

# Влияние интенсивности применения удобрений и вида севооборота на агрохимические и биологические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы Мещёрской ландшафтной провинции

*Е.В. Марчук, ст.н.с., ФГБНУ ВНИИОУ*

В настоящее время эффективность растениеводства в Нечернозёмной зоне находится на невысоком уровне. Более 70% сельхозпроизводителей выращивают продукцию по экстенсивным технологиям. Значительное сокращение применения удобрений и известковых материалов и чрезвычайно низкая эффективность использования производственных ресурсов приводит к деградации ранее окультуренных дерново-подзолистых почв и прогрессирующему снижению урожайности сельскохозяйственных культур [1, 2]. Возможным выходом из аграрно-экономического кризиса является курс на адаптивную интенсификацию сельскохозяйственного производства с учётом природно-ресурсного потенциала и производственно-экономических условий, активизирующих потенциал почвенного плодородия и эффективность средств химизации [3].

Основным способом увеличения продуктивности пашни на дерново-подзолистых почвах является применение высоких доз удобрений, рассчитанных на возмещение выноса питательных веществ с урожаем и повышение почвенного плодородия. При этом внесение удобрений, являясь высокозатратным мероприятием, часто не окупается, к тому же создаётся риск техногенного загрязнения почвы. Предлагаемым способом решения данных проблем является использование биологических средств интенсификации земледелия: оптимизация чередования культур в севооборотах, максимально возможное использование органических удобрений и растительных остатков, расширение посевов однолетних и многолетних бобовых культур, использование поливидовых посевов, повышение доли биологического азота в азотном балансе агроценозов [4–7].

Изучение факторов интенсификации земледелия по отдельности часто не даёт реальной картины их эффективности в производственных условиях, где все экологические факторы находятся во взаимовлиянии и взаимосвязи [8]. В проведённых в 2007–2012 гг. исследованиях был сделан акцент на оценке комплексного действия техногенных (удобрения) и биологических (бобовые культуры, севооборот) факторов.

**Материал и методы исследования.** Опыт заложен на опытном поле института на территории Владимирской области. Местонахождение опытного поля – округ Судогодское Синеморье Мещёрской ландшафтной провинции, представляющей собой слабоволнистую, лесную, озёрно-аллювиальную

равнину. Почвообразующие породы – московские озёрно-ледниковые мощностью 3–5 м пески и супеси, залегающие на размытых валунных суглинках днепровской морены. В песках часто развит горизонт надморенной верховодки. В почвенном покрове на высоких междуречьях доминируют дерново-сильноподзолистые и дерново-подзолистые глееватые почвы, на склонах – дерново-подзолистые глееватые [9].

Опыт заложен методом расщеплённых делянок по следующей схеме: фактор А – три пятипольных севооборота: зерновой – однолетние травы, озимая пшеница, яровые зерновые, однолетние травы, озимая пшеница; зернопропашной – однолетние травы, озимая пшеница, однолетние травы, картофель, ячмень; зернотравяной – однолетние травы с подсевом многолетних трав, многолетние травы 1 г.п., травы 2 г.п., озимая пшеница, ячмень; фактор В – наличие бобовых культур в севооборотах (30% площади); фактор С – система удобрений: 1) без удобрений; 2)  $P_{35}K_{45}$ ; 3)  $N_{40}P_{35}K_{45}$ ; 4)  $N_{40}P_{35}K_{45}$  + навоз подстилочный, 10 т/га; 5)  $N_{80}P_{60}K_{90}$ . Повторность опыта – трёхкратная, площадь делянки – 118 м<sup>2</sup>.

Агротехника возделывания полевых культур предусматривала ежегодную зяблевую вспашку на глубину 22–24 см и весеннюю предпосевную культивацию. В системе защиты растений проводили химические обработки посевов зерновых культур и картофеля гербицидами, при превышении экономических порогов вредоносности применяли фунгициды и инсектициды.

Подстилочный полуперепревший навоз вносили осенью под основную обработку почвы. Он имел следующие показатели: влажность – 76–82%, зольность – 31,3%, рН – 8,2, азот общий – 0,33–0,42%, фосфор общий – 0,37–0,43%, калий общий – 0,31–0,49%, содержание углерода – 34–42%. Солому зерновых измельчали при уборке и запахивали. Минеральные удобрения вносили под все культуры в равных дозах, соответствующих вариантам опыта, в виде аммиачной селитры (34% д.в.) простого гранулированного суперфосфата (24% д.в.), и калийной соли (60% д.в.).

Для посева использовали районированные, экологически пластичные сорта зерновых, картофеля, бобовых культур и трав: озимую пшеницу сорта Заря, ячмень сорта Зазерский 85, овёс сорта Друг, картофель сорта Удача, вику посевную сорта ВИК 9, люпин узколистный сорта Кристалл, тимофеевку луговую ВИК 9, клевер луговой ВИК-7.

Почва опыта – дерново-слабоподзолистая неглубоко контактно-глееватая, со следующими

агрохимическими показателями:  $pH_{KCl} - 5,5 - 5,9$ , содержание подвижного фосфора – 28–83 мг/кг, обменного калия (по Кирсанову) – 91–108 мг/кг, гумуса – 1,2–1,25%,  $H_{гидр.} - 1,3 - 2,2$ , сумма обменных оснований – 4,5–5,9 мг-экв./100 г почвы, степень насыщенности основаниями – 75–82%.

Вторая агроклиматическая зона Владимирской области, где проводили исследование, по влагообеспеченности относится к зоне достаточного увлажнения. Средняя многолетняя сумма осадков составляет 550–575 мм, испаряемость – около 400 мм в год. В период активной вегетации в среднем выпадает 240–280 мм осадков. В обычные годы этого бывает достаточно для создания в почве хорошего запаса продуктивной влаги (весной её обычно бывает 140–185 мм в метровом слое). Длительность периода активной вегетации с устойчивыми температурами выше +10°C составляет 132–135 дн. Сумма среднесуточных температур воздуха за этот период – 2000–2100°C. Гидротермический коэффициент по Селянинову составляет в среднем за вегетационный период 1,2–1,4.

Однако погодные условия Владимирской области характеризуются довольно высокими отклонениями климатических показателей от среднееголетних значений. Метеоусловия вегетационных периодов 2007–2012 гг. различались между собой как по температурному режиму, так и по режиму увлажнения. Из шести лет исследования два года (2009 и 2012) имели климатические показатели, близкие к среднееголетним значениям. Погодные условия вегетационных периодов 2007, 2010 и 2011 гг. характеризовались как засушливые, 2008 г. был избыточно влажным.

**Результаты исследования.** В ходе исследования установлено, что продуктивность агроценозов определялась сочетанием всех изучаемых в опыте антропогенных и биологических факторов интенсификации. В целом за ротацию максимальная продуктивность была получена в зернопропашном севообороте – 28 ц/га з.е. в среднем по всем вариантам внесения удобрений. Значительно уступали ему зерновой и зернотравяной севообороты без бобовых культур, где средняя по вариантам

продуктивность составляла 20 и 23 ц/га з.е. соответственно. Введение в эти севообороты бобовых культур обеспечило увеличение продуктивности зернового севооборота на 2,0–3,7, зернотравяного – на 3,8–6,9 ц/га з.е., причём наибольший эффект от насыщения севооборотов бобовыми наблюдался в вариантах без азотных удобрений и в варианте со средними дозами удобрений (табл.1).

Прирост продуктивности севооборотов при внесении средних доз минеральных удобрений составил 7,9–11,1 ц/га з.е., при совместном применении 10 т/га подстилочного навоза и минеральных удобрений в дозе  $N_{40}P_{35}K_{45} - 10,9 - 14,1$ , на фоне повышенных доз минеральных удобрений 12,1–14,9 ц/га з.е. Общим для всех севооборотов было снижение эффективности применения удобрений на 10–13% при введении в севообороты бобовых культур, что можно объяснить появлением дополнительного источника азота в результате симбиотической азотфиксации бобовыми культурами.

Максимальная оплата 1 кг питательных веществ удобрений была получена в зернопропашном севообороте: на фоне средних доз удобрений – 8,6–9,8, на фоне повышенных – 6,0–6,7 кг з.е. В зерновом и зернотравяном севооборотах наиболее приемлемую оплату 1 кг NPK, 6,6–7,8 кг з.е., получили в варианте со средними дозами удобрений. Использование повышенных доз в этих севооборотах снизило оплату 1 кг питательных веществ удобрений до 4–5 кг з.е.

Проведённый по окончании ротации агрохимический анализ почвы показал, что содержание доступных для растений форм фосфора и калия определяло интенсивность применения удобрений и вынос этих элементов питания с урожаем культур. Внесение средней дозы фосфора ( $P_{35}$ ) в составе полного минерального удобрения обеспечило бездефицитный его баланс за ротацию и привело к увеличению его содержания по сравнению с контролем на 19–40 мг/кг в зерновом севообороте, 49–57 в зернопропашном и 34–50 мг/кг в зернотравяном севооборотах. В вариантах, где доза внесения фосфора составила 60 кг/га д.в. в год, при

1. Влияние комплексного применения органических, минеральных удобрений и биологического азота на продуктивность севооборотов, ц/га з.е.

Вариант внесения удобрений	Зерновой севооборот		Зернопропашной севооборот		Зернотравяной севооборот		Среднее по фону удобрений
	1	2	1	2	1	2	
Без удобрений	13,4	17,1	18,7	20,5	15,3	22,2	17,9
$P_{35}K_{45}$	13,8	17,6	20,1	22,0	17,0	23,3	19,0
$N_{40}P_{35}K_{45}$	21,4	24,9	30,5	30,8	25,2	30,8	27,3
$N_{40}P_{35}K_{45} + \text{навоз, 10 т/га}$	25,1	27,1	34,0	33,3	27,5	34,3	30,2
$N_{80}P_{60}K_{90}$	26,4	28,4	34,0	34,9	29,9	33,7	31,2
Среднее по севообороту	21,5		27,9		25,9		
НСП <sub>05</sub> (севооборот) 1,35; НСП <sub>05</sub> (бобовые) 1,25; НСП <sub>05</sub> (удобрения) 2,09; НСП <sub>05</sub> (для частных различий) 4,50 ц/га з.е.							

Примечание (здесь и далее): 1 – без бобовых культур, 2 – с бобовыми культурами

положительном среднегодовом балансе по фосфору 28–37 кг/га, отмечалось повышение содержания подвижного фосфора в почве относительно контрольного варианта на 35–51, 60–65, 50–64 мг/кг в зерновом, зернопропашном и зернотравяном севооборотах соответственно.

Применение фосфорных удобрений в средних и повышенных дозах способствовало стабилизации содержания подвижного фосфора в почве севооборотов на уровне 112–163 мг/кг. Исключение составляли зерновой севооборот без бобовых культур и зернотравяной севооборот с клеверотимофеечной смесью 2-летнего использования.

Применение калийной соли в дозе 45 кг/га д.в. в составе полного минерального удобрения способствовало увеличению содержания обменного калия в почве на 24–34 мг/кг относительно варианта без удобрений, внесение повышенной дозы  $K_{90}$  – на 47–59 мг/кг. Максимальное содержание обменного калия отмечалось в зерновом севообороте: от 108–110 мг/кг в варианте без удобрений до 154–165 мг/кг в варианте с  $K_{90}$ . Существенно ниже было содержание калия в зернотравяном севообороте с клеверотимофеечной травосмесью двухлетнего использования в результате более высокого выноса  $K_2O$  урожаем многолетней злаково-бобовой травосмеси (табл. 2).

Повышение продуктивности севооборотов с бобовыми культурами, при увеличении поступления азота в круговорот агроценоза за счёт симбиотической азотфиксации, привело к соответствующему росту выноса фосфора и калия урожаем культур. Для сохранения оптимального уровня содержания доступных форм этих элементов в почве необходимо в зерновом севообороте вносить с удобрениями не менее 60 кг/га д.в.  $P_2O_5$  и 45 кг/га д.в.  $K_2O$ , в зер-

нопропашном и зернотравяном севооборотах – 60 и 90 кг/га д.в.  $P_2O_5$  и  $K_2O$  соответственно.

Севооборот – один из важных факторов регулирования процессов накопления и разложения органического вещества в почве. В ходе исследования показано, что изменение содержания гумуса за ротацию севооборотов определялось количеством и качеством поступившего в почву органического вещества (корнепоживных остатков, соломы, навоза). Бездефицитный баланс гумуса за ротацию сложился в зернотравяном севообороте с многолетними травами (+0,01–0,07%). В зерновом и зернопропашном севооборотах без бобовых культур отмечалось снижение содержания гумуса на 0,06–0,13%. Введение однолетних бобовых и бобово-злаковых смесей в эти севообороты позволило замедлить потерю гумуса до 0,03–0,04% за ротацию, но полностью устранить отрицательный баланс удалось только в варианте с совместным применением 10 т/га навоза и  $N_{40}P_{35}K_{45}$ .

Использование органо-минеральной системы удобрения способствовало поддержанию и некоторому повышению содержания в почве гумуса во всех севооборотах, исключая зерновой севооборот без бобовых культур. Прирост содержания гумуса при совместном внесении 10 т/га навоза и  $N_{40}P_{35}K_{45}$  составил в зерновом севообороте с бобовыми 0,07% (в пересчёте на физическую массу – 2100 кг/га), в зернотравяном с бобовыми – 0,26% (7800 кг/га). В зернопропашном севообороте использование органо-минеральной системы обеспечило бездефицитный баланс гумуса.

Максимальное содержание гумуса при совместном внесении органических и минеральных удобрений – 1,52% отмечалось в зернотравяном севообороте с бобово-злаковой травосмесью дву-

2. Содержание подвижного фосфора, обменного калия и гумуса в дерново-подзолистой почве по окончании ротации

Вариант	Зерновой севооборот		Зернопропашной севооборот		Зернотравяной севооборот	
	1	2	1	2	1	2
$P_2O_5$ , мг/кг						
Без удобрений	30	74	82	88	67	44
P35K45	42	103	117	101	53	38
$N_{40}P_{35}K_{45}$	49	115	131	145	117	78
$N_{40}P_{35}K_{45}$ + навоз, 10 т/га	65	138	158	163	131	108
$N_{80}P_{60}K_{90}$	65	112	135	133	122	108
$K_2O$ , мг/кг						
Без удобрений	108	110	81	81	73	59
P35K45	120	119	87	86	79	76
$N_{40}P_{35}K_{45}$	133	147	113	110	95	84
$N_{40}P_{35}K_{45}$ + навоз, 10 т/га	149	166	139	140	124	117
$N_{80}P_{60}K_{90}$	159	163	137	136	129	110
Гумус, %						
Без удобрений	1,07	1,21	1,21	1,19	1,20	1,25
P35K45	1,03	1,15	1,14	1,22	1,33	1,30
$N_{40}P_{35}K_{45}$	1,12	1,23	1,28	1,26	1,22	1,32
$N_{40}P_{35}K_{45}$ + навоз, 10 т/га	1,21	1,34	1,35	1,32	1,32	1,52
$N_{80}P_{60}K_{90}$	1,20	1,23	1,26	1,30	1,30	1,32

летнего использования. Эквивалентная органо-минеральной системе по количеству питательных веществ минеральная система удобрений ( $N_{80}P_{60}K_{90}$ ) не смогла обеспечить бездефицитный баланс гумуса ни в одном из севооборотов, кроме зернотравяного с бобовыми, где содержание гумуса осталось на прежнем уровне.

Содержание общего азота в почве было низким и составило в зерновом севообороте 0,075–0,083%, в зернопропашном – 0,073–0,079, зернотравяном – 0,068–0,080%. С увеличением интенсивности применения удобрений прослеживалась тенденция к увеличению содержания N общ. от 0,072 до 0,081%.

Отношение в почве общего углерода к азоту (C:N) независимо от вида севооборота и интенсивности применения удобрений было в пределах 9,7–10,2, что типично для сильногумифицированного органического вещества и соответствует средней степени обогащённости его азотом.

Оценка нитрификационной способности дерново-подзолистой почвы, проведённой по окончании ротации, показала зависимость этого показателя от количества и качества органического вещества, поступившего в почву с растительными остатками, масса которых определялась видом севооборота, биологическими особенностями культур и интенсивностью применения удобрений (рис.).

Максимальное количество нитратного азота в почве после месяца инкубации отмечалось в зернотравяном севообороте с злаково-бобовой травосмесью. В почве взятого для сравнения в качестве абсолютного контроля бессеменного чистого пара нитрификационная способность была в 2 раза ниже – 10–13 мг/кг почвы. В почве 10-летней залежи нитрификационная способность составила

26 мг/кг почвы, что можно принять в качестве показателя, соответствующего целинной дерново-подзолистой супесчаной почве.

Для определения биогенности дерново-подзолистой почвы по окончании ротации был проведён микробиологический анализ почвы методом почвенных разведений с высевом на селективные питательные среды. Учитывали аммонифицирующие бактерии, усваивающие органические формы азота, на мясопептонном агаре, амилолитические бактерии и актиномицеты, использующие минеральные формы азота, на крахмало-аммиачном агаре, микромицеты на среде Чапека, аэробные целлюлозоразлагающие микроорганизмы на гелевых пластинках с бумажным фильтром, смоченным средой Гетчинсона.

В почве опытного участка преобладали микроорганизмы, усваивающие минеральный азот. Численность колониеобразующих единиц (КОЕ) амилолитических микроорганизмов колебалась в зависимости от уровня минерального питания в пределах 10–17 млн/г в зерновом севообороте, 12–22 млн/г в зернопропашном и зернотравяном севооборотах. Численность бактерий, использующих органические формы, составила 6–14 млн КОЕ в 1 г почвы. В вариантах с удобрениями их количество возросло относительно контроля в 1,8 раза в зерновом и зернопропашном, в 2,0–2,5 раза в зернотравяном севообороте, что явилось следствием увеличения массы прижизненных и послеуборочных растительных остатков при использовании удобрений.

Оценка численности различных групп целлюлозолитических микроорганизмов показала, что в почве опыта во всех вариантах преобладали актиномицеты: 19–62 тыс. КОЕ/г почвы в зави-

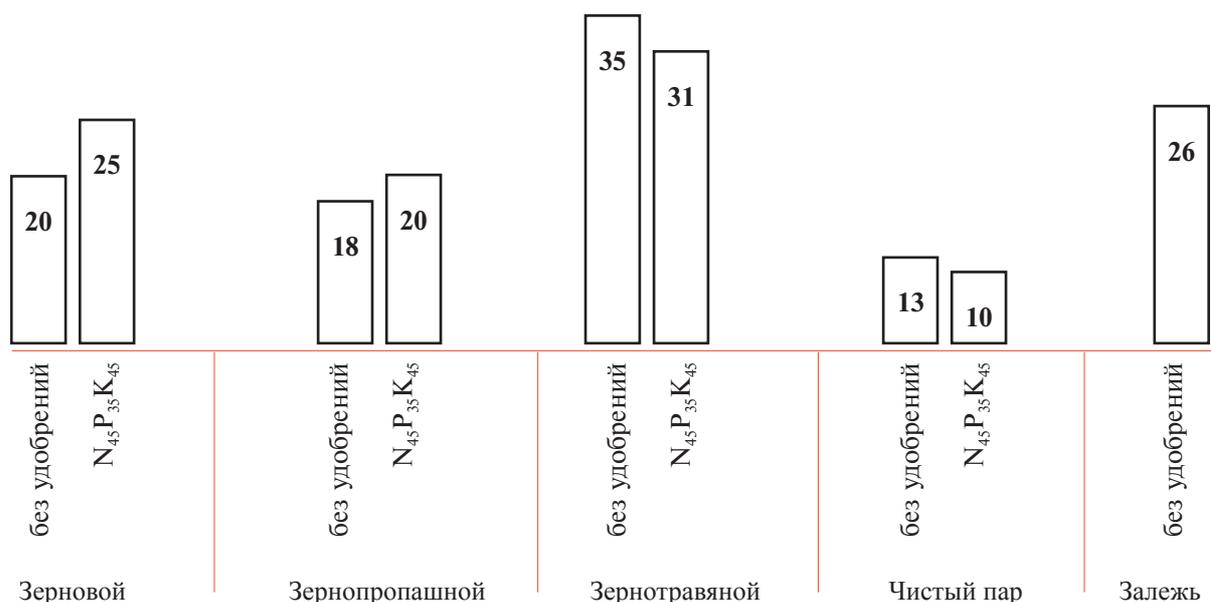


Рис. – Нитрификационная способность почвы в зависимости от вида севооборота и фона удобрений, мг/кг почвы

симости от интенсивности применения удобрений. Следом шли бактерии, количество которых определялось дозами удобрений и видом севооборота. В зерновом севообороте численность бактерий составляла всего 2–13 тыс./г почвы против 10–35 тыс./г в зернопропашном и 7–23 тыс./г в зерно-травяном севооборотах. Численность целлюлозолитических бактерий и актиномицетов возрастала с увеличением уровня удобренности в 3–3,5 раза. Численность микромицетов также зависела от интенсивности применения удобрений. Максимальное их количество было отмечено в варианте с органо-минеральной системой удобрения – 70–94 тыс. КОЕ/г почвы, минимальное – в варианте без удобрений 41–57 тыс. КОЕ/г.

Общее количество бактерий, грибов и актиномицетов при внесении удобрений в повышенных дозах (варианты  $N_{45}P_{35}K_{45}$  + навоз, 10 т/га и  $N_{80}P_{60}K_{90}$ ) повысилось на 73–145%. Роль вида севооборота и бобовых культур в изменении биогенности почвы была незначительна.

**Выводы.** Рациональное сочетание химических и биологических факторов интенсификации земледелия обеспечило повышение продуктивности агроценоза на слабокультуренной супесчаной дерново-подзолистой почве до 35 ц/га з.е. Совместное применение 10 т/га навоза и минеральных

удобрений в дозе  $N_{40}P_{35}K_{45}$  при одновременном насыщении севооборотов бобовыми культурами способствовало увеличению содержания гумуса на 0,12–0,27%, подвижного фосфора – на 65–75 и обменного калия – на 50–60 мг/кг почвы, повышению биогенности почвы в 1,7–2,5 раза и её нитрификационной способности на 40–80%.

### Литература

1. Стратегия инновационного развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2020 года. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2011.
2. Иванов Л.А. Научное земледелие в России: итоги и перспективы // Земледелие. 2014. № 3. С. 25–29.
3. Кирюшин В.И. Экологические основы земледелия. М.: Колос, 1996. 367 с.
4. Жученко А.А. Адаптивная стратегия устойчивого развития сельского хозяйства России в XXI столетии. Теория и практика. М.: Изд-во «Агрорус», 2009–2011. Т. I. С. 85–127, 427–434.
5. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий. Методическое руководство / Под ред. В.И. Кирюшина, А.Л. Иванова. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. С. 427–439.
6. Теоретическое обоснование технологий биологизации земледелия / Под ред. докт. с.-х. наук, заслуженного деятеля науки РФ А.И. Еськова. М.: РАСХН, 2005. 80 с.
7. Трепачев Е.П. Агрохимическая оценка биологического азота в современном земледелии. М., 1999. 532 с.
8. Агрохимические проблемы биологической интенсификации земледелия // Сборник докладов междунар. науч.-практич. конф. Владимир: ГНУ ВНИПТИОУ, 2005. 360 с.
9. Романов В.В. Ландшафты Владимирской области. Ландшафты Мещёрской провинции: учеб. пособие. Владимир: Изд-во ВлГУ, 2013. 136 с.