

УДК 631.45:631.427:631.8

## ИЗМЕНЕНИЕ ПЛОДОРОДИЯ ЧЕРНОЗЕМНОЙ ПОЧВЫ И ПРОДУКТИВНОСТИ ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ ПРИЁМОВ БИОЛОГИЗАЦИИ И СРЕДСТВ ХИМИЗАЦИИ

<sup>1,2</sup>Воронкова Н.А., <sup>2</sup>Храмцов И.Ф., <sup>2</sup>Тукмачева Е.В., <sup>2</sup>Комаров С.Г.,  
<sup>2</sup>Дороненко В.Д., <sup>2,3</sup>Волкова В.А., <sup>2,3</sup>Цыганова Н.А.

<sup>1</sup>Омский государственный технический университет, Омск, e-mail: voronkova.67@bk.ru;

<sup>2</sup>ФГБНУ «Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства», Омск, e-mail: sibniish@bk.ru;

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина», Омск, e-mail: duxa21@mail.ru

Исследования проводились в длительных стационарных опытах на чернозёмной почве в южной лесостепи Западной Сибири. Установлено, что использование приёмов биологизации (введение в севооборот многолетних бобовых трав (50 % от площади), ежегодное внесение навоза, соломы, в дозе соответствующей урожаю культуры) способствовало увеличению содержания лабильного органического вещества и нитратного азота, запасов продуктивной влаги в почве и более экономному влагопотреблению, что обеспечило повышение продуктивности сельскохозяйственных культур и экологическую безопасность агроценозов. При введении в севооборот бобового компонента (люцерны) сформировался положительный баланс азота в почве с интенсивностью 119 %, доля биологического азота в приходной статье баланса при этом составила в среднем 82 %. В зернопаровом севообороте (пар – пшеница – соя – пшеница – ячмень), к примеру, баланс азота отрицательный (–28 кг/га) с интенсивностью 66 %. Урожайность пшеницы, высеваемой по пласту люцерны, на 22 % выше, в сравнении с урожайностью этой же культуры, высеваемой по чистому пару. Систематическое применение органоминеральной системы удобрений (N<sub>15</sub>P<sub>23</sub> на гектар севооборотной площади в комплексе с соломой) в зернотравяном севообороте стабилизировало содержание гумуса в почве, запасы лабильного органического вещества возросли на 0,27–0,48 т/га в сравнении с неудобренным фоном. Применение биологизированной системы удобрений увеличило запасы продуктивной влаги в почве на 11–13 %, обеспеченность растений нитратным азотом на 18–24 % и численность агрономически полезной микрофлоры на 71 %. Продуктивность зернотравяного севооборота на этом фоне возросла на 32 % в сравнении с вариантом без удобрений, окупаемость минеральных удобрений при этом составила – 18,4 кг зерновых единиц.

**Ключевые слова:** плодородие почвы, минеральные и органические удобрения, многолетние бобовые травы, биогенные элементы, гумус, биологическая активность почвы, агроценоз, продуктивность

## CHANGE OF FERTILITY CHERNOZEM SOIL AND PRODUCTIVITY OF FIELD CROPS WITH LONG-TERM USED OF THE TECHNIQUES OF BIOLOGICAL AND CHEMICAL PRODUCTS

<sup>1,2</sup>Voronkova N.A., <sup>2</sup>Khramtsov I.F., <sup>2</sup>Tukmacheva E.V., <sup>2</sup>Komarov S.G.,  
<sup>2</sup>Doronenko V.D., <sup>2,3</sup>Volkova V.A., <sup>2,3</sup>Tsyganova N.A.

<sup>1</sup>Omsk State Polytechnic University, Omsk, e-mail: voronkova.67@bk.ru;

<sup>2</sup>Siberian Scientific Research Institute of Agriculture, Omsk, e-mail: sibniish@bk.ru;

<sup>3</sup>Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, e-mail: duxa21@mail.ru

The studies were conducted in long-term stationary experiments on chernozem soil in the southern forest-steppe of Western Siberia. It was established that the use of biologization techniques (introduction into the crop rotation of perennial legumes (50 % of the area), the annual application of manure and straw, at a dose equivalent to the culture harvest) contributed to an increase in the content of labile organic matter and nitrate nitrogen, productive moisture reserves in the soil and more economical water consumption, ensuring increased productivity of crops and environmental safety of agrocenosis. The use of legumes component (alfalfa) in crop rotation formed a positive nitrogen balance in the soil with the intensity of 119 %, the proportion of biological nitrogen in the balance sheet thus amounted to an average of 82 %. In grain-fallow crop rotation (black fallow–wheat–soybeans–wheat–barley), for example, nitrogen balance was negative (–28 kg/ha) with an intensity of 66 %. The yield of wheat sown on a layer of alfalfa was on 22 % higher compared to the yield of the same culture, sown on a black fallow. Systematic application of organic-mineral system of fertilizers in grain-grass crop rotation (N<sub>15</sub>P<sub>23</sub> per hectare of crop rotation area in the complex with a straw) stabilized the humus content in the soil, the reserves of labile organic matter had increased by 0,27–0,48 t/ha compared to unfertilized variants. The use of bio-fertilizers system had increased productive moisture reserves in the soil by 11–13 %, the supply of plants nitrate nitrogen – by 18–24 % and the number of agronomically useful microorganisms – by 71 %. The productivity of grain-grass crop rotation had increased by 32 % in comparison with variant without fertilizers, the recouperment of mineral fertilizers amounted to 18,4 kg of grain unit.

**Keywords:** soil fertility, mineral and organic fertilizers, perennial legume grasses, biogenic elements, humus, biological activity of soil, agrocenosis, efficiency

Решение проблемы повышения урожайности и улучшения качества продукции в лесостепной зоне Западной Сибири неразрывно связано с необходимостью оптимизации питания растений,

с помощью применения удобрений, а также с изучением направленности и основных приемов по управлению продукционным процессом в системе «почва – растение – удобрение» [3, 7, 8, 9].

Научные исследования и практика ведения земледелия свидетельствуют о том, что для повышения продуктивности пашни необходимо расширить круговорот биогенных элементов, улучшить агрофизические и биологические свойства почвы. Это можно сделать на основе высокой культуры земледелия, путём научно обоснованного применения удобрительных средств в севооборотах и комплекса агротехнических мероприятий, направленных на расширенное воспроизводство почвенного плодородия почвы [3, 4, 8].

Следует отметить, что большую ценность представляют научные результаты, полученные в длительных стационарных полевых опытах, так как информация, полученная в них, позволяет изучить действие и последствие изучаемых факторов на плодородие почвы и на продукционный процесс отдельных культур и севооборотов в целом. Особую актуальность в этой связи приобретают вопросы, связанные с изучением длительного применения минеральных удобрений в комплексе с приёмами биологизации на плодородие почвы, продуктивность сельскохозяйственных культур.

#### Материалы и методы исследований

Исследования проводились в 2009–2011 гг. на опытном поле лаборатории агрохимии ГНУ СибНИИСХ в южной лесостепной зоне Западной Сибири в стационарных опытах, заложенных на основе шестипольного зерноотравного (1986 г. закладки) и пятипольного зернопарового (1987 г. закладки) севооборотов. Чередование культур в севооборотах: люцерна 3-х лет использования – пшеница – пшеница – овес и пар – пшеница – соя – пшеница – ячмень соответственно. Севообороты развернуты во времени и в пространстве.

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный тяжелосуглинистый, исходное содержание подвижного фосфора среднее, обменного калия – очень высокое, величина рНсол – 6,7 близкая к нейтральной.

Схемы опытов представлены в табл. 1 и 2. Общая площадь делянок 160–200 м<sup>2</sup>, учетная 36,0–51,2 м<sup>2</sup>. Размещение делянок систематическое, повторность вариантов – 4-кратная. В качестве удобрения использовали Наа, АФ и Кх. Фосфорные удобрения вносили весной до посева локально, сеялкой на глубину 6–8 см, аммиачную селитру и хлористый калий – вразброс под предпосевную культивацию. Подстиличный полуперепревший навоз (60 т/га) вносили осенью после уборки замыкающей культуры (овса) один раз за ротацию. Солому зерновых культур измельчали при уборке и оставляли в поле в количестве, соответствующем ее урожаю.

Погодные условия за период исследований были различные. В 2009 году за вегетационный период выпало 404 мм осадков при средней температуре воздуха – 15,9°C при норме 197 мм и  $t = 16,2^\circ\text{C}$ . Прохладная погода и влажные условия года спровоцировали

распространение болезней, вторичное отрастание сорной растительности и в целом удлинение вегетационного периода, что отразилось на урожайности с.-х. культур. Вегетационный период 2010 года характеризовался резкими перепадами температур воздуха в сочетании с недобором осадков более чем на 40%, ГТК составила – 0,55, отмечены явные проявления почвенной засухи. В 2011 году недобор осадков в сочетании с повышенной (на 0,3–1,7°C выше нормы) температурой воздуха отмечался в первой половине вегетации. В июле – августе увлажнение было более благоприятным (119–121% осадков при ГТК 1,28–1,44). В итоге за вегетацию количество осадков и температура воздуха были почти близки к норме (203 мм и 16,2°C).

Во всех полевых опытах применялась традиционная технология возделывания зерновых, кормовых и зернобобовых культур и соответствующая серийная почвообрабатывающая и посевная техника. Высевали районированные сорта сельскохозяйственных культур.

Анализ почвы проводили стандартными агрохимическими методами [1]. Численность микроорганизмов учитывали на твердых питательных средах, согласно общепринятым методикам [2]. Результаты исследований обработаны статистическим методом дисперсионного и корреляционного анализов по Б.А. Доспехову [6].

#### Результаты исследований и их обсуждение

В условиях засушливого земледелия оптимизация водного режима представляется весьма сложной проблемой. Поиск путей более полного и рационального использования выпадающих осадков в условиях интенсификации земледелия имеет особую актуальность. В системе севооборотов запасы продуктивной влаги в почве дифференцировались в зависимости не только от предшественников, но и вида и дозы удобрений. Весенние запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы, после люцерны летнего срока распашки, соответствовали хорошей обеспеченности (159 мм) и не уступали черному пару. На фонах длительного применения минеральных удобрений влагонакопление было значительно выше в сравнении с неудобренными вариантами, так как использование удобрений обеспечивает не только получение высоких урожаев, но и дополнительное поступление в почву органического вещества в виде пожнивных остатков, опада, что в свою очередь улучшает физические свойства и водный режим почвы. За счет ежегодного внесения измельченной соломы (в среднем 2,0 т/га севооборотной площади) в севообороте запасы продуктивной влаги в почве увеличивались на 6–12 мм. Наилучшие агрогидрологические условия складывались при органоминеральной системе удобрений, предусматривающей комплексное применение соломы

и минеральных удобрений ( $N_{10-15}P_{17-23}$  + солома), влагозапасы при этом увеличиваются на 11–13 % в сравнении с вариантом без удобрений.

В системе зернопарового севооборота длительное применение минеральных удобрений обеспечивает более экономный расход почвенной влаги, коэффициент водопотребления зерновых культур в этих вариантах на 11–17% ниже, чем в варианте без удобрений (табл. 1).

Использование соломы снижает коэффициент водопотребления сельскохозяйственных культур на 8–11 мм, за счет мульчирующего эффекта и улучшения агрофизических свойств почвы.

Исследования органического вещества почвы показали, что в севообороте, где 50% площади пашни занимают многолетние бобовые травы, содержание гумуса существенно не изменилось по сравнению с исходным (табл. 2). Действие минеральных удобрений на гумусообразование проявилось, начиная

с первой ротации севооборота, прирост новообразованного органического вещества отмечался после каждой ротации и зависел от дозы минеральных удобрений.

Исследованиями установлено, что внесение навоза в зерноотрадном севообороте является одним из значимых приёмов увеличения гумуса в почве. После третьей ротации севооборота содержание гумуса в варианте внесения навоза возросло на 0,26% в сравнении с исходным содержанием. Наибольший прирост гумуса был получен в варианте  $N_{15}P_{23}$  + навоз, после третьей ротации севооборота содержание гумуса увеличилось в сравнении с исходным на 0,41%. Действие соломы на гумусовый режим почвы при внесении её в норму, не превышающей 2,0 т/га, несущественно. Применение соломы с минеральными удобрениями существенных изменений в накоплении гумуса в сравнении с вариантами внесения только минеральных удобрений не обеспечивало.

**Таблица 1**

Влияние минеральных удобрений и соломы на водопотребление культур зернопарового севооборота, мм/т зерна (2009–2011 гг.)

Внесено удобрений на 1 га севооборотной площади, кг д.в.	Пшеница по пару	Ячмень
Без удобрений	149	165
$N_{12}P_{18}$	133	141
$N_{17}P_{34}$	136	137
$N_{30}P_{54}K_{18}$	128	135
Без соломы	136	144
*Внесение соломы	128	135

Примечание. \*норма соломы – 3,0 т/га.

**Таблица 2**

Содержание и запасы гумуса в слое почвы 0–20 см после третьей ротации зерноотрадного севооборота в зависимости от минеральных удобрений, навоза и соломы (2003–2008 гг.)

Вариант	Гумус, %	Запасы гумуса, т/га	Отклонение ±, %	
			от исходного	от контроля
Без удобрений	6,77	148,9	0,04	–
Солома	6,78	149,2	0,03	0,01
Навоз (10 т/га)	6,96	153,1	0,26	0,19
$N_{10}P_{17}$	6,83	150,3	0,15	0,06
$N_{10}P_{17}$ + солома	6,90	151,8	0,17	0,13
$N_{10}P_{17}$ + навоз (10т/га)	7,04	154,9	0,29	0,27
$N_{15}P_{23}$	6,99	153,8	0,22	0,22
$N_{15}P_{23}$ + солома	6,94	152,3	0,16	0,17
$N_{15}P_{23}$ + навоз (10т/га)	7,18	158,0	0,41	0,41
НСР <sub>05</sub>			0,17	0,16

Обеспеченность растений доступным азотом на черноземных почвах Западной Сибири оценивается по содержанию нитратного азота в слое 0–40 см [4, 7]. Хорошие условия по обеспеченности растений азотным питанием складывались по предшественнику люцерна, летнего срока распашки. На естественном фоне запасы  $N-NO_3$  составили 106–138 кг/га, за счет обогащения почвы биологическим азотом растительных остатков люцерны. При введении в севооборот бобового компонента (50% люцерны) баланс азота положительный (21 кг/га) с интенсивностью 119%, при этом в приходной статье баланса доля

биологического азота составляет в среднем около 82% (рис. 1). Тогда как в зернопаровом севообороте складывается отрицательный баланс азота (–28 кг/га) с интенсивностью 66%.

Лабильное органическое вещество почвы, которое сравнительно легко подвергается деструкции почвенными микроорганизмами, в немалой степени предопределяет питательный режим почвы растений [9]. Количество лабильного органического вещества (мортмассы) в почве после люцерны в варианте без удобрений было на 0,27 т/га или 43% выше, чем в этом же варианте по чистому пару (табл. 3).

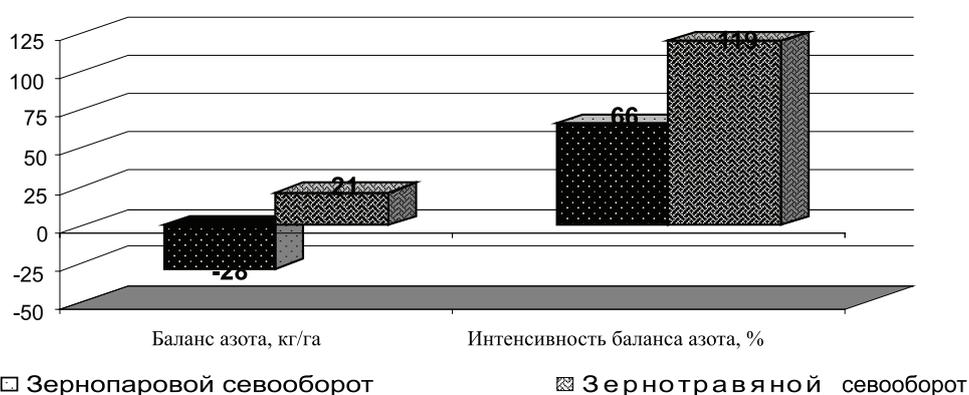


Рис. 1. Баланс (кг/га) и интенсивность баланса (%) азота в зависимости от севооборота

Таблица 3

Запасы мортмассы в слое 0–25 см в зависимости от предшественника и применения удобрений в севооборотах, т/га (2009–2010 гг.)

Доза минеральных удобрений, кг/га	Солома	Запасы мортмассы	Прибавка
<i>Зернотравяной севооборот</i>			
Без удобрений	$C_0$	0,89	–
	$C_1$	1,00	0,11
$N_{10}P_{17}$	$C_0$	1,12	0,23
	$C_1$	1,25	0,36
$N_{15}P_{23}$	$C_0$	1,21	0,32
	$C_1$	1,37	0,48
<i>Зернопаровой севооборот</i>			
Без удобрений	$C_0$	0,62	–
	$C_1$	0,76	0,14
$НСР_{05}$			0,10

Примечание.  $C_0$  – без соломы;  $C_1$  – с соломой.

Систематическое применение соломы увеличивает количество легкоразлагаемого органического вещества в почве на 12–22 %. Наибольшие запасы мортмассы (1,25–1,37 т/га) накапливаются при использовании органоминеральной системы удобрений (NP + солома). При этом обеспеченность растений нитратным азотом в этих вариантах увеличилась до 43 %.

Сложившееся плодородие по фосфору в севооборотах является результатом систематического применения фосфорсодержащих удобрений. Следует отметить, что исходное содержание подвижного фосфора (105–123 мг/кг) после трёх ротаций севооборота существенно не изменилось. Из органических удобрений (навоз, солома), применяемых в зернотравяном севообороте, только при систематическом использовании навоза в дозе 10 т/га севооборотной площади отмечался прирост подвижного фосфора 35 мг/кг почвы или 34 % (в среднем). Обеспеченность обменным калием культурных растений после трех ротаций севооборотов была высокой (более 180 мг/кг) и значимых закономерностей в изменении данного биогенного элемента не установлено.

Микробиологический мониторинг состояния почвы свидетельствует, что возделывание люцерны в севообороте интенсифицирует процесс нитрификации, численность нитрифицирующих бактерий в зернотравяном севообороте на 33 % больше, чем в зернопаровом агроценозе. А при систематическом внесении соломы отмечается положительная направленность увеличения численности сапрофит-

ных бактерий (на 18 %), разлагающих органические соединения азота (на МПА), и фосфатмобилизующих бактерий (на 12 %) (табл. 4).

Интенсивность микробиологических процессов в почве значительно возрастает в результате комплексного применения минеральных удобрений и соломы ( $N_{15}P_{23} + C_1$ ), при этом увеличивается численность бактерий на МПА на 73 %, олигонитрофилов на 77 %, фосфатмобилизующих бактерий на 78 % и нитрификаторов на 56 % в сравнении с вариантом без удобрений. Коэффициент трансформации органических соединений (Пм) в этом варианте наиболее высокий – 97.

Интегральным показателем эффективности удобрительных средств и приёмов является продуктивность агроценоза. Исследования показали, что включение в севооборот люцерны способствует формированию урожайности пшеницы на уровне – 2,99 т/га зерна, что на 22 % выше, чем возделывание этой же культуры по чистому пару. Систематическое внесение соломы в комплексе с минеральными удобрениями ( $N_{15}P_{23}$  на га/севооборотной площади) обеспечивает продуктивность севооборота на уровне – 2,87 т/га зерн. ед., что на 0,70 т/га или 32 % выше, чем в варианте без удобрений. Окупаемость одного килограмма удобрений составила – 18,4 кг зерна.

### Выводы

1. В условиях южной лесостепи Западной Сибири на черноземных почвах включение в севооборот многолетних бобовых

**Таблица 4**  
Влияние длительного применения удобрений на биологическую активность чернозема выщелоченного под пшеницей, слой 0–20 см, (2009–2011 гг.)

Показатель биологической активности почвы	$C_0$	$C_1$	$N_{10}P_{17} + C_1$	$N_{15}P_{23} + C_1$
Численность микроорганизмов, КОЕ/г – бактерии на МПА, млн.	25,7	30,2	28,2	44,5
– микроорганизмы на КАА, млн	28,8	26,0	26,7	37,8
– олигонитрофилы, млн	108,8	96,0	11,6	192,7
– фосфатмобилизующие, млн	77,4	87,0	63,7	137,6
– целлюлозоразрушающие, тыс.	41,7	27,4	34,8	38,6
– нитрификаторы, тыс.	3,8	3,4	3,5	5,3
– грибы, тыс.	38,2	28,6	27,8	92,0
– общее количество микроорганизмов, млн	240,8	239,1	230,4	412,7
КАА/МПА	1,12	0,86	0,95	0,85
Пм (МПА + КАА×МПА/КАА)	49	65	58	97
Нитрификационная способность, мг/кг	14,6	19,4	16,3	19,4

Примечание.  $C_0$  – вариант без соломы;  $C_1$  – вариант с соломой.

трав (люцерны до 50 %) стабилизирует содержание гумуса, повышает запасы мортмассы на 0,48 т/га, содержание нитратного азота, численность агрономически полезной микрофлоры в почве и увеличивает производство зерна более чем на 20 % при одновременном повышении его качества.

2. Длительное применение органоминеральных систем удобрений в севооборотах способствует увеличению запасов продуктивной влаги в почве на 11–13 %, содержанию гумуса на 0,16–0,41 %, лабильного органического вещества на 0,36–0,48 т/га, обеспеченности растений нитратным азотом на 18–24 % и интенсивности биологических процессов в почве.

3. Применение органоминеральных систем удобрений, сочетающих внесение соломы и минеральных удобрений ( $N_{15}P_{23}$ ), обеспечивает увеличение продуктивности севооборота на 32 % и окупаемости (18,4 кг зер. ед.) минеральных удобрений.

### Список литературы

1. Агрохимические методы исследования почв // АН СССР и др. – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Наука, 1975. – 494 с.
2. Большой практикум по микробиологии / Т.Е. Аристовская и др. – М.: Высшая школа, 1962. – 490 с.
3. Воронкова Н.А. Биологические ресурсы и их значение в сохранении почвенного плодородия и повышении продуктивности агроценозов Западной Сибири: монография. Минобрнауки России, ОмГТУ. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2014. – 188 с.
4. Гамзиков Г.П. Азот в земледелии Западной Сибири. – М.: Наука, 1981. – 266 с.
5. Гамзиков Г.П., Завалин А.А. Проблемы азота в земледелии // Плодородие. – 2006. – № 5. – С. 64.
6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Агрхимиздат, 1985. – 351 с.
7. Коновалов Н.Д., Коновалов С.Н. Ресурсы биологизации земледелия и их использование // Аграрная наука. – 2000 – № 8. – С. 9–12.
8. Кочергин А.Е. Условия питания зерновых культур азотом, фосфором и калием и применение удобрений на черноземах Западной Сибири: автореф. дис. ... д-ра. с.-х. наук: – М., 1965 – 40 с.
9. Шарков И.Н. Влияние пожнивных остатков на состав органического вещества чернозема выщелоченного в лесостепи Западной Сибири / И.Н. Шарков и др. // Почвоведение. – 2014. – № 4. – С. 473.