



НАПРАВЛЕННОСТЬ БИОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ АГРОПРИЕМОМ

Е.В. Чебыкина (фото)

к.с.-х.н., доцент, заведующая кафедрой экологии

П.А. Котяк

к.с.-х.н., старший преподаватель кафедры экологии

А.М. Труфанов

к.с.-х.н., доцент кафедры агрономии

ФГБОУ ВПО «Ярославская ГСХА»

Н.Б. Громов

директор ФГБУ ГСАС «Ярославская»

*Система основной
обработки почвы,
система удобрений,
органическое вещество
почвы, биологическая
активность почвы,
фитотоксичность
почвы, урожайность
полевых культур*

*System of the basic soil
cultivation, system
of fertilizers, soil organic
substance, biological
activity of soil, phytosoil
toxicity, productivity
of crops*

Биохимические процессы, протекающие в почве, определяются агрохимическими и биологическими показателями плодородия, в частности, содержанием гумуса и биологической активностью. С последней связаны процессы синтеза гумуса, минерализация вносимых в почву органических удобрений, перевод труднодоступных элементов питания в доступную форму. Интенсивность и направленность биохимических процессов во многом определяется условиями агроландшафта, применяемыми системами обработки почвы и удобрений.

Обработка почвы коренным образом изменяет соотношение объемов твердой, жидкой и газообразной фаз в почвенной среде, и, тем самым, влияет на протекающие в ней разносторонние физические, химические и биологические процессы, ускоряя или замедляя темп синтеза и разрушения органического вещества. В связи с этим, система обработки не должна носить шаблонный характер, а выстраиваться строго дифференцированно в соответствии с условиями агроландшафта и иметь ресурсосберегающую направленность [1].

Перспективы использования побочной продукции (соломы) в качестве удобрения давно привлекают внимание исследователей. Достоинством соломы как органического удобрения является высокое содержание органического вещества, созданного непосредственно на месте потребления. Микроорганизмы, использующие органическое вещество соломы как энергетический и строительный материал, в значительной степени определяют почвенно-микробиологические условия роста растений [2].

В связи с этим, представляет интерес изучение влияния систем ресурсосберегающей обработки и удобрения соломой на интенсив-

ность биохимических процессов, протекающих в почве, и урожайность полевых культур в условиях временно избыточного увлажнения.

Методика

Исследования проводились в многолетнем стационарном многофакторном полевом опыте, заложенном на дерново-подзолистой глееватой среднесуглинистой почве методом расщепленных делянок с рендомизированным размещением вариантов в повторениях с 1995 года, т.е. на 17-18-ый год действия факторов. Повторность опыта четырехкратная. Схема трехфакторного (4х6х2) опыта включала 48 вариантов с площадью элементарной делянки 63 м².

Перед началом наших исследований содержание органического вещества в пахотном горизонте составляло 2,29%; легкодоступного фосфора – 252,1 мг/кг; обменного калия – 94,3 мг/кг; сумма поглощенных оснований – 8,9 мг экв. на 100 г почвы; гидролитическая кислотность – 1,90 мг экв. на 100 г почвы; pH солевой вытяжки – 5,7.

Схема полевого стационарного трехфакторного (4х6х2) опыта:

Фактор А. Система основной обработки почвы, «О»: 1. Отвальная: вспашка на 20-22 см с предварительным лушением на 8-10 см, ежегодно, «О₁». 2. Поверхностная с рыхлением: рыхление на 20-22 см с предварительным лушением на 8-10 см 1 раз в 4...5 лет + однократная поверхностная обработка на 6-8 см в остальные 3...4 года, «О₂». 3. Поверхностно-отвальная: вспашка на 20-22 см с предварительным лушением на 8-10 см 1 раз в 4...5 лет + однократная поверхностная обработка на 6-8 см в остальные 3...4 года, «О₃». 4. Поверхностная: однократная поверхностная обработка на 6-8 см, ежегодно, «О₄».

Фактор В. Система удобрений, «У»: 1. Без удобрений, «У₁». 2. N₃₀, «У₂». 3. Солома 3 т/га, «У₃». 4. Солома 3 т/га + N₃₀ (азотное удобрение в расчете 10 кгд.в. на 1 т соломы), «У₄». 5. Солома 3 т/га + NPK (норма минеральных удобрений, рассчитанная на планируемую прибавку урожая, в 2013 году - 200 ц/га, N₈₀P₁₅K₁₉₅), «У₅». 6. NPK (норма минеральных удобрений, рассчитанная на планируемую прибавку урожая в 2013 году - 200 ц/га, N₈₀P₁₅K₁₉₅), «У₆».

Фактор С. Система защиты растений от сорняков, «Г»: 1. Без гербицидов, «Г₁». 2. С гербицидами, «Г₂».

В опыте осуществлялось следующее чередование полевых культур во времени: ячмень (2012 г.) – рапс яровой (2013 г.). Посев ячменя (2012 г.) был обработан в фазу кушения гербици-

дом Лонтрел 300 в норме 0,5 л/га, в 2013 году изучалось его последствие.

Лабораторные исследования проводились с использованием научного оборудования ЦКП «Агротехнологии».

Результаты исследований

Одним из основных показателей плодородия почв является их гумусовый режим. Среди многочисленных функций органического вещества на первый план выходят такие, как: способность стабилизировать сложение и структурное состояние почвы; служить акцептором снижения вредного воздействия минеральных и органических токсиантов; поддерживать высокую химическую и биологическую активность круговорота вещества и энергии в системе «почва-растение-атмосфера».

Содержание органического вещества в среднем по опытному участку составило 2,91%, что на 12,3% выше по сравнению с периодом начала исследований. В среднем по изучаемым факторам существенных различий между системами обработки почвы в изменении содержания органического вещества обнаружено не было (табл. 1).

Обращает на себя внимание тенденция повышения данного показателя на вариантах с ресурсосберегающими системами обработки (О₂, О₃, О₄), причем более эффективными в накоплении органического вещества были сочетания обработок (О₂, О₃). По этим системам содержание органического вещества было на 0,27% выше, чем по отвальной (О₁). Применяемые системы удобрений способствовали достоверному повышению содержания органического вещества. При этом, даже самостоятельное внесение соломы (У₃) значительно повышало показатель, что говорит об эффективности данной побочной продукции зерновых культур как органического удобрения.

Использование гербицидов достоверного влияния на содержание органического вещества не оказало. В целом данные изменения были характерны как для верхнего слоя пахотного горизонта (0-10 см), так и для нижнего (10-20 см), с тенденцией снижения показателя в последнем в сравнении с верхним (0-10 см) слоем.

Многообразные биохимические процессы, протекающие в почве, можно описать комплексным понятием «биологическая активность». Повышенная биологическая активность почв способствует снижению численности патогенных микроорганизмов, ускоряет микробиологическую деградацию пестицидов. В настоящее время в почвенных исследованиях довольно широко

используется такой интегральный критерий биологической активности почв как ферментативный анализ. Ферменты поддерживают биохимический гомеостаз почв и тем самым позволяют почве выполнять ее экологические функции.

Одним из ферментов, присутствующих почти у всех почвенных микроорганизмов, является каталаза. Она разлагает ядовитую для клеток перекись водорода, образующуюся в процессе дыхания живых организмов, и в результате различных биохимических реакций окисления органических веществ воздействует на воду и молекулярный кислород. В подтверждение этого, наши исследования свидетельствуют о наличии прямой существенной связи между содержанием органического вещества почвы (гумусовых веществ) и каталазной активностью ($y = 3,1213 + 0,3906 \cdot x$; $r = 0,4242$; $p = 0,0155$; $r^2 = 0,1799$).

Почва опытного участка по степени обогащенности каталазой может быть отнесена к средней по обогащенности (4,28 мл O_2 /г почвы). В изменении данного показателя под воздействием изучаемых факторов значительных раз-

личий обнаружено не было, однако отмечалась тенденция повышения каталазной активности в слое 0–20 см на сочетаниях обработок почвы – поверхностно-отвальной (O_3) и поверхностной с рыхлением (O_2) (табл. 1). При этом, по слоям пахотного горизонта можно отметить разнонаправленную динамику: на отвальной (O_1) и поверхностной (O_4) обработках активность каталазы была выше в слое 0–10 см, тогда как на сочетаниях обработок (O_2 и O_3), наоборот, в слое 10–20 см. Это свидетельствует о различном перераспределении токсичных продуктов жизнедеятельности микроорганизмов и растений в зависимости от системы обработки почвы: при ежегодной вспашке и поверхностной обработке – в верхнем слое, при периодической вспашке и рыхлении – в нижнем.

В отношении вариантов удобрений необходимо отметить усиление активности каталазы в слое 0–20 см при интенсификации системы удобрения в сравнении с фоном без удобрений: при внесении соломы отдельно (Y_3) и с НРК (Y_5) на 1%, НРК – на 3,6%. При этом, внесение соломы повы-

Таблица 1 – Биологические показатели плодородия почвы в среднем по изучаемым факторам

Вариант	Содержание органического вещества, %			Ферментативная активность (каталаза) почвы, мл O_2 /г почвы			Целлюлозоразлагающая активность почвы, %		
	слой почвы, см			слой почвы, см			слой почвы, см		
	0-10	10-20	0-20	0-10	10-20	0-20	0-10	10-20	0-20
Фактор А. Система обработки почвы, «О»									
Отвальная, « O_1 »	2,77	2,72	2,74	4,26	4,07	4,16	19,6	22,2	20,9
Поверхностная с рыхлением, « O_2 »	3,05	2,97	3,01	4,20	4,57	4,39	38,4	40,2	39,3
Поверхностно-отвальная, « O_3 »	3,00	3,00	3,00	4,10	4,52	4,31	26,5	33,4	30,0
Поверхностная, « O_4 »	2,98	2,86	2,92	4,39	4,13	4,26	33,3	37,0	35,1
НСР ₀₅	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	3,3	4,0	2,6
Фактор В. Система удобрений, «У»									
Без удобрений, « Y_1 »	2,70	2,72	2,71	4,18	4,27	4,22	44,8	39,0	41,9
Солома 3 т/га, « Y_3 »	3,04	2,94	2,99	4,34	4,19	4,26	18,4	40,4	29,4
Солома + НРК, « Y_5 »	3,12	2,78	2,95	4,15	4,38	4,26	25,2	20,7	22,9
НРК, « Y_6 »	3,25	3,15	3,20	4,29	4,45	4,37	29,4	32,6	31,0
НСР ₀₅	0,19	0,20	0,16	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	2,3	3,2	2,1
Фактор С. Система защиты растений, «Г»									
Без гербицидов, « G_1 »	2,96	2,91	2,93	4,13	4,24	4,19	32,1	27,6	29,8
С гербицидами, « G_2 »	2,95	2,86	2,90	4,35	4,40	4,38	26,8	38,8	32,8
НСР ₀₅	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	0,17	1,7	1,5	1,2

шало ферментативную активность в основном за счет слоя 0–10 см, куда она в основном и вносилась, тогда как на других вариантах удобрений это происходило в слое 10–20 см, что можно связать с большим накоплением вредных веществ при отдельном внесении соломы, что особенно проявляется в первый год после ее заделки. Применение гербицидов существенно увеличивало показатель в сравнении с системой защиты без их применения, что говорит о присутствии в почвенных образцах этих вариантов больших количеств токсических веществ.

Ферментативная активность почвы обусловлена деятельностью микроорганизмов. К показателю суммарного эффекта деятельности почвенных микроорганизмов можно отнести интенсивность разложения льняной ткани (целлюлозоразлагающую активность почвы). По результатам наших исследований выявлена существенная прямая корреляционная зависимость каталазной активности и активности целлюлозоразлагающих микроорганизмов ($y = 4,1153 + 0,0052 \cdot x$; $r = 0,3540$; $p = 0,0469$; $r^2 = 0,1253$).

Процессы разложения целлюлозы в почве позволяют судить о биоклиматических и экологических условиях почвообразования, интенсивности биохимических процессов, биологического круговорота элементов питания, причем хорошие условия жизнедеятельности целлюлозоразрушающих микроорганизмов близки к оптимальным для произрастания полевых культур. По результатам аппликационной оценки биологической активности, почвы опытного участка отличаются слабой выраженностью разрушения целлюлозы, в среднем этот показатель составил 30,8%. Анализ активности микрофлоры свидетельствует о существенном преимуществе ресурсосберегающих систем обработки (O_2 , O_3 , O_4), по сравнению с отвальной, в обоих изучаемых слоях пахотного горизонта. При этом независимо от систем обработки почвы активность повышалась в нижнем слое пахотного горизонта (10–20 см), по сравнению с верхним (0–10 см). Применяемые системы удобрений достоверно снижали показатель по сравнению с фоном без удобрений в пахотном горизонте, особенно при внесении соломы в слое 0–10 см. Действие гербицидов проявилось в снижении активности в слое 0–10 см, где в основном концентрируются остатки гербицидов.

Повышение токсичности почвы может быть следствием самых различных причин. Основными из них являются: образование вредных про-

дуктов жизнедеятельности, межорганизменные взаимодействия, неблагоприятные физико-химические условия среды, загрязнение в результате хозяйственной деятельности человека. Вещества, которые негативно влияют на рост и развитие растений, могут образовываться в процессе почвообразования.

О связи токсичности почвы и ее биологической активности свидетельствуют полученные результаты. Повышение целлюлозоразлагающей активности почвы создает благоприятные условия для увеличения всхожести тест-культуры – здесь наблюдается прямая корреляционная связь ($y = 45,0898 + 0,2609 \cdot x$; $r = 0,4314$; $p = 0,0137$; $r^2 = 0,1861$). Обратная направленность связи была характерна для показателей активности каталазы и длины проростка тест-культуры, что указывает на увеличение активности каталазы в условиях повышения токсичности почвы ($y = 6,5669 - 0,6304 \cdot x$; $r = 0,3730$; $p = 0,0355$; $r^2 = 0,1391$).

Следует отметить, что, говоря о проявлении «общей токсичности» почвы, подразумевают снижение показателей развития проростков (всхожести, длины проростка и длины корней) тест-культуры (горчицы белой) на 20–30% по сравнению с данными, полученными на контроле (смоченной фильтровальной бумаге). Образцы почвы, отобранные с нашего опытного участка, проявили свойства токсичности по показателям всхожести и длины корней по всем изучаемым вариантам.

Если рассмотреть изменение показателей токсичности в среднем по изучаемым факторам, то следует отметить отсутствие существенных различий почти по всем вариантам. Заслуживает внимания тенденция снижения показателя всхожести тест-культуры (а значит повышения токсичности) на отвальной обработке в сравнении с ресурсосберегающими, особенно проявляющаяся в нижнем слое (10–20 см) пахотного горизонта. По остальным показателям значения при различных обработках почвы были практически на одном уровне. Применение удобрений повышало токсичность почвы в слое 0–10 см и снижало ее в слое 10–20 см, в сравнении с фоном без удобрений, что связано с заделкой удобрений преимущественно в верхний 10-см слой. Это создает очаги токсичности, особенно в первые периоды после внесения соломы в качестве удобрения. Данная тенденция была характерна для всех показателей развития тест-культуры.

Последствие гербицидов было слабо выраженом как в отношении изменения длины

проростка тест-объекта, так и его корней, в сравнении с вариантами без гербицидов. Однако оно было положительным в отношении всхожести, что, вероятно, связано с меньшим обилием сорняков на данном фоне и, соответственно, меньшим аллелопатическим и токсическим воздействием на культурные растения.

Анализ микробиологической токсичности на территории агроландшафта с дерново-подзолистыми глееватыми почвами позволил установить сильный микробный токсикоз, который проявился в снижении всхожести тест-культуры (редиса) на 29,5 % в среднем по опытному участку. При этом фитотоксический эффект проявился в меньшей степени при проведении ресурсосберегающих систем обработки. Следует также отметить дифференциацию пахотного горизонта по данному показателю. Так, по системам «поверхностно-отвальная» и «поверхностная» более токсичным оказался нижний слой (10-20 см). На длине проростка тест-культуры микробная токсичность не проявилась, по всем системам обработки наблюдался рост показателя в сравнении с контролем. Серьезного снижения длины корней по изучаемым системам обработки не наблюдалось. Можно отметить высокий отрицательный процент отклонения по системе «отвальная», токсическое действие на тест-культуру почвы, отобранной из нижнего слоя пахотного горизонта с вариантов обработки «поверхностно-отвальная» и «поверхностная с рыхлением».

Использование в качестве органического удобрения соломы несколько усилило микробную токсичность почвы в сравнении с контролем и вариантом, на котором вносились минеральные удобрения самостоятельно. Это вполне закономерно, так как солома – это свежее органическое

вещество, которое было заделано с осени и не успело разложиться в достаточной степени. Применение совместно с соломой минеральных удобрений сглаживало ее фитотоксическое действие и наиболее четко это прослеживается в развитии проростка и корневой системы. В изменении микробной токсичности действие применявшихся в посевах гербицидов не отмечается.

Урожайность сельскохозяйственных культур определяется большим количеством факторов: климатическими условиями зоны, применяемыми агротехническими приемами, компонентами агроландшафта, и в том числе биологическими показателями плодородия почвы. Как показал корреляционно-регрессионный анализ, существует тесная положительная связь между содержанием органического вещества и урожайностью ярового рапса (табл. 2).

Следует также отметить, что если корреляционная связь между урожайностью и активностью каталазы была средней положительной, то зависимость между урожаем культуры и активностью целлюлозоразлагающей микрофлоры – средней отрицательной. То есть рост биологической активности почвы может привести к снижению массы получаемого урожая. Токсичность почвы в меньшей степени определяла урожайность выращиваемой культуры, здесь наблюдалась слабая отрицательная связь. При этом обнаружена средняя отрицательная зависимость между проявлением фитотоксического эффекта и содержанием органического вещества.

При анализе роли изучаемых агротехнических приемов выращивания в формировании урожая можно отметить, что между системами обработки почвы нет существенных различий, при этом на вариантах с ресурсосберегающими

Таблица 2 – Корреляционные связи между биологическими показателями плодородия почвы и урожайностью полевых культур

Показатели	Показатели линейной корреляции			
	уравнение регрессии	коэффициент корреляции	квадрат коэффициента корреляции	ошибка коэффициента корреляции
Содержание органического вещества	$y = -283,3463 + 142,8486 \cdot x$	0,7829	0,0216	0,6129
Целлюлозоразлагающая активность почвы	$y = 49,6122 - 0,1121 \cdot x$	-0,4073	0,1659	0,3166
Активность фермента каталаза	$y = 4,0057 + 0,0007 \cdot x$	0,3350	0,1122	0,4173
Токсичность почвы	$y = 180,1195 - 0,815 \cdot x$	-0,1327	0,7542	0,0176

системами (O₂, O₃, O₄) отмечалась тенденция к росту урожайности в сравнении с фоном ежегодной отвальной вспашки (O₁) (рис. 1).

Использование всех изучаемых систем удобрений (экстенсивных и интенсивных) обеспечи-

вало существенную прибавку урожая в сравнении с контролем (без удобрений). Однако более высокую урожайность обеспечивало внесение полной нормы минеральных удобрений как самостоятельно, так и в сочетании с заделкой со-

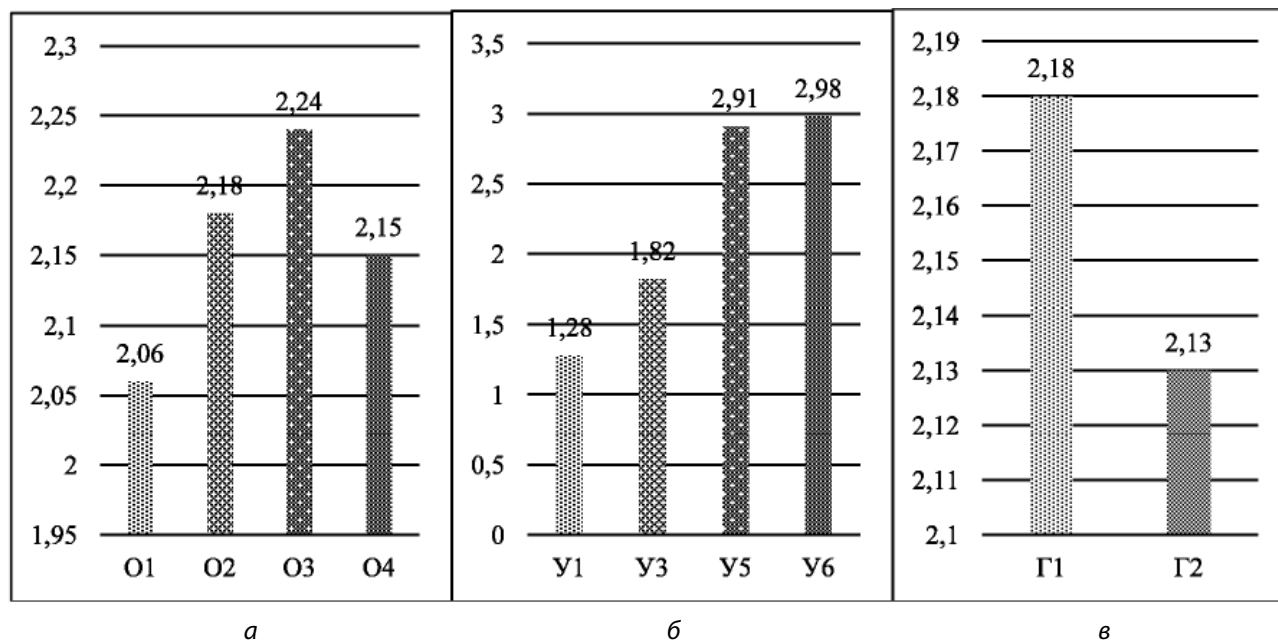


Рисунок 1 – Урожайность полевых культур в среднем по изучаемым факторам, т/га к.ед. (а – система обработки почвы, б – система удобрений, в – система защиты растений)

ломы в качестве органического удобрения. Действие гербицида не проявилось в изменении урожайности выращиваемых культур.

Таким образом, в условиях агроландшафта, отличающегося временным избыточным грунтовым увлажнением и дерново-подзолистыми гле-

еватыми почвами, с точки зрения экологической устойчивости, возможно эффективное использование соломы в качестве органического удобрения в сочетании с минеральными в системе поверхностно-отвальной обработки без использования гербицидов.

Литература

1. Смирнов, Б.А. Влияние систем минимальной обработки, удобрений и защиты растений на биологические показатели плодородия дерново-подзолистой глееватой почвы [Текст] / Б.А. Смирнов, П.А. Котьяк, А.М. Труфанов // Известия ТСХА. – 2013. – №1. – С. 85–96;
2. Чебыкина, Е.В. Влияние способов заделки соломы на биологические показатели плодородия почвы [Текст] / Е.В. Чебыкина, С.С. Сивкова, Е.С. Трифанова, Н.В. Лупанова // Вестник АПК Верхневолжья. – 2011. – №4. – С. 36–41.