

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕСТНЫХ УДОБРЕНИЙ, ПОЧВЕННОГО ГРИБА *Trichoderma koningii* Oudem. И NO-TILL ОБРАБОТКИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ АГРОЧЕРНОЗЕМА В ЮЖНОМ ПРЕДУРАЛЬЕ\***

**И.М. ГАББАСОВА<sup>1</sup>, Р.Р. СУЛЕЙМАНОВ<sup>1</sup>, Т.Т. ГАРИПОВ<sup>1</sup>,  
М.А. КОМИССАРОВ<sup>1</sup>, Л.В. СИДОРОВА<sup>1</sup>, Н.Ф. ГАЛИМЗЯНОВА<sup>1</sup>, Р. LIEBELT<sup>2</sup>,  
Е.В. АБАКУМОВ<sup>3</sup>, Г.А. ГИМАЛЕТДИНОВА<sup>1</sup>, З.Г. ПРОСТЯКОВА<sup>1</sup>**

Для предотвращения развития эрозии почв и восстановления их плодородия наряду с традиционными противоэрозионными агротехнологиями целесообразно использовать местные агроруды и удобрения, в том числе славину — отход при очистке озер и водохранилищ. В работе изучалась эффективность местных удобрений (навоз, цеолит, гумат натрия) и растительных остатков (сплавина, солома) с добавлением (NP)<sub>60</sub> и суспензии микроскопического гриба *Trichoderma koningii* ИБ Г-51 (далее *T. koningii*) на фоне нулевой (no-till) и классической обработки почвы (слабоэродированный агрочернозем). Определяли агрохимические свойства почвы (содержание гумуса, подвижного фосфора, обменного калия и щелочногидролизуемого азота), активность почвенных ферментов класса гидролаз и оксидоредуктаз, а также урожайность сельскохозяйственных культур (яровая пшеница, ячмень и сахарная свекла). Исследования проводили в Предуральской степной зоне на слабоэродированном агрочерноземе в течение 3 лет. Показано, что однократное внесение местных удобрений достоверно способствовало повышению содержания гумуса, улучшению питательного режима, увеличению ферментативной активности и урожайности сельскохозяйственных культур. За 3 года опыта в слое 0-30 см увеличение содержания гумуса было достоверным по обоим видам обработки (кроме вариантов с внесением цеолита и гумата натрия). По сравнению с контролем оно возросло на 3,5-5,6 % на фоне no-till и на 1,8-4,1 при классической обработке. При внесении навоза и растительных остатков с добавлением минеральных удобрений и применением no-till обеспеченность почвы подвижным фосфором за 3 года увеличилась от низкой до средней; при классической обработке достоверное увеличение наблюдалось только в варианте с навозом. Существенное увеличение содержания обменного калия (на 32-45 %) произошло только при внесении навоза и сластины с добавлением (NP)<sub>60</sub> и *T. koningii*. Содержание щелочногидролизуемого азота изменялось в узком диапазоне, причем достоверное увеличение происходило только при нулевой обработке с внесением навоза и сластины. При внесении навоза и растительных остатков, в отличие от вариантов с использованием гумата натрия и цеолита, ферментативная активность почвы была выше, чем в контроле. Наиболее тесную корреляцию с агрохимическими показателями выявили для протеазы и полифенолоксидазы ( $r = 0,53-0,75$ ,  $p < 0,05$ ). На фоне no-till изменения агрохимических свойств и ферментативной активности были более выражены в слое 0-10 см, при классической — 0-30 см. Только в засушливых условиях рентабельность применения удобрений при технологии no-till была выше, чем при классической обработке. Впервые показано, что добавление культуры микроскопических грибов *T. koningii* ИБ Г-51 приводит к усилению процессов гумификации сластины и в меньшей степени — соломы, что особенно важно в условиях технологии no-till. По влиянию на свойства почвы сочетание сластины с *T. koningii* соизмеримо с навозом.

**Ключевые слова:** биологизация земледелия, агрочернозем, no-till, местные удобрения, славина, *Trichoderma koningii*, ферментативная активность почвы, гумификация, урожайность культур.

Одной из проблем агропочвоведения во всех природно-климатических зонах планеты остается водная и ветровая эрозия почв. Для предотвращения этих процессов и восстановления плодородия почв, наряду с традиционными противоэрозионными технологиями земледелия (1-3) важная роль отводится использованию местных агроруд (4, 5) и удобрений. В качестве основы органоминеральных удобрений можно использовать славину (6, 7), которая в больших количествах образуется при зарастании озер и водохранилищ и требует утилизации после их очистки (патенты

\* Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 17-16-01030 «Динамика почвенной биоты в хроносерийных посттехногенных ландшафтах: анализ почвенно-экологической эффективности процессов восстановления экосистем».

РФ № 2524376 и № 2531167). Приемы биологизации земледелия особенно эффективны в сочетании с почвозащитными обработками, особенно no-till (8-12). При этом улучшаются не только водно-физические, агрохимические, но и биологические свойства почвы — увеличивается микробная биомасса (13, 14), ферментативная активность (15, 16), повышается всхожесть семян (17).

Как известно, при многолетнем использовании технологии no-till происходит накопление медленно разлагающихся растительных остатков (18), деструкция которых в анаэробных условиях может приводить к увеличению фитотоксичности почвы. Для ускорения гумификации остатков целесообразно применять различные виды микроскопических грибов рода *Trichoderma*, что позволяет получать ценное органическое удобрение, обладающее способностью ограничивать развитие болезней (19-21). Использование штаммов *T. harzianum* и *T. viride* при компостировании послеуборочных остатков (соломы риса, пшеницы) способствовало уменьшению отношения С:N и формированию компоста с благоприятным для растений содержанием питательных элементов (22). В этих исследованиях компостирование проводили в специальных условиях — в ямах, компостерах, буртах, что требовало дополнительных затрат на транспортировку и специально отведенных площадей. Гораздо выгоднее было бы проводить этот процесс непосредственно в поле, однако лишь единичные работы посвящены изучению возможности применения микроорганизмов рода *Trichoderma* в полевых условиях. Показано, что внесение *T. reesei* для ускорения разложения соломы в поле способствовало увеличению активности почвенных ферментов и повышению содержания гумуса в почве (23). Использование *T. viride* для обработки полей с сахарным тростником позволило увеличить содержание питательных элементов в почве, активизировать микробное дыхание и повысить урожайность культуры (24). Эти данные свидетельствуют, что различные штаммы рода *Trichoderma* могут достаточное время выживать в естественных условиях и способствовать ускорению разложения растительных остатков, избыточное накопление которых вполне вероятно в климатических условиях Южного Предуралья, однако подобные исследования в регионе не проводились.

Мы впервые изучили эффективность местных удобрений и растительных остатков с добавлением *Trichoderma koningii* Oudem. на фоне почвозащитной обработки слабоэродированного агрочернозема и показали, что внесение культуры микроскопических грибов *T. koningii* ИБ Г-51 усиливает гумификацию сphaвины и в меньшей степени — соломы, что особенно важно в условиях технологии no-till. Сочетание сphaвины с *T. koningii* по влиянию на свойства почвы соизмеримо с навозом.

В задачи настоящей работы входило сравнение влияния удобрений на агрохимические свойства, ферментативную активность почв и урожайность сельскохозяйственных культур при нулевой и классической обработках почвы, а также воздействия микроскопического гриба *Trichoderma koningii* на разложение растительных остатков.

**Методика.** Исследования проводили в Южной лесостепной зоне Республики Башкортостан в течение 3 лет на агрочерноземе глинисто-иллювиальном слабоэродированном. На фоне нулевой (no-till) и классической обработок почвы был заложен мелкоделяночный опыт с однократным внесением по 10 кг удобрений по вариантам: 1-й (контроль, без внесения удобрений); 2-й — сphaвина + (NP)<sub>60</sub>; 3-й — сphaвина + *T. koningii* + (NP)<sub>60</sub>; 4-й — навоз крупного рогатого скота подстилочный; 5-й — солома + (NP)<sub>60</sub>; 6-й — солома + *T. koningii* + (NP)<sub>60</sub>; 7-й — цеолит

(Тузбекское месторождение); 8-й — гумат Na (порошковый препарат из бурого угля, «Башинком», Россия). Площадь делянок составила 4 м<sup>2</sup> (2×2 м), повторность опыта — 3-кратная. Сплавина представляла собой растительную массу (рогоз, камыш, осока), извлеченную при очистке близлежащего пруда. Сплавину измельчали вместе с корнями до фрагментов размером 3-5 см и вносили в почву во влажном состоянии. Солому пшеницы измельчали до таких же размеров. Для ускорения процесса гумификации растительные остатки обрабатывали суспензией микроскопического гриба *T. koningii* ИБ Г-51, выращенного на среде Чапека (2 % сахарозы) в течение 14 сут при 28 °С (штамм был ранее выделен нами из агрочернозема и поддерживается в коллекции микроорганизмов УИБ УФИЦ РАН).

В 2011 году на опытных делянках выращивали мягкую яровую пшеницу (сорт Омская 36), в 2012 году — яровой ячмень (сорт Челябинский 99), в 2013 году — сахарную свеклу (гибрид Маша, ООО «КВС РУС», Россия, селекция фирмы «KWS SAAT SE», Германия).

Обеспеченность влагой в 2011 и 2013 годах была близка к средним многолетним значениям, 2012 год оказался острозасушливым, температура все 3 года соответствовала среднемноголетним значениям.

Почвенные образцы отбирали весной и осенью каждого года из слоев 0-10, 10-20 и 20-30 см. Агрохимические исследования проводили в соответствии с общепринятыми методами: содержание гумуса определяли по Орлову и Гриндель, щелочногидролизуемого азота — по Корнфилду, подвижного фосфора и обменного калия — по Чирикову (25), активность инвертазы — по Щербаковой с окончанием по Самнеру, пероксидазы и полифенолоксидазы — по Карягиной и Михайловой, протеазы и дегидрогеназы — по Галстяну, целлюлазы по Конгу с окончанием по Самнеру, уреазы — по Щербакову (26).

Для статистической обработки полученных результатов использовали пакет программ MS Excel. В таблицах представлены средние значения ( $M$ ) и их стандартные отклонения ( $\pm SEM$ ). Статистическую значимость различий оценивали по наименьшей существенной разности при 5 % уровне значимости ( $НСР_{05}$ ). Влияние агрохимических показателей почвы на ее ферментативную активность оценивали с помощью корреляционного анализа (приведены значения  $r$  при  $p < 0,05$ ).

**Результаты.** Мощность гумусово-аккумулятивного горизонта почвы опытного участка была в среднем на 29 см меньше, чем на близлежащей залежи, что и послужило основанием считать агрочернозем глинисто-иллювиальным слабоэродированным. Внесение навоза и растительных остатков (табл. 1) привело к изменению агрохимических свойств почвы. За 3 года содержание гумуса в пахотном горизонте повысилось, причем не только при обороте пласта, но и в условиях no-till. По сравнению с контролем оно возросло на 3,5-5,6 % на фоне no-till и на 1,8-4,1 — при классической обработке. При этом в динамике содержания гумуса наблюдались разнонаправленные тенденции: при использовании навоза и соломы на 3-й год наблюдалось некоторое снижение этого показателя, в вариантах со славвиной — постепенное повышение. Наиболее заметно это было в верхнем слое (0-10 см) при нулевой обработке. Аналогичные результаты для слоя 0-5 см показаны при использовании растительных остатков (27). В том же слое добавление суспензии *T. koningii* к сплавине способствовало достоверному повышению содержания гумуса по сравнению не только с контролем, но и с вариантом без ее внесения. При добавлении соломы такой эффект был менее выражен.

В целом через 3 года в слое 0-30 см увеличение содержания гумуса

было достоверным во всех вариантах с удобрением (кроме внесения цеолита и гумата натрия) независимо от вида обработки, причем эффективность сплавнины, соломы и навоза оказалась почти одинаковой.

Наряду с гумусовым состоянием, изменилось и содержание питательных элементов. Обеспеченность почвы подвижным фосфором была низкой. При внесении навоза и растительных остатков с добавлением минеральных удобрений на фоне no-till содержание подвижного фосфора за 3 года увеличилось до средней категории, а при классической обработке достоверное увеличение наблюдалось только на варианте с навозом.

### 1. Агрохимические свойства почвы в слое 0-30 см при разных вариантах удобрения в зависимости от технологии обработки (M±SEM, Республика Башкортостан, 2011-2013 годы)

Вариант опыта	Гумус, %	P <sub>подв.</sub> , мг/100 г	K <sub>обм.</sub> , мг/кг	N <sub>щел.</sub> , мг/кг
N o - t i l l				
Контроль	7,53±0,03	4,7±0,1	95,7±0,3	197,4±1,2
Навоз	7,95±0,03	6,8±0,3	127,6±5,0	213,2±2,5
Сплавнина + <i>Trichoderma koningii</i> + (NP) <sub>60</sub>	7,87±0,03	6,3±0,5	126,5±15,0	212,0±3,8
Сплавнина + (NP) <sub>60</sub>	7,77±0,05	5,6±0,3	109,1±4,6	212,6±3,1
Солома + <i>T. koningii</i> + (NP) <sub>60</sub>	7,82±0,03	5,5±0,3	98,8±1,0	209,4±5,3
Солома + (NP) <sub>60</sub>	7,79±0,03	5,3±0,2	97,8±2,1	200,1±5,8
Цеолит	7,59±0,02	4,8±4,6	103,5±0,9	197,2±3,8
Гумат Na	7,66±0,02	5,0±0,2	100,6±5,7	200,6±6,0
В с п а ш к а				
Контроль	7,73±0,01	4,5±0,1	89,1±5,6	204,2±2,4
Навоз	8,04±0,02	6,8±0,4	129,0±2,5	213,1±3,7
Сплавнина + <i>T. koningii</i> + (NP) <sub>60</sub>	8,05±0,03	5,4±0,7	123,1±2,9	206,9±1,6
Сплавнина + (NP) <sub>60</sub>	7,90±0,02	4,8±0,3	105,5±8,1	203,9±3,6
Солома + <i>T. koningii</i> + (NP) <sub>60</sub>	8,00±0,02	4,6±0,2	99,1±2,4	206,2±4,1
Солома + (NP) <sub>60</sub>	7,87±0,02	4,4±0,2	92,9±4,2	205,6±2,8
Цеолит	7,78±0,01	4,6±0,3	89,3±0,4	207,3±2,4
Гумат Na	7,76±0,02	5,6±0,7	98,8±4,4	203,8±5,0
HCP <sub>05</sub>	0,11	1,1	8,2	10,9

В отличие от подвижного фосфора, содержание обменного калия изначально было повышенным (см. табл. 1). Независимо от вида обработки, его достоверное (HCP<sub>05</sub>) увеличение до высокой обеспеченности произошло только при внесении навоза и сплавнины с добавлением (NP)<sub>60</sub> и *T. koningii*. При этом в первом случае количество обменного калия постепенно снижалось в течение опыта, а во втором — возрастало по мере разложения сплавнины. Содержание щелочногидролизуемого азота изменялось в узком диапазоне, и увеличение его количества на 7-8 % по сравнению с контролем наблюдалось только при внесении навоза и сплавнины на фоне нулевой обработки. Это хорошо согласуется с показанным в работе уменьшением потерь подверженных выщелачиванию соединений азота при no-till (28).

### 2. Активность почвенных ферментов в слое 0-10 см по годам исследования при разных вариантах удобрения и технологиях обработки (M±SEM, Республика Башкортостан)

Вариант опыта	Обработка	2011		2012		2013	
		осень	весна	осень	весна	осень	весна
П е р о к с и д а з а , м г б е н з о х и н о н а / г п о ч в ы з а 30 м и н п р и 30 ° С							
1-й	No-till	80,1±2,2	202,4±14,2	208,1±12,0	225,1±8,8	134,5±5,5	115,8±4,8
	Вспашка	83,2±3,1	202,7±10,8	218,6±13,0	188,2±10,2	115,8±4,8	132,6±9,8
2-й	No-till	85,8±3,8	214,7±11,0	236,3±9,5	233,8±14,3	173,3±10,4	132,6±9,8
	Вспашка	109,8±5,1	237,5±15,2	247,4±6,1	210,9±7,2	132,6±9,8	151,1±7,7
3-й	No-till	92,5±3,6	215,9±9,1	228,9±9,7	254,2±7,4	151,1±7,7	150,5±8,3
	Вспашка	98,1±3,8	242,4±8,0	254,8±14,2	209,1±5,7	150,5±8,3	143,7±11,2
4-й	No-till	86,9±1,9	210,4±13,8	208,5±14,5	238,7±9,6	143,7±11,2	125,2±10,8
	Вспашка	88,2±1,9	230,7±14,1	243,1±15,3	204,2±6,7	125,2±10,8	148,0±12,5
5-й	No-till	91,3±2,8	218,9±9,7	243,7±7,2	259,1±13,8	148,0±12,5	167,8±14,7
	Вспашка	99,3±3,0	241,8±15,2	259,7±10,5	257,2±14,5	167,8±14,7	

6-й	No-till	82,6±1,7	214,1±14,0	240,6±8,3	235,7±9,5	136,3±9,7
	Вспашка	85,1±2,0	220,7±13,7	253,5±15,1	214,7±10,0	141,8±11,3
НСР <sub>05</sub>		6,1	25,1	23,2	19,7	12,7
Полифенолоксидаза, мг бензохинона/г почвы за 30 мин при 30 °С						
1-й	No-till	80,0±3,1	101,2±7,8	93,2±4,4	107,6±7,9	90,8±4,2
	Вспашка	88,6±2,8	87,1±5,7	94,7±3,9	93,9±6,5	95,0±5,7
2-й	No-till	95,9±4,5	116,0±8,1	116,1±6,7	134,4±12,5	125,2±9,7
	Вспашка	100,7±5,2	93,5±7,8	109,0±7,9	134,1±11,6	99,7±8,4
3-й	No-till	103,8±6,7	117,4±6,6	105,1±4,7	128,9±8,8	114,8±7,6
	Вспашка	112,4±11,0	94,1±4,2	119,4±10,6	104,4±6,2	117,9±9,2
4-й	No-till	92,5±9,8	106,5±8,8	104,2±9,9	114,8±10,6	109,9±8,6
	Вспашка	91,0±9,8	89,8±10,3	112,7±12,1	95,3±9,7	98,0±6,7
5-й	No-till	91,3±7,4	107,5±7,6	104,4±10,1	109,9±12,4	100,2±3,8
	Вспашка	115,4±12,2	89,1±9,9	105,5±5,7	144,1±15,3	123,9±5,7
6-й	No-till	82,6±5,6	102,4±5,9	96,5±8,2	110,2±8,9	89,8±10,4
	Вспашка	108,3±7,6	86,7±6,2	97,7±8,7	131,9±13,4	101,4±8,8
НСР <sub>05</sub>		7,3	6,8	6,6	9,7	8,1
Инвертаза, мг глюкозы/г почвы за 24 ч						
1-й	No-till	4,8±0,3	19,6±0,9	14,5±1,3	16,0±1,4	2,6±0,7
	Вспашка	5,4±0,3	22,8±1,2	25,5±2,0	23,8±2,5	7,2±0,9
2-й	No-till	6,9±0,5	22,5±1,2	19,8±2,3	16,7±1,9	4,5±0,4
	Вспашка	5,2±0,4	26,9±1,4	29,0±2,5	23,1±2,2	8,3±0,5
3-й	No-till	6,9±0,7	22,9±1,1	22,7±2,9	18,7±1,1	6,4±0,7
	Вспашка	5,0±0,6	24,7±1,6	24,8±1,8	20,2±1,2	6,2±0,7
4-й	No-till	5,8±0,4	21,2±1,0	20,4±1,5	18,3±2,0	2,6±0,3
	Вспашка	5,1±0,7	24,9±0,8	29,4±2,9	22,6±2,5	8,1±0,8
5-й	No-till	6,7±1,0	22,3±1,2	18,6±2,7	21,9±2,8	5,2±0,7
	Вспашка	4,8±0,3	22,3±0,9	26,6±3,3	16,6±2,9	6,1±0,5
6-й	No-till	6,5±0,7	17,9±1,3	18,2±1,5	19,1±1,7	2,5±0,3
	Вспашка	4,8±0,3	19,6±0,9	14,5±1,3	16,0±1,4	2,6±0,7
НСР <sub>05</sub>		0,7	2,1	3,3	2,8	0,5
Протеаза, мг гистидина/г почвы за 24 ч						
1-й	No-till	10,0±1,3	6,3±0,3	7,9±0,8	8,0±0,9	6,5±0,2
	Вспашка	7,6±0,9	4,7±0,8	5,9±0,7	8,5±1,1	4,6±0,3
2-й	No-till	15,8±1,2	8,3±0,4	9,4±0,7	11,5±1,0	10,4±0,8
	Вспашка	15,7±1,2	7,0±0,4	7,7±0,4	11,5±1,0	5,9±0,5
3-й	No-till	15,2±0,8	9,2±1,0	10,9±0,9	11,4±1,0	8,8±0,7
	Вспашка	13,3±0,7	6,2±0,7	8,4±0,8	14,0±1,2	7,1±0,3
4-й	No-till	13,5±0,7	7,3±0,9	8,7±0,8	8,1±0,6	7,4±0,6
	Вспашка	11,3±0,6	5,9±0,5	4,2±0,6	11,7±0,7	5,4±0,2
5-й	No-till	15,4±0,8	10,1±1,1	7,2±0,4	9,2±0,4	6,9±0,2
	Вспашка	13,9±0,7	5,7±0,2	7,5±0,4	10,4±0,6	5,3±0,4
6-й	No-till	11,3±0,5	9,7±0,9	6,3±0,5	9,8±0,3	6,4±0,5
	Вспашка	11,3±0,6	5,8±0,4	5,6±0,3	13,9±0,8	5,1±0,5
НСР <sub>05</sub>		1,1	0,6	0,7	1,0	0,7

Примечание. 1-й вариант — контроль, 2-й — навоз, 3-й — славина + *Trichoderma koningii* + (NP)<sub>60</sub>, 4-й — славина + (NP)<sub>60</sub>, 5-й — солома + *T. koningii* + (NP)<sub>60</sub>, 6-й — солома + (NP)<sub>60</sub>.

На 3-й год опыта растительные остатки морфологически стали неразличимы вследствие их трансформации. Как известно, важную роль в гумификации растительных остатков играют почвенные ферменты (29) и компоненты растительного опада (30). При внесении навоза и растительных остатков, в отличие от вариантов с использованием гумата натрия и цеолита, ферментативная активность почвы была выше, чем в контроле (табл. 2). Динамика активности изученных ферментов оказалась разнонаправленной, что может быть обусловлено, с одной стороны, процессами трансформации органического вещества, с другой — изменением агрофизических свойств почвы. Так, максимальную активность пероксидазы, целлюлазы и инвертазы регистрировали на 2-й год исследований, активность дегидрогеназы последовательно возрастала, а протеазы — снижалась. Динамика активности полифенолоксидазы и уреазы была выражена слабо (данные не приведены). Наиболее тесную корреляционную связь ( $p < 0,05$ ) выявили для протеазы с содержанием подвижного фосфора ( $r = 0,75 \pm 0,12$ ), калия ( $r = 0,69 \pm 0,12$ ) и азота ( $r = 0,53 \pm 0,14$ ), для полифенолоксидазы — с содержанием гумуса ( $r = 0,62 \pm 0,13$ ), калия ( $r = 0,56 \pm 0,14$ ) и азота ( $r = 0,62 \pm 0,13$ ). Для остальных ферментов коэффициенты корреля-

ции, как правило, не превышали 0,4. Добавление суспензии микроскопического гриба *T. koningii* к славине и соломе способствовало росту ферментативной активности почвы, независимо от технологии обработки.

Урожайность сельскохозяйственных культур, выращиваемых в севообороте экспериментального хозяйства, зависела не только от применения удобрений, но и от способов обработки почвы, в значительной степени определяющих содержание влаги. В отличие от навоза и растительных остатков, цеолит и гумат натрия в условиях опыта оказались практически неэффективными (табл. 3). Вероятно, на это повлияло отсутствие орошения (31) и органических удобрений, усиливающих действие цеолита (32), а также форма вносимого гумата натрия (порошок) (33). В 1-й (влажный) год на фоне вспашки урожайность пшеницы была выше, чем в аналогичных вариантах no-till. Очевидно, это обусловлено повышением доступности питательных элементов при добавлении  $(NP)_{60}$  и более быстрой минерализацией органического вещества навоза. При вспашке наибольшую урожайность обеспечивало внесение навоза и соломы, а на фоне no-till — славинны с добавлением суспензии микроскопических грибов. В течение вегетационного периода острозасушливого 2012 года содержание влаги в условиях нулевой обработки было выше, чем при вспашке (30), что и предопределило более высокую урожайность ячменя. В 2013 году урожайность сахарной свеклы при отвальной вспашке была выше, чем при no-till. На этот раз лимитирующим фактором стало повышение плотности почвы (34), к которому сахарная свекла очень чувствительна.

### 3. Урожайность сельскохозяйственных культур при разных вариантах удобрения и технологиях обработки ( $M \pm SEM$ , Республика Башкортостан)

Вариант опыта	Пшеница, г/м <sup>2</sup> (2011 год)		Ячмень, г/м <sup>2</sup> (2012 год)		Сахарная свекла, кг/м <sup>2</sup> (2013 год)	
	вспашка	no-tillage	вспашка	no-tillage	вспашка	no-tillage
1-й	406,8±33,8	283,5±30,5	95,1±6,0	146,8±10,7	2,9±0,3	2,3±0,2
	2000,0±51,7	1950,0±70,6	385,3±12,8	393,3±13,7		
2-й	723±42,1	582,8±49,4	231,3±10,4	254,1±12,3	3,6±0,3	2,6±0,3
	3500,0±52,8	2316,7±120,3	510,0±13,5	783,3±15,1		
3-й	651±43,2	621,4±39,0	165,3±15,4	192,6±13,6	3,9±0,5	2,7±0,2
	3066,7±93,7	2433,3±115,7	471,7±19,3	570,0±22,3		
4-й	425,0±28,6	546±35,7	120,9±9,4	150,3±12,4	3,7±0,3	3,0±0,3
	2900,0±88,3	2733,3±87,4	463,3±12,9	466,7±17,5		
5-й	705,0±48,3	566,4±60,3	115,8±11,6	166,7±13,4	3,6±0,3	2,8±0,3
	3666,7±114,7	2000,0±103,0	483,3±16,4	568,3±23,5		
6-й	686,6±65,0	432±53,6	128,6±11,0	167,2±12,8	3,5±0,2	2,7±0,1
	3566,7±106,8	2483,3±98,3	413,3±14,5	470,0±16,7		
7-й	368±38,9	330±37,1	122,6±16,7	104,9±11,4	2,8±0,4	2,0±0,3
	2466,7±87,5	2250,0±90,3	343,3±20,4	380,2±23,1		
8-й	424,1±39,7	369,8±36,8	125,4±14,6	129,6±14,7	3,0±0,3	2,3±0,2
	3300,0±106,5	2283,3±123,5	383,3±22,7	386,7±19,7		
НСР <sub>05</sub>	43,1		9,2		0,2	
	450,8		57,8			

Примечание. 1-й вариант — контроль, 2-й — навоз, 3-й — славина + *Trichoderma koningii* +  $(NP)_{60}$ , 4-й — славина +  $(NP)_{60}$ , 5-й — солома + *T. koningii* +  $(NP)_{60}$ , 6-й — солома +  $(NP)_{60}$ , 7-й — цеолит, 8-й — гумат Na. Над чертой масса зерен, г/м<sup>2</sup>, под чертой — масса снопа.

Таким образом, в среднем за 3 года исследований урожайность культур при классической обработке была выше, но в острозасушливом 2012 году она оказалась больше на фоне нулевой обработки, когда рентабельность составила 257 % против 116 % на вспашке. Прибавка урожая составила в среднем 40-72 % (навоз — 67 %, славина + *T. koningii* — 47 %, славина — 40 %, солома + *T. koningii* — 72 %, солома — 66 %) при вспашке и 21-38 % (навоз — 32 %, славина + *T. koningii* — 28 %, славина — 36 %, солома + *T. koningii* — 10 %, солома — 26 %) при no-till.

Итак, в условиях Южного Предуралья на агрочерноземе глинисто-иллювиальном слабоэродированном внесение навоза и растительных остат-

ков при вспашке и нулевой обработке почвы способствует повышению содержания гумуса, улучшению питательного режима, увеличению ферментативной активности почвы и урожайности сельскохозяйственных культур. При нулевой обработке изменения агрохимических показателей более выражены в слое 0–10 см, при классической — 0–30 см. Только в засушливых условиях рентабельность удобрений при технологии no-till выше, чем при классической вспашке. Использование культуры микроскопических грибов *Trichoderms koningii* в биологизированных технологиях приводит к усилению процессов гумификации растительных остатков, особенно славяны. По влиянию на свойства почвы это удобрение приближается к варианту с внесением навоза.

<sup>1</sup>ФГБНУ Уфимского федерального исследовательского центра РАН, Уфимский институт биологии,

450054 Россия, г. Уфа, пр. Октября, 69,  
e-mail: gimib@mail.ru, soils@mail.ru, timurgar@gmail.com, mkomis-sarov@list.ru, galnailya@yandex.ru;

<sup>2</sup>Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg,

Germany, 06120, Halle (Saale),  
Von-Seckendorff-Platz 4,  
e-mail: peter.liebelt@geo.unihalle.de;

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет,

199178 Россия, г. Санкт-Петербург, 16-я линия, 29,  
e-mail: e\_abakumov@mail.ru ✉

Поступила в редакцию  
24 января 2018 года

*Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*, 2018, V. 53, № 5, pp. 1004–1012

## THE USE OF LOCAL FERTILIZERS SUPPLEMENTED WITH *Trichoderma koningii* Oudem. AT NO-TILL vs. CONVENTIONAL TILLAGE OF AGROCHERNOZEM IN SOUTHERN URAL

I.M. Gabbasova<sup>1</sup>, R.R. Suleimanov<sup>1</sup>, T.T. Garipov<sup>1</sup>, M.A. Komissarov<sup>1</sup>, L.V. Sidorova<sup>1</sup>,  
N.F. Galimzyanova<sup>1</sup>, P. Liebelt<sup>2</sup>, E.V. Abakumov<sup>3</sup>, G.A. Gimaletdinova<sup>1</sup>, Z.G. Prostyakova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ufa Federal Research Center RAS, Institute of Biology, Federal Agency for Scientific Organizations, 69, pr. Oktyabrya, Ufa, 450054 Russia, e-mail gimib@mail.ru, soils@mail.ru, timurgar@gmail.com, mkomissarov@list.ru, galnailya@yandex.ru;

<sup>2</sup>Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Germany, 06120, Halle (Saale), Von-Seckendorff-Platz 4, e-mail peter.liebelt@geo.unihalle.de;

<sup>3</sup>Saint-Petersburg State University, 29, 16 Liniya, St. Petersburg, 199178 Russia, e-mail e\_abakumov@mail.ru (✉ corresponding author)

ORCID:

Gabbasova I.M. orcid.org/0000-0002-9238-9011

Suleimanov R.R. orcid.org/0000-0002-7754-0406

Garipov T.T. orcid.org/0000-003-4942-8203

Komissarov M.A. orcid.org/0000-0001-6135-7212

Sidorova L.V. orcid.org/0000-0002-1648-1457

The authors declare no conflict of interests

Acknowledgements:

Supported financially by Russian Science Foundation (grant № 17-16-01030 «Dynamics of soil biota in chronoserries of post-technogenic landscapes: analysis of soil-ecological efficiency of ecosystem restoration»)

Received January 24, 2018

doi: 10.15389/agrobiology.2018.5.1004eng

### Abstract

Local agrominerals and fertilizers, including marsh plants, which are the waste from cleaning lakes and reservoirs, have definite prospects in preventing soil erosion and restoring fertility alongside with the traditional anti-erosion technologies. Given this, we studied local fertilizers (manure, zeolite, sodium humate) and plant residues (marsh plants, straw) with the addition of (NP)<sub>60</sub> and suspensions of microscopic fungus *Trichoderma koningii* strain IB G-51 (*T. koningii*) when used at no-till (NT) and conventional tillage (CV) of the weakly eroded Chernozem (Mollisol). The effects were estimated based on the key agrochemical properties (humus content, mobile phosphorus, potassium, and alkaline hydrolyzed nitrogen), assay of activity of soil hydrolases and oxidoreductases and the yield of agricultural crops (spring wheat, barley and sugar beet). A three-year investigation was conducted in the Ural steppe zone. Single application of local fertilizers was shown to promote

increasing in soil humus content, improvement of nutrient regime, and increment of enzymatic activity and crops yields. Thus, the increase of humus content in the 0-30 cm soil layer for 3 years is reliable for both types of tillage except the cases when zeolite and sodium humate were applied. These values increase by 3.5-5.6 % for NT, and by 1.8-4.1 % for CV as compared to the control. The soil phosphorus reserve increases from low to medium level due to manure and crop residues with mineral fertilizers added at no-till, whereas at CV a significant increase is observed due to the manure only. Potassium content elevated significantly, from 32 to 45 %, only at application of manure and marsh plants with the addition of (NP)<sub>60</sub> and *T. koningii*. The content of alkaline hydrolyzed nitrogen varies in a narrow range, and the significant increase is observed only at no-till with manure and marsh plants. Soil enzymatic activity is higher when manure and plant residues are introduced, in contrast to variants with sodium humate and zeolite. Among enzymes, protease and polyphenoloxidase show the closest correlation with agrochemical properties ( $r = 0.53-0.75$ ,  $p < 0.05$ ). The change of agrochemical properties and enzymatic activity of soil is more apparent in 0-10 cm layer under NT and in 0-30 cm layer under CT. The profitability of fertilizers under NT is higher, as compared to CV, only in arid conditions. Biologization of agricultural technology by introduction of the microscopic fungi *T. koningii* IB G-51 causes the faster humification of the marsh plants than the straw that must be especially accounted for at NT. The effect of marsh plants + *T. koningii* on soil properties is commensurate with that of manure.

Keywords: biologization of agriculture, agrochernozem, no-till, local natural fertilizers, marsh plants, *Trichoderma koningii*, soil enzymatic activity, humification, crop yields.

## REFERENCES

1. Bucur D., Jitareanu G., Ailincai C. Effects of long-term soil and crop management on the yield and on the fertility of eroded soil. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 2011, 9(2): 207-209.
2. Klik A., Strohmeier S.M. Reducing soil erosion by using sustainable soil management systems. *Wasservirtschaft*, 2011, 101(9): 20-24.
3. Sun C., Liu G., Xue S. Response of soil multifractal characteristics and erodibility to 15-year fertilization on cropland in the Loess Plateau, China. *Arch. Agron. Soil Sci.*, 2017, 63(7): 956-968 (doi: 10.1080/03650340.2016.1249476).
4. Gagarina E.I., Abakumov E.V. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Seriya 3. Biologiya*, 2003, 1(3): 91-97 (in Russ.).
5. Gabbasova I.M., Suleimanov R.R., Dashkin S.M., Garipov T.T. *Doklady Rossiiskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk*, 2008, 5: 34-37 (in Russ.).
6. Gabbasova I.M., Garipov T.T., Galimzyanova N.F., Suleimanov R.R., Komissarov M.A., Sidorova L.V., Gimaltdinova G.A. *Agrokhimiya*, 2014, 6: 35-42 (in Russ.).
7. Garipov T.T., Gabbasova I.M., Suleimanov R.R., Sidorova L.V., Nazyrova F.I. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*, 2013, 15(3/4): 1250-1253 (in Russ.).
8. Danilova A.A. *Agrokhimiya*, 2013, 11: 45-53 (in Russ.).
9. Korotkikh N.A., Vlasenko N.G., Kastyuchik S.P. *Agrokhimiya*, 2016, 7: 12-18 (in Russ.).
10. Gabbasova I.M., Suleimanov R.R., Khabirov I.K., Komissarov M.A., Garipov T.T., Sidorova L.V., Asylbaev I.G., Rafikov B.V., Yaubasarov R.B. Assessment of the agrochernozem status in the trans-Ural steppe under application of no-till management system. *Russian Agricultural Sciences*, 2015, 41(1): 34-39 (doi: 10.3103/S1068367415010061).
11. Soane B.D., Ball B.C., Arvidsson J., Basch G., Moreno F., Roger-Estrade J. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment. *Soil and Tillage Research*, 2012, 118: 66-87 (doi: 10.1016/j.still.2011.10.015).
12. Himmelbauer M.L., Sobotik M., Loiskandl W. No-tillage farming, soil fertility and maize root growth. *Arch. Agron. Soil Sci.*, 2012, 58(suppl1): S151-S157 (doi: 10.1080/03650340.2012.695867).
13. Kabiri V., Raiesi F., Ghazavi M.A. Tillage effects on soil microbial biomass, SOM mineralization and enzyme activity in a semi-arid Calcixerepts. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 2016, 232: 73-84 (doi: 10.1016/j.agee.2016.07.022).
14. Gorobtsova O.N., Uligova T.S., Tembotov R.Kh., Khakunova E.M. Assessment of biological activity in agrogenic and natural chernozems of Kabardino-Balkaria. *Eurasian Soil Sc.*, 2017, 50(5): 589-596 (doi: 10.1134/S1064229317030048).
15. Li S., Zheng X., Yuan D., Zhang J., He Q., Lv W., Tao X. Effects of biological tillage on physicochemical properties and soil enzyme activity and growth and quality of *Brassica oleracea* var. *italica*. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2012, 20(8): 1018-1023 (doi: 10.3724/SP.J.1011.2012.01018).
16. Majchrzak L., Sawinska Z., Natywa M., Skrzypczak G., Głowicka-Wołoszyn R. Impact of different tillage systems on soil dehydrogenase activity and spring wheat infection. *J. Agr. Sci. Tech.*, 2016, 18: 1871-1881.
17. Park J.N., Lim J.E., Lee S.S., Jeong S.H., Lee B.M., Ok Y.S. Effects of tillage and no-till practices with green manure on soil carbon. *Journal of Agricultural, Life and Environmental Sci-*



- ence, 2013, 25(3): 39-43.
18. Vaitauskiene K., Šarauskius E., Naujokiene V., Liakas V. The influence of free-living nitrogen-fixing bacteria on the mechanical characteristics of different plant residues under no-till and strip-till conditions. *Soil and Tillage Research*, 2015, 154: 91-102 (doi: 10.1016/j.still.2015.06.007).
  19. Chen L., Yang X., Raza W., Luo J., Zhang F., Shen Q. Solid-state fermentation of agro-industrial wastes to produce bioorganic fertilizer for the biocontrol of Fusarium wilt of cucumber in continuously cropped soil. *Bioresource Technol.*, 2011, 102(4): 3900-3910 (doi: 10.1016/j.biortech.2010.11.126).
  20. Huang X., Chen L., Ran W., Shen Q., Yang X. *Trichoderma harzianum* strain SQR-T37 and its bio-organic fertilizer could control *Rhizoctonia solani* damping-off disease in cucumber seedlings mainly by the mycoparasitism. *Appl. Microbiol. Biot.*, 2011, 91(3): 741-55 (doi: 10.1007/s00253-011-3259-6).
  21. Chen L., Huang X., Zhang F., Zhao D., Yang X., Shen Q. Application of *Trichoderma harzianum* SQR-T037 bio-organic fertiliser significantly controls Fusarium wilt and affects the microbial communities of continuously cropped soil of cucumber. *J. Sci. Food Agr.*, 2012, 92(12): 2465-2470 (doi: 10.1002/jsfa.5653).
  22. Sharma B.L., Singh S.P., Sharma M.L. Bio-degradation of crop residues by *Trichoderma* species vis-a-vis nutrient quality of the prepared compost. *Sugar Tech.*, 2012, 14(2): 174-180 (doi: 10.1007/s12355-011-0125-x).
  23. Gaiind S., Nain L. Chemical and biological properties of wheat soil in response to paddy straw incorporation and its biodegradation by fungal inoculants. *Biodegradation*, 2007, 18(4): 495-503 (doi: 10.1007/s10532-006-9082-6).
  24. Yadav R.L., Shukla S.K., Suman A., Singh P.N. *Trichoderma* inoculation and trash management effects on soil microbial biomass, soil respiration, nutrient uptake and yield of ratoon sugarcane under subtropical conditions. *Biol. Fert. Soils*, 2009, 45: 461-468 (doi: 10.1007/s00374-009-0352-4).
  25. Arinushkina E.B. *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv* [Soil chemical analysis guide]. Moscow, 1970 (in Russ.).
  26. Khaziev F.Kh. *Metody pochvennoi enzimologii* [Methods of soil enzymology]. Moscow, 2005 (in Russ.).
  27. Marshall C.B., Lynch D.H. No-till green manure termination influences soil organic carbon distribution and dynamics. *Agron. J.*, 2018, 110(5): 2098-2106 (doi: 10.2134/agronj2018.01.0063).
  28. Angle J.S., Gross C.M., Hill R.L., McIntosh M.S. Soil nitrate concentrations under corn as affected by tillage, manure, and fertilizer applications. *Journal of Environmental Quality*, 1993, 22(1): 141-147 (doi: 10.2134/jeq1993.00472425002200010018x).
  29. Larionova A.A., Maltseva A.N., Lopes de Gerenyu V.O., Kvitkina A.K., Bykhovets S.S., Zolotareva B.N., Kudryarov V.N. Effect of temperature and moisture on the mineralization and humification of leaf litter in a model incubation experiment. *Eurasian Soil Sc.*, 2017, 50(4): 422-431 (doi: 10.1134/S1064229317020089).
  30. Abakumov E.V., Maksimova E.Yu., Lagoda E.I., Koptseva E.M. Soil formation in the quarries for the limestone and clay production in the Ukhta. *Eurasian Soil Sc.*, 2011, 44: 380-385 (doi: 10.1134/S1064229311040028).
  31. Ozbahce A., Tari A.F., Gonulal E., Simsekli N. Zeolite for enhancing yield and quality of potatoes cultivated under water-deficit conditions. *Potato Res.*, 2018, 61(3): 247-259 (doi: 10.1007/s11540-018-9372-5).
  32. Türkmen A., Kütük Y. Effects of chemical fertilizer, algae compost and zeolite on green bean yield. *Turk. J. Agric. Food Sci. Technol.*, 2017, 5(3): 289-293 (doi: 10.24925/turjaf.v5i3.289-293.977).
  33. Kováčik P., Žofajová A., Šimanský V., Halászová K. Spring barley yield parameters after lignite, sodium humate and nitrogen utilization. *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*, 2016, 62(3): 80-89 (doi: 10.1515/agri-2016-0009).
  34. Liebelt P., Frühauf M., Suleimanov R.R., Komissarov M.A., Yumaguzhina D.R., Galimova R.G. Causes, consequences and opportunities of the post-Soviet land use changes in the forest-steppe zone of Bashkortostan. *GEOÖKO*, 2015, XXXVI: 77-111.