

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО  
(СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ)

Научная статья

УДК 631.45:631.153.3:651.95

DOI: 10.53914/issn2071-2243\_2022\_3\_41

Влияние приемов биологизации на плодородие  
черноземных почв ЦЧРАнатолий Владимирович Дедов<sup>1✉</sup>, Марина Анатольевна Несмеянова<sup>2</sup><sup>1,2</sup>Воронежский государственный аграрный университет имени Петра I, Воронеж, Россия<sup>1</sup>dedov050@mail.ru✉

**Аннотация.** Для изучения длительного влияния различных приемов повышения плодородия почвы сотрудниками Воронежского ГАУ в 1985 г. был заложен многофакторный стационарный опыт, в рамках которого в четырехпольном севообороте изучалось различное сочетание минеральных и органических удобрений и их доз. Установлено, что наибольшие потери гумуса в пахотном слое почвы за 8 ротаций зерно-пропашного севооборота (34 года) были на неудобренном контроле. В 2019 г. на этом варианте было 3 т/га растительных остатков, что на 0,78% ниже, чем в 1986 г. Замена занятого пара на сидеральный увеличила массу растительных остатков в 2 раза, что позволило получить положительный баланс гумуса. Показано, что на производство основной продукции в стационарном опыте затрачивалось от 13,0 до 29,7 ГДж/га техногенной энергии на фоне занятого пара и от 12,9 до 29,5 ГДж/га – на фоне сидерального пара. Увеличение затрат энергии с 13,0 до 29,7 ГДж/га характеризовалось пропорциональным возрастанием энергии основной продукции. При затратах техногенной энергии более 26–30 ГДж/га их окупаемость снижалась и составляла менее двух единиц. Для сохранения плодородия черноземов и получения бездефицитного баланса органического вещества необходимо использовать комплекс приемов биологизации (вносить навоз, запахивать солому, высевать сидераты в пару и пожнивно) на фоне внесения минеральных удобрений от NPK(100) до NPK(350). При этом масса растительных остатков увеличивалась на фоне занятого пара от 4 до 11 т/га, что обеспечивало прирост гумуса от 4,2 до 4,38%. На фоне сидерального пара содержание растительных остатков увеличивалось от 6 до 18 т/га, а гумуса – от 4,2 до 4,47%. Внесение минеральных удобрений от 100 до 350 кг/га увеличивало затраты техногенной энергии при снижении коэффициента энергетической эффективности.

**Ключевые слова:** чернозем, плодородие, гумус, приемы биологизации, растительные остатки, энергетическая эффективность

**Для цитирования:** Дедов А.В., Несмеянова М.А. Влияние приемов биологизации на плодородие черноземных почв ЦЧР // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15, № 3(74). С. 41–50. [https://doi.org/10.53914/issn2071-2243\\_2022\\_3\\_41](https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_3_41)–50.

GENERAL SOIL MANAGEMENT AND  
CROP SCIENCE (AGRICULTURAL SCIENCES)

Original article

Influence of biologization techniques on the fertility  
of chernozem soils of the Central Chernozem RegionAnatoliy V. Dedov<sup>1✉</sup>, Marina A. Nesmeyanova<sup>2</sup><sup>1,2</sup>Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia<sup>1</sup>dedov050@mail.ru✉

**Abstract.** The authors present the results of the multifactorial stationary experiment laid in 1985 on the territory of Voronezh State Agrarian University aimed at investigating long-term effect of various methods of increasing soil fertility, more specifically different combinations of mineral and organic fertilizers and their doses in a four-field crop rotation. It was found that the greatest losses of humus in the surface soil during 8 rotations of the grain-row crop rotation (34 years) were without application of fertilizers (control variant). In 2019, 3 t/ha of plant residues were registered by the authors, which is by 0.78% lower than in 1986. Substitution of the sown fallow by green-manured one increased the mass of plant residues by 2 times, which made it possible to obtain a positive balance of humus. It is defined that from 13.0 to 29.7 GJ/ha of technogenic energy was expended for yield production in the experiment on the background of the sown fallow and from 12.9 to 29.5 GJ/ha on the background of green-manure application. The increase in energy expenditure from 13.0 to 29.7 GJ/ha was characterized by a proportional increase in the output of the main products. With man-made energy expenditure of more than 26-30 GJ/ha, its economic return decreased and amounted to less than two units. To preserve the fertility of chernozem soils and to obtain a deficit-free balance of organic matter, it is necessary to apply a set of biologization techniques (add manure to soil, plough up straw into the soil, sow green manure as fallow and postharvest crop) against the background of mineral fertilizers from NPK(100) to NPK(350). At the same time, the mass of plant residues increased against the background of the sown fallow from 4 to 11 t/ha, which provided an increase in humus content from 4.2 to 4.38%. Against the

background of green-manured fallow, the mass of plant residues and humus content increased from 6 to 18 t/ha and from 4.2 to 4.47%, respectively. Application of mineral fertilizers from 100 to 350 kg/ha increased man-made energy expenditure alongside a decrease in the energy efficiency coefficient.

**Keywords:** chernozem soil, fertility, humus, biologization techniques, plant residues, energy efficiency

**For citation:** Dedov A.V., Nesmeyanova M.A. Influence of biologization techniques on the fertility of chernozem soils of the Central Chernozem Region. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2022;15(3):41-50. (In Russ.). [https://doi.org/10.53914/issn2071-2243\\_2022\\_3\\_41-50](https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_3_41-50).

**В**ажным условием применения на практике той или иной системы земледелия является ее способность обеспечивать воспроизводство плодородия почвы. Но, к сожалению, стоит констатировать, что в настоящее время практически все технологии интенсивного земледелия сопровождаются ухудшением его основных показателей. Особенно сильно данное негативное явление проявляется в условиях нарушенных структур посевных площадей, в основном при их перенасыщении пропашными культурами (подсолнечником, сахарной свеклой, кукурузой на зерно). Отрицательное влияние на основные показатели почвенного плодородия оказывает и чистый пар, который на фоне общего снижения занимаемых площадей в некоторых хозяйствах существенно превышает рекомендуемый долевого порог.

Разработка рациональной структуры посевных площадей должна находиться в тесной взаимосвязи с технологиями возделывания отдельных сельскохозяйственных культур, нацеленными не только на получение высоких урожаев хорошего качества, но и на сохранение и повышение плодородия почвы. Одним из направлений, обеспечивающих снижение процессов деградации черноземов, является использование дешевых и доступных источников органического вещества в севооборотах, к числу которых в первую очередь должны быть отнесены растительные остатки возделываемых культур, пожнивная и парозанимающая сидерация, используемые как самостоятельные приемы, а также в сочетании с различными факторами интенсификации, такими как минеральные удобрения и приемы основной обработки почвы [7, 10, 11, 14, 18].

**Цель исследования** – установить степень и характер изменения показателей плодородия чернозема выщелоченного в длительном многофакторном стационарном опыте при использовании приемов биологизации.

#### **Условия, материалы и методы**

Для изучения длительного влияния различных приемов повышения плодородия почвы сотрудниками факультета агрономии, агрохимии и экологии Воронежского ГАУ в 1985 г. был заложен многофакторный стационарный опыт, основной целью которого являлось определение оптимального сочетания биологических, экологических и техногенных приемов повышения плодородия черноземных почв.

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный, среднесиловой, тяжелосуглинистый – имеет следующие характеристики:

- содержание гумуса в пахотном слое – 4,2–4,4%;
- гидролитическая кислотность – 4 мг-экв/100 г почвы;
- насыщенность основаниями – 85%;
- $pH_{\text{сол}}$  – 6,3;
- содержание подвижного фосфора (по Чирикову) – 6,8–13,0 мг/100 г почвы;
- содержание обменного калия (по Масловой) – 16–28 мг/100 г абсолютно сухой почвы.

В рамках опыта в четырехпольном севообороте изучалось различное сочетание минеральных и органических удобрений и их доз. Исследования, результаты которых приведены в данной статье, выполняли на первых восьми вариантах представленной ниже схемы опыта на фоне занятого и сидерального паров в севообороте пар (занятый, сидеральный) – озимая пшеница – сахарная свекла – ячмень.

Схема опыта.

1. Пар занятый (ПЗ) – контроль. Минеральные удобрения вносили весной в подкормку озимой пшеницы – N30 кг/га д.в. (далее по тексту сокращенно – ПЗ).

2. ПЗ + внесение минеральных удобрений под озимую пшеницу – NPK(100), под пропашные культуры – NPK(100) + 40 т/га навоза (Н) + пожнивный посев горчицы сарептской (*Brassica juncea*) на зеленое удобрение после уборки озимой пшеницы (ПП) + биологический урожай соломы озимой пшеницы – 5–7 т/га (С<sub>п</sub>) (ПЗ + NPK(200) + Н + ПП + С<sub>п</sub>).

3. ПЗ + внесение минеральных удобрений под озимую пшеницу – NPK(100), под пропашные культуры – NPK(100) + Н + С<sub>к</sub> (ПЗ + NPK(200) + Н + ПП + С<sub>к</sub>).

4. ПЗ + NPK(50), под озимую пшеницу – NPK(100), пропашные культуры – NPK(200) + С<sub>к</sub> + двойная доза соломы озимой пшеницы (2С<sub>оп</sub>) (ПЗ + NPK(350) + ПП + С<sub>к</sub> + 2С<sub>оп</sub>).

5. ПЗ + внесение минеральных удобрений под озимую пшеницу – NPK(50), пропашные культуры – NPK(50) + С<sub>к</sub> + С<sub>оп</sub> (ПЗ + NPK(100) + ПП + С<sub>к</sub> + С<sub>оп</sub>).

6. ПЗ + внесение минеральных удобрений под озимую пшеницу – NPK(100), пропашные культуры – NPK(100) + С<sub>к</sub> + С<sub>оп</sub> (ПЗ + NPK(200) + ПП + С<sub>к</sub> + С<sub>оп</sub>).

7. Внесение минеральных удобрений в занятый пар – NPK(50), под озимую пшеницу – NPK(100), пропашные культуры – NPK(150) + С<sub>к</sub> + С<sub>оп</sub> (ПЗ + NPK(300) + ПП + С<sub>к</sub> + С<sub>оп</sub>).

8. Внесение минеральных удобрений в занятый пар – N<sub>50</sub>P<sub>50</sub>K<sub>50</sub>, под озимую пшеницу – N<sub>100</sub>P<sub>100</sub>K<sub>100</sub>, пропашные культуры – N<sub>200</sub>P<sub>200</sub>K<sub>200</sub> + С<sub>к</sub> + С<sub>оп</sub> (ПЗ + NPK(350) + ПП + С<sub>к</sub> + С<sub>оп</sub>).

11. Пар сидеральный (СП) – озимая вико-ржаная смесь, контроль, минеральные удобрения вносились в ранневесеннюю подкормку озимой пшеницы N30 (СП).

12. СП + заплата биологического урожая соломы ячменя на удобрение (С<sub>я</sub>), внесение минеральных удобрений под озимую пшеницу – NPK(100), под пропашные культуры – NPK(100) и 40 т/га навоза + пожнивный посев горчицы сарептской (*Brassica juncea*) на зеленое удобрение после озимой пшеницы (С<sub>уд</sub>) + биологический урожай соломы озимой пшеницы – 5–7 т/га (С<sub>оп</sub>) (СП + NPK(200) + Н + ПП + С<sub>оп</sub>).

13. СП + С<sub>я</sub>, внесение минеральных удобрений под озимую пшеницу – NPK(100), под пропашные культуры – NPK(100) + 40 т/га навоза + С<sub>уд</sub> (СП + С<sub>я</sub> + NPK(200) + Н + ПП + С<sub>уд</sub>).

14. СП + NPK(50) + С<sub>я</sub>, под озимую пшеницу – NPK(100), пропашные культуры – NPK(200) + С<sub>уд</sub> + 2С<sub>оп</sub> (СП + С<sub>я</sub> + NPK(350) + ПП + С<sub>уд</sub> + 2С<sub>оп</sub>).

15. СП + С<sub>я</sub>, внесение минеральных удобрений под озимую пшеницу и пропашные культуры – NPK(50) + С<sub>уд</sub> + С<sub>оп</sub> (СП + С<sub>я</sub> + NPK(100) + ПП + С<sub>уд</sub> + С<sub>оп</sub>).

16. СП + С<sub>я</sub>, внесение минеральных удобрений под озимую пшеницу – NPK(100), пропашные культуры – NPK(100) + С<sub>уд</sub> + С<sub>оп</sub> (СП + С<sub>я</sub> + NPK(200) + ПП + С<sub>уд</sub> + С<sub>оп</sub>).

17. СП + С<sub>я</sub> + NPK(50), под озимую пшеницу – NPK(100), пропашные культуры – NPK(150) + С<sub>уд</sub> + С<sub>оп</sub> (СП + С<sub>я</sub> + NPK(300) + ПП + С<sub>уд</sub> + С<sub>оп</sub>).

18. СП + С<sub>я</sub> + N<sub>50</sub>P<sub>50</sub>K<sub>50</sub>, под озимую пшеницу – N<sub>100</sub>P<sub>100</sub>K<sub>100</sub>, пропашные культуры – N<sub>200</sub>P<sub>200</sub>K<sub>200</sub> + С<sub>уд</sub> + С<sub>оп</sub> (СП + С<sub>я</sub> + NPK(350) + ПП + С<sub>уд</sub> + С<sub>оп</sub>).

Размещение вариантов в стационарном опыте рендомизированное, повторность трехкратная. Севообороты представлены всеми полями в пространстве. Общая площадь делянок 440 м<sup>2</sup>, учетная площадь делянки 120 м<sup>2</sup>.

Анализ почвы и растений проводили по общепринятым методикам [3, 9, 15, 17].

Для определения содержания общего гумуса в почве использовали метод И.В. Тюрина в модификации В.Н. Симакова (окисление проводили по методу Б.А. Никитина) [1].

Образцы почвы для определения массы растительных остатков отбирали буром ( $d = 12$  см) по слоям почвы 0–10, 10–20, 20–30 см и отмывали вручную на ситах с диаметром отверстий 0,25 мм [6, 19].

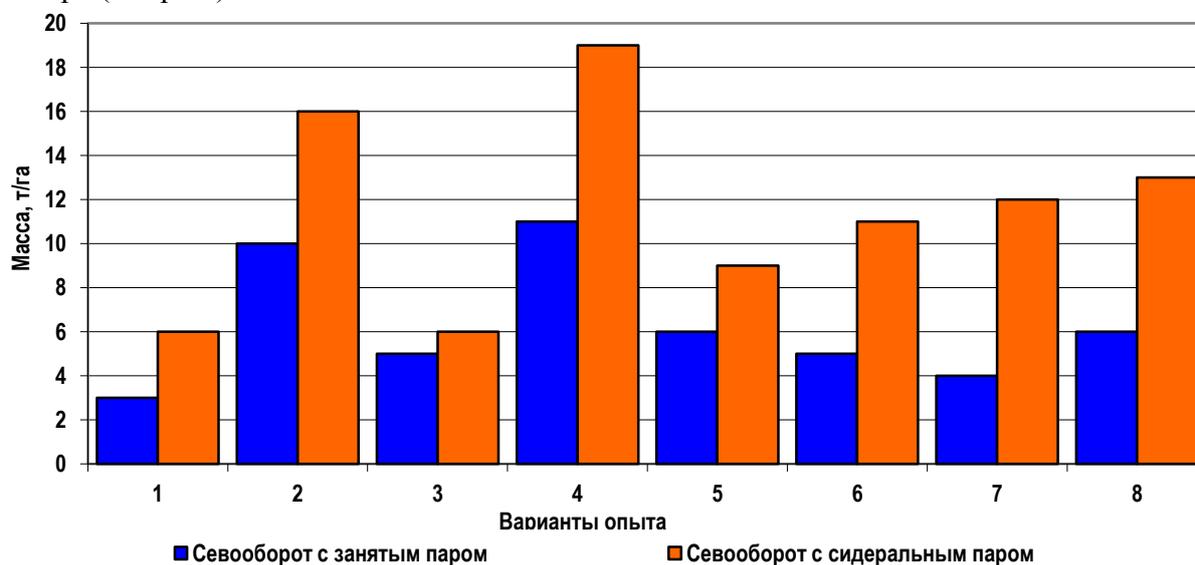
При расчете энергетической эффективности изучаемых приемов использовали разработки Всероссийского научно-исследовательского института земледелия и защиты почв от эрозии (ВНИИЗиЗПЭ) [3], Воронежского ГАУ [8, 12].

Технология возделывания культур в опыте была общепринятой для лесостепной зоны Воронежской области [13].

Гидротермические условия в период исследований (1986–2019 гг.) были различными: 10 лет были влажными (ГТК от 1,3–1,6), 14 лет – недостаточно увлажненными (ГТК от 1,0–1,3) и 10 лет – засушливыми (ГТК менее 1,0).

### Результаты и их обсуждение

Существенное влияние на формирование основных показателей почвенного плодородия оказывает масса содержащихся в почве растительных остатков, которая, как было установлено, зависела не только от набора культур в севообороте, но и от вида пара (см. рис.).



Масса растительных остатков в различных севооборотах в пахотном слое чернозема выщелоченного (2019 г.):

1. Пар (контроль, без удобрений); 2. Пар + NPK(200) + Н + ПП + С<sub>п</sub>;
3. Пар + NPK(200) + Н + ПП + С<sub>к</sub>; 4. Пар + NPK(350) + ПП + С<sub>к</sub> + 2С<sub>оп</sub>;
5. Пар + NPK(100) + ПП + С<sub>к</sub> + С<sub>оп</sub>; 6. ПЗ + NPK(200) + ПП + С<sub>к</sub> + С<sub>оп</sub>;
7. ПЗ + NPK(300) + ПП + С<sub>к</sub> + С<sub>оп</sub>; 8. ПЗ + NPK(350) + ПП + С<sub>к</sub> + С<sub>оп</sub>

Установлено, что за 8 ротаций изучаемого севооборота (за 34 года) наименьшая масса растительных остатков в пахотном слое почвы была получена в зернопропашном севообороте на неудобренном контроле (занятый пар – вариант 1), где в 2019 г. масса растительных остатков составила 3 т/га, что и послужило причиной достоверного снижения (на 0,78%) содержания гумуса в почве по сравнению с 1986 г. Замена занятого пара на сидеральный увеличивала массу растительных остатков в почве практически в 2 раза, что и обеспечило в рассматриваемом периоде формирование на данном варианте положительного баланса гумуса (табл. 1).

Внесение 200 кг/га минеральных удобрений на фоне соломы, навоза и пожнивного посева (вариант 2) обеспечило накопление в пахотном слое почвы 10 т/га растительных остатков и увеличение массы гумуса за этот период на фоне занятого пара с 4,25 до 4,32% (прибавка 0,07%). На фоне сидерального пара за этот же период поступало 16 т/га растительных остатков, а содержание гумуса достоверно увеличилось уже на 0,23% (с 4,21 до 4,44%).

Таблица 1. Влияние длительного применения приемов биологизации на содержание гумуса в пахотном слое чернозема выщелоченного

Вариант опыта	Содержание гумуса по Тюрину по годам, %						
	1986	1994	1999	2009	2013	2019	+, – к исходному
1. Пар (контроль, без удобрений)	4,21	3,89	3,62	3,51	3,46	3,43	-0,78
	4,19	4,23	4,25	4,28	4,25	4,20	+0,01
2. Пар + NPK(200) + Н + ПП + С <sub>п</sub>	4,25	4,05	4,21	4,29	4,30	4,32	+0,07
	4,21	4,15	4,37	4,43	4,45	4,44	+0,23
3. Пар + NPK(200) + Н + ПП + С <sub>к</sub>	4,25	4,20	4,24	4,22	4,25	4,26	+0,01
	4,16	4,22	4,32	4,36	4,37	4,36	+0,20
4. Пар + NPK(350) + ПП + С <sub>к</sub> + 2С <sub>оп</sub>	4,21	4,18	4,30	4,35	4,38	4,36	+0,15
	4,10	4,20	4,46	4,58	4,61	4,60	+0,50
5. Пар + NPK(100) + ПП + С <sub>к</sub> + С <sub>оп</sub>	4,26	4,12	4,27	4,32	4,35	4,38	+0,12
	4,08	4,15	4,33	4,43	4,48	4,46	+0,36
6. Пар + NPK(200) + ПП + С <sub>к</sub> + С <sub>оп</sub>	4,18	4,20	4,27	4,35	4,36	4,35	+0,17
	4,17	4,13	4,25	4,41	4,45	4,47	+0,30
7. Пар + NPK(300) + ПП + С <sub>к</sub> + С <sub>оп</sub>	4,29	4,12	4,10	4,16	4,21	4,20	-0,09
	4,13	4,15	4,27	4,37	4,39	4,37	+0,24
8. Пар + NPK(350) + ПП + С <sub>к</sub> + С <sub>оп</sub>	4,16	4,24	4,22	4,29	4,31	4,30	+0,14
	4,17	4,20	4,28	4,32	4,37	4,36	+0,19
НСР <sub>05</sub>	0,10	0,10	0,17	0,11	0,13	0,10	

Примечание: числитель – на фоне занятого пара, знаменатель – на фоне сидерального пара;

Пар – занятый (сидеральный) пар, Н – навоз, С – солома, ПП – пожнивной посев.

Совместное использование на удобрение навоза и пожнивного посева на фоне занятого пара (вариант 3) привело к уменьшению массы растительных остатков в почве до 5 т/га, и тем не менее в почве был сформирован бездефицитный баланс гумуса (4,26%). Аналогично другим вариантам, замена занятого пара на сидеральный способствовала увеличению массы растительных остатков до 6 т/га, а гумуса – с 4,16 до 4,36% (прибавка составила 0,21%).

При внесении в почву в качестве удобрения двойной нормы соломы (вариант 4) на фоне пожнивного посева и NPK(350) в севообороте с занятым паром масса растительных остатков увеличилась до 11 т/га, а в севообороте с сидеральным паром – до 19 т/га. Сохранилась тенденция увеличения массы гумуса по сравнению с исходным его количеством: соответственно на 0,15% (с 4,21 до 4,36%) и 0,50% (с 4,10 до 4,60%).

При совместном использовании соломы, пожнивного сидерата и минеральных удобрений в дозе NPK(100) (вариант 5) в почве было накоплено 6 т/га растительных остатков в занятом пару и 9 т/га – в сидеральном. На варианте сидерального пара масса гумуса увеличивалась на 0,36% (с 4,08 до 4,46%), тогда как на варианте занятого пара данный показатель составлял только 0,12%, т. е. содержание гумуса здесь увеличилось с 4,26 до 4,38%.

Повышение дозы минеральных удобрений со 100 до 200 кг/га (вариант 6) на фоне совместного использования соломы и пожнивного сидерата способствовало увеличению массы растительных остатков в занятом пару до 5 т/га, что обусловило прирост гумуса на 0,17%. В сидеральном пару на этом фоне масса остатков увеличивалась до 11 т/га, а содержание гумуса на 0,30%.

Сравнительно невысокое содержание в почве растительных остатков было характерно для варианта использования соломы и пожнивного сидерата с минеральными удобрениями в дозе NPK(300) (вариант 7): в занятом пару – 4 т/га, в сидеральном – 11 т/га. Все это привело к тому, что на варианте занятого пара содержание гумуса уменьшилось на 0,09%, а на варианте сидерального пара – увеличилось на 0,24%.

Комплексное использование соломы и пожнивного сидерата с минеральными удобрениями в дозе NPK(350) (вариант 8) на фоне занятого пара способствовало увеличению массы растительных остатков до 6 т/га и содержания гумуса – на 0,14%. На фоне сидерального пара масса остатков увеличивалась до 13 т/га, а содержание гумуса – на 0,19%.

Возделывание сельскохозяйственных культур в условиях высокой механизации и развитой интенсификации сопровождается потреблением значительного количества техногенной энергии. По оценкам некоторых ученых [2, 4, 8, 17], доля агропромышленного комплекса в энергобюджете различных стран составляет от 5 до 28–40%. Необходимость все возрастающего увеличения производства сельскохозяйственной продукции вынуждает вкладывать в сельское хозяйство с каждым годом все больше и больше энергии, хотя рост производства сельскохозяйственной продукции далеко не всегда адекватен затратам энергии. Каждое последующее вложение техногенной энергии в сельскохозяйственное производство окупается, как правило, все меньшей прибавкой энергии, связанной в биомассе урожая [11, 20].

Бесспорно, стремление сельхозпроизводителей получать все более и более высокие урожаи понятно, но нельзя забывать о том, что любое увеличение продуктивности посевов за счет дополнительной энергии должно быть неразрывно связано с одновременным сохранением плодородия почвы. Агроценоз, представляя собой сложную, характеризующуюся многосторонними связями, систему, должен обладать способностью не только формировать высокую продуктивность, но и в процессе функционирования восстанавливать основные свойства почвы, запасать энергию в органическом веществе, сохраняя и увеличивая его содержание как основу почвенного плодородия [5, 16, 21].

Анализ энергоемкости производства, с одной стороны, дает возможность определить менее энергоемкие технологические приемы и рациональные технологии возделывания, а с другой стороны, позволяет хозяйствам соизмерять свои возможности в отношении посевных площадей и имеющихся энергетических ресурсов, а также давать относительную оценку эффективности отдельных технологий [12].

Согласно проведенным расчетам, минимальные продуктивность культур и затраты техногенной энергии были характерны для неудобренных вариантов (табл. 2).

При таком использовании пашни единица затраченной техногенной энергии на вариантах занятого и сидерального паров окупалась соответственно 4,4 и 5,0 ед. энергии, связанной в биомассе свекловичных севооборотов. Кроме того, как мы уже отмечали, на этом варианте за время исследований были самые большие потери гумуса. Такая технология возделывания культур бесперспективна, так как она не обеспечивает необходимого уровня производства продукции и ведет к усиленной деградации плодородия почвы. При обеспечении бездефицитного баланса гумуса техногенные затраты на вариантах занятого и сидерального паров увеличивались соответственно на 5,3 и 4,5 Гдж/га, поэтому коэффициент энергетической эффективности снижался до 3,1 и 3,7.

При внесении 200 кг/га минеральных удобрений на фоне соломы, навоза и пожнивного посева (вариант 2) затраты техногенной энергии на фоне занятого пара составили 29,7 Гдж/га, а на фоне сидерального – 29,5 Гдж/га. При таких затратах энергии коэффициент энергетической эффективности по сравнению с контролем снижался соответственно до 2,5 и 2,7. Так как на данном варианте изучаемые приемы способствовали формированию бездефицитного баланса гумуса, то техногенные затраты снижались на вариантах занятого и сидерального паров соответственно на 3,5 и 2,5 Гдж/га, а коэффициент энергетической эффективности увеличивался до 2,8 и 2,9.

На варианте использования навоза и пожнивного посева на удобрение (вариант 3) затраты техногенной энергии на фоне занятого пара достигали 25,5 Гдж/га, а на фоне

сидерального – 25,9 Гдж/га. При таких затратах энергии коэффициент энергетической эффективности снижался по сравнению с контролем соответственно до 2,8 и 3,1. При учете бездефицитного баланса гумуса техногенные затраты на варианте занятого и сидерального паров увеличивались соответственно на 2,9 и 1,7 Гдж/га, а коэффициент энергетической эффективности снижался до 2,5 и 2,9.

**Таблица 2. Эффективность затрат энергии при длительном применении приемов биологизации (1986–2019 гг.)**

Вариант	Затраты техногенной энергии, Гдж/га		Выход энергии с урожаем основной продукции, Гдж/га	Коэффициент энергетической эффективности	
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>		K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>
1. Пар (контроль, без удобрений)	<u>13,1</u> 12,9	<u>18,4</u> 17,4	<u>57,2</u> 64,5	<u>4,4</u> 5,0	<u>3,1</u> 3,7
2. Пар + NPK(200) + Н + ПП + C <sub>п</sub>	<u>29,7</u> 29,5	<u>26,2</u> 27,0	<u>73,6</u> 78,5	<u>2,5</u> 2,7	<u>2,8</u> 2,9
3. Пар + NPK(200) + Н + ПП + C <sub>к</sub>	<u>25,5</u> 25,9	<u>28,4</u> 27,6	<u>72,5</u> 79,2	<u>2,8</u> 3,1	<u>2,5</u> 2,9
4. Пар + NPK(350) + ПП + C <sub>к</sub> + 2C <sub>оп</sub>	<u>26,4</u> 26,7	<u>22,3</u> 21,0	<u>69,4</u> 69,4	<u>2,9</u> 2,6	<u>3,1</u> 3,3
5. Пар + NPK(100) + ПП + C <sub>к</sub> + C <sub>оп</sub>	<u>17,8</u> 17,2	<u>24,8</u> 22,7	<u>74,6</u> 72,7	<u>4,2</u> 4,2	<u>3,0</u> 3,2
6. Пар + NPK(200) + ПП + C <sub>к</sub> + C <sub>оп</sub>	<u>23,3</u> 22,3	<u>34,1</u> 33,1	<u>75,1</u> 82,7	<u>3,2</u> 3,7	<u>2,2</u> 2,5
7. Пар + NPK(300) + ПП + C <sub>к</sub> + C <sub>оп</sub>	<u>25,2</u> 25,1	<u>34,4</u> 30,5	<u>72,4</u> 73,2	<u>2,9</u> 2,9	<u>2,1</u> 2,4
8. Пар + NPK(350) + ПП + C <sub>к</sub> + C <sub>оп</sub>	<u>25,9</u> 26,2	<u>32,4</u> 29,8	<u>66,5</u> 74,6	<u>2,6</u> 2,8	<u>2,1</u> 2,5

Примечание: K<sub>1</sub> и T<sub>1</sub>, K<sub>2</sub> и T<sub>2</sub> – без учета и с учетом бездефицитного баланса гумуса; числитель – севообороты с занятым паром, знаменатель – севообороты с сидеральным паром.

При внесении двойной нормы соломы на удобрение (вариант 4) на фоне пожнивного посева и NPK(350) затраты техногенной энергии на фоне занятого пара составляли 26,4 Гдж/га, а на фоне сидерального – 26,7 Гдж/га. При таких затратах энергии коэффициент энергетической эффективности снижался по сравнению с контролем соответственно до 2,9 и 2,6. На этом варианте баланс гумуса был бездефицитным, поэтому техногенные затраты на вариантах занятого и сидерального паров снижались соответственно на 4,1 и 5,7 Гдж/га, а коэффициент энергетической эффективности увеличивался до 3,1 и 3,3.

На варианте совместного использования соломы и пожнивного сидерата с минеральными удобрениями в дозе NPK(100) (вариант 5) затраты техногенной энергии были минимальными: на фоне занятого пара – 17,8 Гдж/га и на фоне сидерального – 17,2 Гдж/га. При таких затратах энергии коэффициент энергетической эффективности снижался по сравнению с контролем соответственно до 4,2. При обеспечении бездефицитного баланса гумуса техногенные затраты на вариантах занятого пара увеличивались соответственно на 7,0 и 5,5 Гдж/га, а коэффициент энергетической эффективности снижался до 3,0 и 3,2.

При повышении дозы минеральных удобрений со 100 до 200 кг/га (вариант 6) на фоне совместного использования соломы и пожнивного сидерата затраты техногенной энергии на фоне занятого пара достигали 23,3 Гдж/га, а на фоне сидерального – 22,3 Гдж/га. При таких затратах энергии коэффициент энергетической эффективности снижался по сравнению с контролем соответственно до 3,2 и 3,7. При обеспечении бездефицитного баланса гумуса техногенные затраты на вариантах занятого и сидерального паров увеличивались соответственно на 10,8 и 11,9 Гдж/га, а коэффициент энергетической эффективности снижался до 2,2 и 2,5.

При использовании соломы и пожнивного сидерата с минеральными удобрениями в дозе 300 кг/га (вариант 7) затраты техногенной энергии на фоне занятого пара составляли 25,2 ГДж/га, а на фоне сидерального – 25,1 ГДж/га. При таких затратах энергии коэффициент энергетической эффективности снижался по сравнению с контролем соответственно до 2,9. При обеспечении бездефицитного баланса гумуса техногенные затраты на вариантах занятого и сидерального паров увеличивались соответственно на 9,2 и 5,4 ГДж/га, а коэффициент энергетической эффективности снижался до 2,1 и 2,4.

При комплексном использовании соломы и пожнивного сидерата с минеральными удобрениями в дозе 350 кг/га (вариант 8) затраты техногенной энергии на фоне занятого пара составляли 25,9 ГДж/га, а на фоне сидерального – 26,2 ГДж/га. При таких затратах энергии коэффициент энергетической эффективности снижался по сравнению с контролем соответственно до 2,6 и 2,8. При обеспечении бездефицитного баланса гумуса техногенные затраты на вариантах занятого и сидерального паров увеличивались соответственно на 6,5 и 3,6 ГДж/га, поэтому коэффициент энергетической эффективности снижался соответственно до 2,1 и 2,5.

### **Выводы**

1. Наибольшие потери гумуса в пахотном слое почвы за 8 ротаций зернопашного севооборота (34 года) были на неудобренном контроле. В 2019 г. на этом варианте было 3 т/га растительных остатков, поэтому содержание гумуса по сравнению с 1986 г. снизилось на 0,78%. Замена занятого пара на сидеральный увеличила массу растительных остатков в 2 раза, что позволило получить положительный баланс гумуса.

2. Для сохранения плодородия черноземов и получения бездефицитного баланса органического вещества необходимо использовать комплекс приемов биологизации (вносить навоз, запахивать солому, использовать сидераты в пару и пожнивно) на фоне внесения минеральных удобрений от НРК(100) до НРК(350). При этом масса растительных остатков увеличивалась на фоне занятого пара от 4 до 11 т/га, что обеспечивало прирост гумуса от 4,2 до 4,38%. На фоне сидерального пара содержание растительных остатков увеличивалось от 6 до 18 т/га, а гумуса – от 4,2 до 4,47%.

3. На производство основной продукции в стационарном опыте затрачивается от 13,0 до 29,7 ГДж/га техногенной энергии на фоне занятого пара и от 12,9 до 29,5 ГДж/га – на фоне сидерального пара.

Увеличение затрат энергии с 13,0 до 29,7 ГДж/га характеризовалось пропорциональным возрастанием энергии основной продукции (окупаемость единицы затрат – 2,3–2,6). При затратах техногенной энергии более 26–30 ГДж/га окупаемость затрат техногенной энергии снижалась и составляла менее двух единиц.

4. Наиболее рациональное вложение затрат энергии было на варианте 5 (Пар + НРК(100) + ПП +  $C_k$  +  $C_{оп}$ ) на фоне занятого и сидерального паров: коэффициент энергетической эффективности – 4,2.

Внесение минеральных удобрений от 100 до 350 кг/га увеличивало затраты техногенной энергии при снижении коэффициента энергетической эффективности.

**Список источников**

1. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв; 2-е изд. перераб. и доп. Москва: Изд-во Московского университета, 1970. 487 с.
2. Баздырев Г.И., Лошаков В.Г., Пупонин А.И. и др. Земледелие: учебник. Москва: Колос, 2000. 549 с.
3. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв: учебное пособие; 3-е изд., перераб. и доп. Москва: Агропромиздат, 1986. 416 с.
4. Володин В.М. Агробιοэнергетика – новое научное направление // Земледелие. 1992. № 9–10. С. 2–4.
5. Гасанова Е.С., Кожокина А.Н., Мязин Н.Г. и др. Изменение показателей ППК и гумусного состояния чернозема выщелоченного при многолетнем внесении удобрений и известковании // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2018. Т. 11, № 4(59). С. 13–21. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2018.4.3.
6. ГОСТ 28168-89 Почвы. Отбор проб. Москва : ИПК Изд-во стандартов, 1989. 6 с.
7. Дедов А.В., Несмеянова М.А. Рекомендации по комплексному использованию приемов биологизации на фоне различных способов обработки почвы. Воронеж: ФГБОУ Воронежский ГАУ, 2018. 38 с.
8. Дедов А.В., Трофимова Т.А., Коржов С.И. Оценка севооборотов: учебное пособие. Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2016. 102 с.
9. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований); 5-е изд., доп. и перераб. Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.
10. Жученко А.А. Адаптивное растениеводство. Кишинев: Штиинца, 1990. 432 с.
11. Коржов С.И. Биологические процессы и плодородие чернозема выщелоченного ЦЧЗ при внесении соломы и сидератов: автореферат дис. ... канд. с.-х. наук. Воронеж, 1994. 21 с.
12. Коржов С.И., Трофимова Т.А., Маслов В.А. Оценка различных способов использования черноземов // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2011. № 3. С. 27–29.
13. Коржов С.И., Трофимова Т.А., Маслов В.А., Пичугин А.П. Обработка почвы в ЦЧР: учебное пособие. Воронеж: ФГОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2010. 199 с.
14. Лопырев М.И., Постолов В.Д., Дедов А.В. и др. Каталог проектов агроландшафтов и земледелие (сохранение плодородия, территориальная организация систем земледелия, устойчивость к изменению климата); под ред. Лопырева М.И. Воронеж: Полиарт, 2010. 164 с.
15. Минеев В.Г., Сычев В.Г., Амелянчик О.А. Практикум по агрохимии. Москва: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
16. Муха В.Д., Лазарев В.И. Изменение физико-химических свойств чернозема типичного при его длительном сельскохозяйственном использовании // Агрохимия. 2003. № 1. С. 5–7.
17. Орлов Д.С. Химия почв: учебник. Москва: Изд-во Московского университета, 1985. 376 с.
18. Семькин В.А., Картамышев Н.И., Мальцев В.Ф., Дедов А.В. и др. Биологизация земледелия в основных земледельческих регионах России: учебное пособие; под ред. Н.И. Картамышева. Москва: КолосС, 2012. 470 с.
19. Станков Н.З. Корневая система полевых культур. Москва: Колос, 1964. 280 с.
20. Стекольников К.Е. Органическое земледелие в России – благо или катастрофа? // Биосфера. 2020. Т. 12, № 1–2. С. 53–62. DOI: 10.24855/BIOSFERA.V12I1.537.
21. Турусов В.И., Новичихин А.М., Гармашов В.М., Гаврилова С.А. Изменение потенциального плодородия чернозема при различных способах основной обработки почвы // Земледелие. 2013. № 7. С. 12–14.

**References**

1. Arinushkina E.V. Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv; 2-e izd., pererab. i dop. [Manual on chemical analysis of soils; 2<sup>nd</sup> edition, revised and enlarged]. Moscow: Moscow State University Press; 1970. 487 p. (In Russ.).
2. Bazdyrev G.I., Loshakov V.G., Puponin A.I. et al. Zemledelie: uchebnik [Arable Farming: a textbook]. Moscow: Kolos; 2000. 5549 p. (In Russ.).
3. Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv: uchebnoe posobie; 3-e izd., pererab. i dop. [Methods of investigation of physical properties of soils: study guide; 3<sup>rd</sup> edition revised and enlarged]. Moscow: Agropromizdat; 1986. 416 p. (In Russ.).
4. Volodin V.M. Agrobioenergetika – novoe nauchnoe napravlenie [Agrobioenergetics is a new scientific direction]. *Zemledelie = Zemledelie*. 1992;9-10:2-4. (In Russ.).
5. Gasanova E.S., Kozhokina A.N., Myazin N.G. et al. Izmenenie pokazatelej PPK i gumusnogo sostoyaniya chernozema vyshchelochennogo pri mnogoletnem vneseanii udobrenij i izvestkovanii [Changes in the parameters of soil adsorption complex and humus state of leached chernozem under the conditions of the long-term application of fertilizers and lime treatment]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2018;11(4):13-21. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2018.4.3. (In Russ.).
6. ГОСТ 28168-89 Pochvy. Otbor prob [Soils. Sampling]. Moscow: ИПК Издател'ство стандартов; 1989. 6 p. (In Russ.).
7. Dedov A.V., Nesmeyanova M.A. Rekomendatsii po kompleksnomu ispol'zovaniyu priemov biologizatsii na fone razlichnykh sposobov obrabotki pochvy [Recommendations for the integrated use of biologization techniques against the background of various methods of tillage]. Voronezh: Voronezh State Agrarian University Press; 2018. 38 p. (In Russ.).

8. Dedov A.V., Trofimova T.A., Korzhov S.I. Otsenka sevooborotov: uchebnoe posobie [Crop rotation assessment: study guide]. Voronezh: Voronezh State Agrarian University Press; 2016. 102 p. (In Russ.).
9. Dospel'kov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy). 5-e izd., dop. i pererab. [Field-plot Technique (with the Basics of Statistical Processing of Results of Research and Experiments). 5<sup>th</sup> edition, revised and enlarged]. Moscow: Agropromizdat; 1985. 351 p. (In Russ.).
10. Zhuchenko A.A. Adaptivnoe rastenievodstvo [Adaptive crop production]. Kishinev: Shtiintsa; 1990. 432 p. (In Russ.).
11. Korzhov S.I. Biologicheskie protsessy i plodorodie chernozema vshchelochennogo CChZ pri vnosenii solomy i sideratov [Biological processes and fertility of CChR leached chernozem at application of straw and green manure crops]: avtoreferat dis. ... kandidata sel'skokhozyajstvennykh nauk = Author's abstract of Candidate Dissertation in Agricultural Sciences. Voronezh; 1994. 21 p. (In Russ.).
12. Korzhov S.I., Trofimova T.A., Maslov V.A. Otsenka razlichnykh sposobov ispol'zovaniya chernozemov [Evaluation of various ways of chernozem soil usage]. *Vestnik rossijskoj sel'skokhozyajstvennoj nauki = Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2011;(3):27-29. (In Russ.).
13. Korzhov S.I., Trofimova T.A., Maslov V.A., Pichugin A.P. Obrabotka pochvy v CChR [Soil treatment in the Central Chernozem Region]. Voronezh: Voronezh State Agrarian University Press; 2010. 199 p. (In Russ.).
14. Lopyrev M.I., Postolov V.D., Dedov A.V. et al. Katalog proektov agrolandshaftov i zemledelie (sokhranenie plodorodiya, territorial'naya organizatsiya sistem zemledeliya, ustojchivost' k izmeneniyu klimata); pod red. Lopyreva M.I. [Catalogue of projects of agricultural landscapes and soil management (preservation of fertility, territorial organization of farming systems, resistance to climate change); under the editorship of Lopyrev M.I.]. Voronezh: Poliart Press; 2017. 185 p. (In Russ.).
15. Mineev V.G., Sychev V.G., Amelianchik O.A. Praktikum po agrokhimii [Practical Course on Agrochemistry]. Moscow: Moscow State University Press; 2001. 689 p. (In Russ.).
16. Mukha V.D., Lazarev V.I. Izmenenie fiziko-khimicheskikh svoystv chernozema tipichnogo pri ego dlitel'nom sel'skokhozyajstvennom ispol'zovanii [Changes in the physicochemical properties of typical chernozem during its long-term agricultural use]. *Agrokhimiya = Agrochemistry*. 2003;(1):5-7. (In Russ.).
17. Orlov D.S. Khimiya pochv: uchebnik [Soil Chemistry: a textbook]. Moscow: Moscow State University Press; 1985. 376 p. (In Russ.).
18. Semykin V.A., Kartamyshev N.I., Maltsev V.F., Dedov A.V. et al. Biologizatsiya zemledeliya v osnovnykh zemledel'cheskikh regionakh Rossii: uchebnoe posobie; pod red. N.I. Kartamysheva [Biologization of agriculture in the main agricultural regions of Russia: study guide; under the editorship of N.I. Kartamyshev]. Moscow: KolosS; 2012. 471 p. (In Russ.).
19. Stankov N.Z. Kornevaya sistema polevykh kul'tur [Root system of field crops]. Moscow: Kolos; 1964. 280 p. (In Russ.).
20. Stekolnikov K.E. Organicheskoe zemledelie v Rossii – blago ili katastrofa? [Organic Agriculture in Russia: a Good or Disaster?]. *Biosfera = Biosfera*. 2020;12(1-2):53-62. DOI: 10.24855/BIOSFERA.V12I1.537. (In Russ.).
21. Turusov V.I., Novichikhin A.M., Garmashov V.M., Gavrilova S.A. Izmenenie potentsial'nogo plodorodiya chernozema pri razlichnykh sposobakh osnovnoj obrabotki pochvy [Changes in the potential fertility of chernozem under various methods of basic tillage]. *Zemledelie = Zemledelie*. 2013;7:12–14. (In Russ.).

#### Информация об авторах

A.V. Дедов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры земледелия, растениеводства и защиты растений ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», dedov050@mail.ru.

M.A. Несмеянова – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры земледелия, растениеводства и защиты растений ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», marina-nesmeyanova2012@yandex.ru.

#### Information about the authors

A.V. Dedov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, the Dept. of Soil Management, Crop Science and Plant Protection, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, dedov050@mail.ru.

M.A. Nesmeyanova, Candidate of Agricultural Sciences, Docent, the Dept. of Soil Management, Crop Science and Plant Protection, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, marina-nesmeyanova2012@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 06.05.2022; одобрена после рецензирования 26.07.2022; принята к публикации 29.07.2022.

The article was submitted 06.05.2022; approved after revision 26.07.2022; accepted for publication 29.07.2022.

© Дедов А.В., Несмеянова М.А., 2022