легкодоступных источников органического вещества в почве в варианте без удобрений.

#### Литература

1. Методика почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д.Г. Звягинцева. – М.: Изд-во Московского университета, 1980. – 240 с.
2. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Д.Г. Звягинцев [и др.]; Под ред. Д.Г. Звягинцева. – М.: Изд-во МГУ, 1991. – 304 с.
3. Звягинцев Д.Г. Биология почв: учебник / Д.Г. Звягинцев, И.Л. Бабеева, Г.М. Зенова. – М.: МГУ, 2005. – 445 с.
4. Мишустина Е.Н. Ценозы почвенных микроорганизмов. Почвенные организмы как компоненты биогеоценоза. – М.: Наука, 1984. – С. 5-24.
5. Микробиология: учебник для вузов / Под ред. В.Т. Емцева, Е.Н. Мишустина. – 6-е изд. – М.: Дрофа, 2006. – 232 с.
6. Пономарева В.В. Гумус и почвообразование / В.В. Пономарева, Т.А. Плотнокова. – Л.: Наука, 1980. – 222 с.
7. Гаевский Е.Е., Куликов Л.К. Влияние окультуривания дерново-подзолистой супесчаной почвы на ее микробиологическое разнообразие и биологическую активность // Экологический вестник. – 2016. – № 2 (36). – С. 17-25.
8. Минеев В.Г. Агрохимия: учебник / В.Г. Минеев. – М.: Изд-во МГУ, 2006. – 720 с.
9. Соловьев П.П., Гасова В.П. Влияние удобрений и их сочетаний на продуктивность севооборота, качество продукции и плодородие почвы // Результаты исследований в длительных опытах с удобрениями по зонам страны. Труды ВИУА, вып. 11. – М., 1982. – С. 24-57.
10. Благодатский С.А., Благодатская Е.В., Горбенко А.А., Паников Н.С. Регидратационный метод определения биомассы микроорганизмов в почве // Почвоведение. – 1987. – №4. – С. 71-81.
11. Востров И.С., Петрова А.И. Определение биологической активности почвы различными методами // Микробиология. – 1961. – Т.30, вып. 4. – С. 665-672.
12. О.Е. Пряженникова. Целлюлозолитическая активность почв в условиях городской среды // Вестник КемГУ. – 2011. – №3.(47) – С.10-13.

## INFLUENCE OF LONG-TERM FERTILIZER APPLICATIONS ON FERTILITY AND YIELD OF CROPS

E.I. Zolkina

All-Russian Scientific Research Institute of Organic Fertilizers – a branch of Upper Volga Federal Agrarian Research Center, Pryanishnikova ul. 2, 601390 p. Vyatkin, Russia, E-mail: [ek.zolkina2017@yandex.ru](mailto:ek.zolkina2017@yandex.ru)

The most important method of increasing crop productivity is the use of different fertilizer systems. It was found that the efficiency of the mineral fertilizer system using a double dose (N<sub>100</sub>P<sub>50</sub>K<sub>120</sub>) was higher, it provided the average productivity of grain crop rotation in the 11th rotation-32.7 kg/ha. Determination of soil biological activity in non-Chernozem zone for the 11th rotation with long-term use of fertilizers showed that the degree of decomposition of cellulose is characterized as an average intensity and contributes to favorable conditions for the preservation of soil fertility and growth of field crops. It should be noted that the use of organic fertilizers to a greater extent stimulates the development of microorganisms using organic forms of nitrogen. When using organic and organomineral fertilizer system, the coefficient of mineralization of KAA/MPA was 1.1-1.2, which indicates the balance of the processes of mineralization and humification of organic matter in the soil.

Keywords: soddy-podzolic sandy loam soils, soil biological activity, number of microorganisms, fertilizer system, production, weather conditions.