

УДК 631.445.4(470.23)

DOI: 10.19047/0136-1694-2020-101-182-201



**Ссылки для цитирования:**

Мамонтов В.Г., Артемьева З.С., Лазарев В.И., Родионова Л.П., Крылов В.А., Ахмедзянова Р.Р. Сравнительная характеристика свойств целинного, пахотного и залежного чернозема типичного Курской области // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Вып. 101. С. 182-201. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-101-182-201

**Cite this article as:**

Mamontov V.G., Artemyeva Z.S., Lazarev V.I., Rodionova L.P., Krylov V.A., Ahmetzyanova R.R., Comparative characteristics of the properties of Halpic Chernozem of the Kursk Region of different land use, Dokuchaev Soil Bulletin, 2020, V. 101, pp. 182-201, DOI: 10.19047/0136-1694-2020-101-182-201

## **Сравнительная характеристика свойств целинного, пахотного и залежного чернозема типичного Курской области**

© 2020 г. В. Г. Мамонтов<sup>1</sup>, З. С. Артемьева<sup>2</sup>, В. И. Лазарев<sup>3</sup>,  
Л. П. Родионова<sup>1</sup>, В. А. Крылов<sup>1</sup>, Р. Р. Ахмедзянова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, Россия,  
27550, Москва, Тимирязевская ул., 49, e-mail: [soillab@rgau-msha.ru](mailto:soillab@rgau-msha.ru).

<sup>2</sup>Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Россия,  
119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2, e-mail: [artevievazs@mail.ru](mailto:artevievazs@mail.ru).

<sup>3</sup>Курский федеральный аграрный научный центр, Россия,  
305021, Курск, ул. Карла Маркса, 70б.

Поступила в редакцию 16.01.2020, после доработки 28.02.2020,  
принята к публикации 04.03.2020

**Резюме:** Аналитические данные свидетельствуют о том, что длительное экстенсивное сельскохозяйственное использование чернозема типичного Курской области (Halpic Chernozem) вызывает неблагоприятные изменения некоторых его свойств. Это касается в первую очередь содержания гумуса и структурного состояния чернозема. Под влиянием бессменной озимой пшеницы (54 года) потери гумуса составили 24% от его содержания в целинной почве. Под влиянием бессменной кукурузы (54 года) потери гумуса достигли 32%, а под влиянием бессменного пара (54 года) – 48%. В результате минерализации гумуса, являющегося

одним из основных агрегирующих агентов, ухудшилась водоустойчивость структуры чернозема. Количество водоустойчивых агрегатов в вариантах с бессменной озимой пшеницей и бессменной кукурузой уменьшилось по сравнению с целинным черноземом (на 30% и 39% соответственно). С точки зрения водоустойчивости структура чернозема трансформировалась в агроценозах с “избыточно высокой” в “хорошую”. Под влиянием бессменного пара содержание водоустойчивых агрегатов уменьшилось на 75%, а структура стала “неводоустойчивой”. При этом средний диаметр водоустойчивых агрегатов уменьшился в вариантах с бессменной озимой пшеницей, бессменной кукурузой и бессменным паром в 2.8, 3.6 и 4.8 раза соответственно, тогда как содержание водопептизируемого ила возросло в 2.8–4.7 раза, а pH среды увеличилась на 0.16–0.57. Наряду с этим в черноземе агроценозов уменьшилось содержание обменного кальция (более чем в 1.1 раза), снизилась гидролитическая кислотность (в 1.1–1.7 раза), уменьшилось содержание органических форм фосфора (в 1.1–1.4 раза), а отношение органических форм фосфора к минеральным снизилось в 2.1–4.1 раза. При переводе бессменного пара в залежь свойства чернозема изменяются с неодинаковой интенсивностью. Наиболее существенные изменения произошли с водоустойчивыми агрегатами. Их содержание за 20 лет возросло на 53%, а структура трансформировалась из “неводоустойчивой” в “хорошую” по водоустойчивости, при этом содержание водопептизируемого ила уменьшилось в 2.1 раза. За 20-летний период на 1.9 и 1.03 мг-экв/100 г почвы увеличилось содержание обменного кальция и гидролитической кислотности. Содержание гумуса возросло на 0.78%, т. е. восстановление содержания гумуса происходило со скоростью всего лишь 0.04% в год. Это необходимо учитывать при регулировании гумусового состояния выпаханых и эродированных почв. В целом воздействие бессменного пара на свойства чернозема оказалось столь глубоким, что за 20 лет после перевода его в залежь свойства чернозема в большинстве своем восстановились лишь до уровня, свойственного вариантам с возделыванием сельскохозяйственных культур.

**Ключевые слова:** чернозем типичный целинный, бессменная озимая пшеница, бессменная кукуруза, бессменный пар, залежь, общий гумус, обменный кальций, водоустойчивые агрегаты, водопептизируемый ил.

## **Comparative characteristics of the properties of Halpic Chernozem of the Kursk Region of different land use**

**V. G. Mamontov<sup>1</sup>, Z. S. Artemyeva<sup>2</sup>, V. I. Lazarev<sup>3</sup>,  
L. P. Rodionova<sup>1</sup>, V. A. Krylov<sup>1</sup>, R. R. Ahmetzyanova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Russian State Agrarian University –  
Moscow Timiryazev Agricultural Academy,  
49 Timiryazevskaya Str., Moscow 27550, Russian Federation,  
e-mail: [soillab@rgau-msha.ru](mailto:soillab@rgau-msha.ru).*

<sup>2</sup>*V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,  
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,  
e-mail: [artevievazs@mail.ru](mailto:artevievazs@mail.ru).*

<sup>3</sup>*Kursk Federal Agricultural Research Centre,  
70b Karl Marks Str., Kursk 305021, Russian Federation.*

*Received 16.01.2020, Revised 28.02.2020, Accepted 04.03.2020*

**Abstract:** Analytical data show that prolonged extensive agricultural use of typical Chernozem of Kursk region (Haplic Chernozem) results in adverse changes in some soil properties. This primarily concerns the humus content and the structural state of the Chernozem. Under the influence of continuous winter wheat growing (for 54 years) the losses of humus made up 24% of its content in virgin soil. The permanent corn growing (for 54 years) led to humus 32% losses, and under the influence of the bare fallow (for 54 years) – 48%. As a result of mineralization of humus, which is one of the main aggregative agents, water resistance of Chernozem structure has deteriorated. The number of water-resistant aggregates in variants with continuous winter wheat and continuous corn decreased in comparison with virgin soil (by 30% and 39% respectively). In terms of water resistance, the structure of Chernozem was transformed in agrocenoses from “extremely high” to “good”. Under the influence of the bare fallow the content of water-resistant units decreased by 75%, and the structure became “non-water resistant”. At the same time, the average diameter of waterproof aggregates decreased 2.8, 3.6 and 4.8 times in variants with continuous winter wheat, corn and permanent bare fallow, respectively, whereas the content of the water peptized clay increased 2.8–4.7-fold, and pH of medium increased by 0.16–0.57. At the same time, the content of soil exchangeable calcium reduced (more than 1.1-fold), as well as hydrolytic acidity (1.1–1.7-fold), the content of organic forms of phosphorus (1.1–1.4-fold) and the ratio of organic forms of phosphorus to mineral ones also decreased 2.1–4.1-fold. When the bare fallow is transferred to the abandoned land, the properties of Chernozem vary with different intensity. The most significant changes occurred with water-resistant aggregates. Their content has increased by 53% over 20 years, and the structure has transformed from “non-water resistant” to “good”, while the content water peptized clay has decreased 2.1 times. During the 20-year period, the content of

exchangeable calcium and hydrolytic acidity increased by 1.9 and 1.03 mg-eq/100 g of soil. The content of humus has increased by 0.78%, i. e. humus content restoration occurred with a speed of only 0.04% per year. It is necessary to consider this factor when regulating the humus status of the plowed and eroded soils. In general, the impact of continuous bare fallow on the properties of Chernozem was so profound that 20 years after its transfer to the category of abandoned lands, the properties of Chernozem, in most cases, have been restored only to the level typical of variants with crop cultivation.

**Keywords:** typical steppe chernozem, permanent winter wheat, permanent corn, bare fallow, abandoned land, total humus, exchange calcium, waterstable aggregates, water peptized clay.

## ВВЕДЕНИЕ

Черноземная зона является важнейшим сельскохозяйственным регионом России. Именно в пределах черноземной зоны, особенно в центральной ее части, благоприятный для большинства сельскохозяйственных культур гидротермический режим сочетается с высоким потенциальным плодородием почв. Поэтому, несмотря на то, что площадь черноземных почв России составляет всего около 120 млн га или лишь 7% площади страны, здесь размещено более половины пахотных угодий и производится около двух третей всей сельскохозяйственной продукции ([Щеглов, 2017](#)). В связи с этим главная задача сельскохозяйственного производства заключается в том, чтобы не только получать высокие гарантированные урожаи возделываемых культур, но и не допустить снижения плодородия черноземов. Эта задача первостепенной важности, поскольку замена естественного почвообразовательного процесса на естественно-антропогенный почвообразовательный процесс влечет за собой ряд необратимых изменений в функционировании черноземов, что отражается на их режимах и свойствах. В первую очередь это связано с заменой естественной травянистой растительности культурными растениями агроценозов. В результате этого, в зависимости от возделываемой культуры, системы удобрений, урожая и способа уборки, масштабы ежегодного растительного опада, поступающего в пахотные почвы, снижаются в 2–8 раз ([Лебедева и др., 2013](#); [Фокин, 1996](#)). На этом фоне возрастает аэрация почвенного профиля, обусловленная ежегодными механическими обработками почвы, что ведет к снижению коэффициентов гумифика-

ции органических остатков и увеличению коэффициентов минерализации гумусовых веществ. В итоге в пахотных почвах содержание гумуса уменьшается ([Чекмарев, Лукин, 2013](#); [Чендев и др., 2011](#); [Щеглов, 1999](#); [Cade-Menun et al., 2017](#)). В большинстве случаев потери гумуса в пахотных черноземах, по сравнению с целинными аналогами, составляют 20–40% ([Щербаков, Васенев, 2000](#); [Артемьева, 2008](#); [Чендев и др., 2011](#)). При этом основные потери гумуса, по мнению некоторых ученых, происходят из-за обработки почвы и в паровых полях ([Van den Bygaart et al., 2011](#)).

Уменьшение содержания гумуса в пахотных черноземах обычно сопровождается снижением емкости обмена и содержания обменных катионов ([Медведев и др., 1983](#); [Щербаков, Васенев, 2000](#)). При этом под пропашными культурами отмечается увеличение гидролитической кислотности, а под культурами сплошного сева – ее уменьшение ([Медведев и др., 1983](#)).

В зависимости от генетических особенностей черноземов, возделываемой культуры и системы удобрений реакция среды может изменяться как в сторону подкисления, так и в сторону подщелачивания, хотя чаще происходит подкисление пахотных черноземов, особенно под влиянием минеральных удобрений ([Чекмарев, Лукин, 2013](#); [Черногоров и др., 2012](#); [Щербаков, Васенев, 2000](#)).

Уменьшение содержания гумуса и негативные изменения в почвенном поглощающем комплексе являются одной из причин неблагоприятной трансформации структурного состояния пахотных черноземов – явления, получившего практически повсеместное распространение ([Мамонтов и др., 2013](#); [Медведев и др., 1983](#); [Щеглов, 1999](#); [Щербаков, Васенев, 2000](#); [Артемьева, 2008](#)). В результате этого в худшую сторону изменяется водно-воздушный режим черноземов, что отрицательным образом сказывается на их плодородии.

Плодородие черноземов во многом зависит от их обеспеченности элементами минерального питания, к числу важнейших из которых относятся фосфор и калий, выполняющие в растениях важные физиологические функции. Обобщение материалов, характеризующих динамику основных показателей плодородия почв Центрально-черноземных областей, показало снижение обеспе-

ченности черноземов подвижными формами фосфора, тогда как содержание подвижного калия не претерпело существенных изменений ([Чекмарев, Лукин, 2012](#); [Артемьева и др., 2016](#)).

В последние десятилетия проблема ухудшения свойств и режимов пахотных черноземов обострилась. Связано это с отказом сельхозпроизводителей от севооборотов и ориентацией на узкую специализацию и даже на длительное бессменное возделывание одной культуры. Усугубляет ситуацию низкая культура земледелия и ненормированное использование тяжелой сельскохозяйственной техники, ограниченное применение удобрений (или их полное отсутствие), в первую очередь органических, или же ненормированное внесение минеральных удобрений, содержащих одновалентные катионы ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $NH_4^+$ ), вызывающие негативные изменения в почвенном поглощающем комплексе и ухудшение физических свойств почв. Наряду с этим в конце прошлого века значительные площади пахотных земель России были выведены из активного сельскохозяйственного оборота, переведены в залежь и в настоящее время представляют собой территории, занятые естественной зональной растительностью. В настоящее время общая площадь бывших сельскохозяйственных угодий, перешедших в категорию залежи, составляет более 4.9 млн га ([Государственный..., 2017](#)) и является важным резервом увеличения площади пахотных земель. Поэтому оценка особенностей изменения свойств черноземов при длительном экстенсивном сельскохозяйственном использовании и при нахождении в залежи в течение четко установленного периода имеет важное практическое и научное значение.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования – среднесуглинистый чернозем типичный, согласно международной классификации, – *Na<sub>np</sub>lic Chernozem (Loamic, Pachic)* (45 WRB, 2014) на лёссовидных отложениях с содержанием ила 18.4–22.9% ([Когут и др., 2019](#)).

Образцы целинного чернозема отбирались в Центрально-Черноземном государственном биосферном заповеднике им. А.А. Алехина на некосимом участке Стрелецкой степи (N51.282072°; E36.131072°) из гумусово-аккумулятивного гори-

зонта А1 (слой мощностью 5–25 см) в 3-кратной повторности. Верхний слой (5 см) представлял собой мощную дернину, более чем наполовину состоящую из корней травянистой растительности, поэтому в состав анализируемых образцов этот слой не включался.

Образцы пахотного чернозема типичного были отобраны на стационарном полевом опыте Петринского опорного пункта Курского НИИ АПП, заложенном в 1964 г. Изучались следующие варианты опыта: бессменная озимая пшеница без удобрений (54 года), бессменная кукуруза без удобрений (54 года), бессменный пар (54 года). Размер делянок 296 м<sup>2</sup>. В 1998 г. 2/3 участка пара было оставлено под бессменное парование, а 1/3 участка отведена под залежь (20 лет). Образцы отбирались из пахотного слоя мощностью 0–20 см.

В почвенных образцах определяли общий гумус по методу Тюрина, рН<sub>Н<sub>2</sub>О</sub>, гидролитическую кислотность (Нг) – по методу Каппена, обменные кальций и калий – по методу Гедройца, подвижные Р<sub>2</sub>О<sub>5</sub> – по методу Чирикова, водорастворимый кальций, органофосфаты ([Аринушкина, 1970](#)), водопептизируемый ил – по методу Качинского, агрегатный анализ – по методу Саввинова ([Вадюнина, Корчагина, 1986](#)). Все показатели определяли в индивидуальных образцах в 3-кратной повторности и находили средние значения. Для нахождения НСР<sub>05</sub> использовали программный комплекс статистической обработки экспериментальных данных STRAZ.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Длительное сельскохозяйственное использование чернозема типичного оказало заметное влияние на его свойства (табл. 1). Аналитические данные свидетельствуют, что наиболее обогащен органическим веществом чернозем варианта степь – 8.13% на массу почвы (табл. 1, рис. 1). В пахотных почвах содержание гумуса заметно ниже и уменьшается в следующей последовательности: бессменная озимая пшеница (6.2% на массу почвы) > бессменная кукуруза (5.5% на массу почвы) > бессменный пар (4.2% на массу почвы). Это в 1.3, 1.5 и 1.9 раза соответственно меньше по сравне-

нию с целинным черноземом.

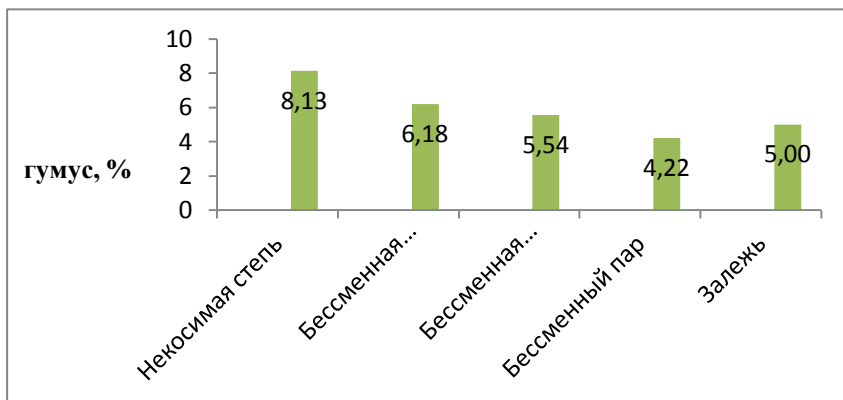
Согласно таблице показателей гумусного состояния почв ([Орлов и др., 2004](#)), в целинном типичном черноземе содержание гумуса высокое, в черноземе под бессменной озимой пшеницей – среднее, а в черноземе под бессменной кукурузой и бессменным паром – ниже среднего. В целом под влиянием длительного экстенсивного сельскохозяйственного использования потери гумуса в черноземе увеличиваются в ряду: 24% (бессменное возделывание озимой пшеницы) < 32% (бессменное возделывание кукурузы) < 48% (в условиях бессменного пара).

**Таблица 1.** Влияние различных вариантов использования на химические свойства чернозема типичного Курской области

**Table 1.** Influence of different land use cases on chemical properties of typical Chernozem of Kursk region

Вариант	Общий гумус, %	Водорас-творимый $\text{Ca}^{2+}$ , мг-экв/100 г почвы	Доступные		$\text{P}_2\text{O}_5$ орг	$\frac{\text{P}_2\text{O}_5 \text{ орг}}{\text{P}_2\text{O}_5 \text{ мин}}$
			$\text{K}_2\text{O}$	$\text{P}_2\text{O}_5$		
			мг/кг почвы			
Некосимая степь	8.13	0.80	181.00	58.60	360.00	6.10
Бессменная озимая пшеница	6.18	1.00	173.60	147.20	265.10	1.80
Бессменная кукуруза	5.54	0.75	119.70	113.30	325.50	2.90
Бессменный пар	4.22	0.69	123.00	177.80	263.30	1.50
Залежь	5.00	0.69	122.30	97.00	314.20	3.20
НСР <sub>05</sub>	0.37	0.30	39.30	31.60	78.30	-





**Рис. 1.** Влияние различных вариантов использования на содержание гумуса в черноземе типичном Курской области

**Fig 1.** Influence of different use cases on the humus content in Chernozem typical of the Kursk region

В результате перевода пара в залежь содержание гумуса в черноземе типичном за 20 лет увеличилось на 0.78%. Соответственно, прирост гумуса составил 0.039% в год. Близкие данные по темпам прироста гумуса при замене пашни залежью были получены для обыкновенных черноземов ([Русанов, Тесля, 2012](#)). Несмотря на увеличение содержания гумуса при переводе бессменного пара в залежь, за истекший период (20 лет) его количество не только не достигло уровня целинного чернозема, но даже и уровня почв агроценозов. Содержание гумуса в черноземе залежи достигало 5.0% на массу почвы, что составляет 62% от его количества в целинном черноземе.

Важнейшим компонентом почвенного раствора черноземов является ион кальция. Доминирование кальция в почвенном растворе обеспечивает насыщенность им почвенного поглощающего комплекса, благоприятную реакцию среды, коагуляцию новообразованных гумусовых веществ и минеральных коллоидов. Гуматы кальция являются одними из главных факторов формирования агрономически ценных водоустойчивых агрегатов. Поэтому от режима кальция во многом зависят агрономические свойства черно-

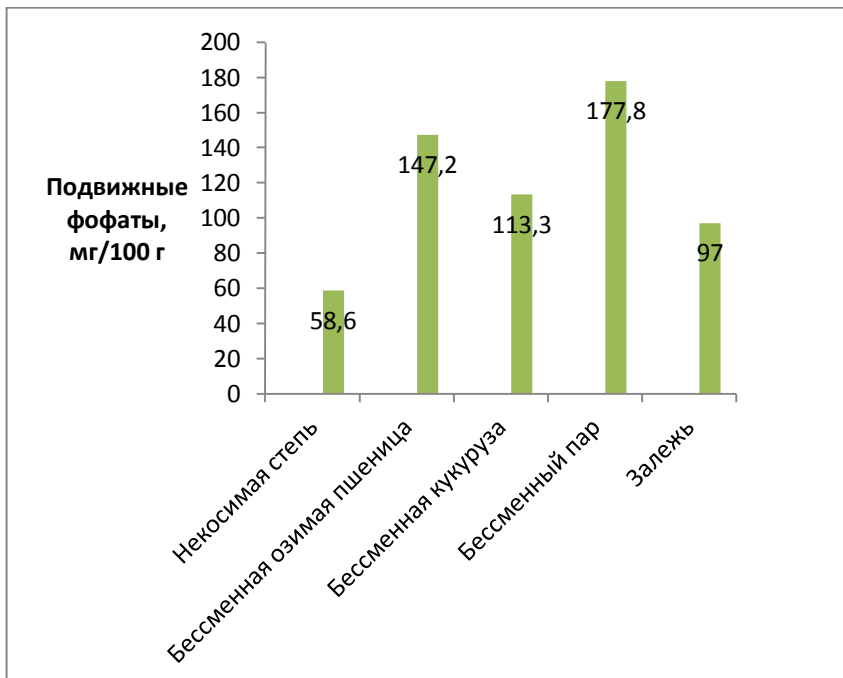
земов.

Длительное сельскохозяйственное использование чернозема не оказало существенного влияния на содержание водорастворимого кальция. Количество его изменяется от 0.69 мг-экв в черноземе бессменного пара и залежи до 1.0 мг-экв в варианте с бессменной озимой пшеницей (табл. 1).

В черноземе типичном содержится значительное количество обменного калия. Содержание его варьирует в пределах 119.7–173.6 мг/кг почвы. Различное использование чернозема не оказало существенного влияния на содержание обменного калия, обеспеченность которым остается на высоком уровне (табл. 1).

Содержание подвижного фосфора в целинном черноземе составило 58.6 мг/кг почвы. В пахотных почвах его содержание резко возрастает – до 113.3–177.8 мг/кг почвы и достигает высокого уровня обеспеченности (табл. 1). Обусловлено это минерализацией органического вещества и переходом органического фосфора в минеральные формы. Известно, что до 70–80% всех запасов фосфора в почвах приходится на долю его органических соединений ([Орлов и др., 2004](#)). В целинном черноземе содержание органических форм фосфора самое высокое и составляет 360.0 мг/кг почвы (табл. 1).

Ежегодная вспашка сопровождается минерализацией гумуса, в результате чего содержание органических форм фосфора в почвах агроценозов снижается до 263.3–325.5 мг/кг почвы. В результате высвобождения органических форм фосфора происходит увеличение содержания его подвижных форм. При этом больше всего подвижных фосфатов содержится в черноземе бессменного пара, а в черноземе под бессменной кукурузой подвижного фосфора меньше, чем в варианте с бессменной озимой пшеницей (табл. 1). При переводе бессменного пара в залежь содержание подвижного фосфора снижается, что обусловлено активным включением его в состав органических соединений гумуса. Так, по сравнению с черноземом бессменного пара в черноземе залежи содержится в 1.2 раза больше органических форм фосфора. Тем не менее содержание подвижного фосфора в залежном черноземе остается более высоким, нежели в целинном черноземе (табл. 1, рис. 2).



**Рис. 2.** Влияние различных вариантов использования на содержание подвижного  $P_2O_5$  в черноземе типичном Курской области.

**Fig 2.** Influence of different use cases on the content of mobile  $P_2O_5$  in the Chernozem typical of the Kursk region.

В пахотных почвах отмечено существенное снижение величины отношения содержания органических форм фосфора к минеральным формам фосфора ( $P_{\text{орг}}/P_{\text{мин}}$ ), которое образует ряд: 6.1 (степь) > 2.9 (бесменная кукуруза) > 1.8 (бесменная озимая пшеница). Это может свидетельствовать о более активном высвобождении фосфора из органических соединений под влиянием озимой пшеницы. Самая низкая величина отношения  $P_{\text{орг}}/P_{\text{мин}}$  – 1.5 отмечается в варианте бесменного пара, где произошла наиболее значительная минерализацией органического вещества почвы (табл. 1). В результате замены бесменного пара залежью происходит не только увеличение в почве гумуса, но и количества фосфора в его составе, вследствие чего отношение  $P_{\text{орг}}/P_{\text{мин}}$  увеличилось до 3.2.

Различные условия использования чернозема типичного не-одинаково отражаются на его физико-химических и физических свойствах (табл. 2).

**Таблица 2.** Влияние различных вариантов использования на физико-химические и физические свойства чернозема типичного Курской области

**Table 2.** Influence of different land use cases on physical-chemical and physical properties of typical black soil of Kursk region

Вариант	pН <sub>Н<sub>2</sub>О</sub>	Нг	Обменный Ca <sup>2+</sup>	Водоустойчивые агрегаты		Водопептизируемый ил, %
		мг-экв/100 г почвы	% в почве	средний диаметр, мм		
Некосимая степь	6.20	5.52	55.20	82.10	2.27	0.81
Бессменная озимая пшеница	6.36	5.12	49.90	52.00	0.81	2.29
Бессменная кукуруза	6.77	3.35	54.20	43.00	0.63	3.05
Бессменный пар	6.42	4.38	48.50	7.60	0.47	3.81
Залежь	6.22	5.41	50.40	60.50	1.20	1.82
НСР <sub>05</sub>	0.07	0.69	4.70	2.60	0.19	0.39

Значения pН<sub>Н<sub>2</sub>О</sub> исследуемых почв лежат в нейтральной области, тем не менее между вариантами наблюдаются некоторые различия. Самое низкое значение pН<sub>Н<sub>2</sub>О</sub> – 6.20 наблюдается в целинном черноземе. В пахотных почвах реакция среды несколько возрастает: под влиянием бессменной озимой пшеницы и бессменного пара pН<sub>Н<sub>2</sub>О</sub> увеличился на 0.16 и 0.22 единицы, а в варианте с бессменной кукурузой достиг 6.77. При переводе бессменного пара в залежь величина pН<sub>Н<sub>2</sub>О</sub> уменьшилась до 6.22 (табл. 2), что отражает неодинаковое влияние растений на почву.

Схожим образом изменилась и величина гидролитической кислотности (табл. 2). В целинном черноземе она составила 5.52 мг-экв/100 г почвы. Под влиянием бессменной озимой пшеницы

гидролитическая кислотность уменьшилась на 0,4, а бесменного пара – на 1.14 мг-экв/100 г почвы. Самая низкая величина гидролитической кислотности – 3.35 мг-экв/100 г почвы отмечается в варианте с бесменной кукурузой, где наблюдается и самое высокое значение  $pH_{H_2O}$  (табл. 2). Замена бесменного пара залежью сопровождается увеличением гидролитической кислотности до 5.41 мг-экв/100 г почв.

Ион кальция является важнейшим обменным катионом. Поэтому насыщенность им почвенного поглощающего комплекса имеет большое значение для создания и формирования благоприятных для культурных растений физико-химических и физических свойств почвы.

Для черноземов характерно высокое содержание обменного кальция ([Медведев и др., 1983](#); [Щеглов, 1999](#); [Щербаков, Васенев, 2000](#)). В целинном черноземе типичном его количество составило 55.2 мг-экв/100 г почвы (табл. 2). В пахотных почвах содержится неодинаковое количество обменного кальция. В варианте с бесменной кукурузой количество обменного кальция находится на уровне чернозема целинного. В варианте с бесменной озимой пшеницей содержание обменного кальция снизилось до 49.9 мг-экв/100 г почвы, а под влиянием бесменного пара – до 48.5 мг-экв/100 г почвы. В залежном черноземе содержание обменного кальция составило 50.4 мг-экв/100 г почвы. В целом можно констатировать, что с учетом величины гидролитической кислотности в пахотном черноземе произошло уменьшение величины емкости обмена. В зависимости от особенностей использования чернозема емкость обмена уменьшилась на 3.17–7.84 мг-экв/100 г почвы.

Наиболее выражено это в условиях бесменного пара (табл. 2). Даже последующая трансформация бесменного пара в залежь хотя и способствует увеличению емкости обмена, тем не менее ее величина лишь приближается к показателям, характерным для вариантов с возделыванием сельскохозяйственных культур, и не достигает значений, свойственных целинному чернозему.

Большое значение для эффективного использования пашни имеет характер почвенной структуры, от качества которой непосредственно зависит водно-воздушный режим почвы и условия произрастания культурных растений. Для целинного чернозема

характерно очень высокое содержание водоустойчивых агрегатов – 82.1% и водоустойчивость структуры является избыточно высокой ([Вадюнина, Корчагина, 1986](#); [Когут и др., 2019](#)). Средний диаметр водоустойчивых агрегатов равен 2.27 мм.

Длительная ежегодная вспашка чернозема, сопровождающаяся механическим разрушением структурных отдельностей под воздействием сельскохозяйственной техники и минерализацией гумуса, привела к уменьшению содержания водоустойчивых агрегатов в почве. Их количество снижается от 43% (бессменная кукуруза) до 52% (бессменная озимая пшеница). Исходя из этого, можно предположить, что возделывание озимой пшеницы в течение длительного времени (54 года) имело менее выраженный негативный эффект на структуру почвы по сравнению с возделыванием кукурузы. В то же время водоустойчивость структуры чернозема в обоих случаях оценивается как хорошая. Наряду со снижением количества водоустойчивых агрегатов, по сравнению с таковым целинного чернозема, уменьшился и их средний диаметр: в 2.8 раза (бессменная озимая пшеница) и в 3.6 раза (бессменная кукуруза) (табл. 2).

Бессменный пар самым отрицательным образом повлиял на водоустойчивость структуры чернозема. Здесь сохранилось всего 7.6% водоустойчивых агрегатов, и структура стала неводоустойчивой. При этом, даже по сравнению с вариантами длительного (54 года) бессменного возделывания озимой пшеницы и кукурузы, средний диаметр водоустойчивых агрегатов в варианте с бессменным паром уменьшился в 1.7 и 1.3 раза соответственно.

Замена бессменного пара залежью способствовала заметно-му улучшению условий агрегирования почвенной массы. Это находит отражение в увеличении количества водоустойчивых агрегатов, которое достигает 60.5%, а также в трансформации исходной “неводоустойчивой” структуры в “отличную” с точки зрения водоустойчивости. Это сопровождается увеличением среднего диаметра водоустойчивых агрегатов в 2.6 раза по сравнению с таковым в варианте пара.

Содержание водопептизируемого ила является одним из показателей агрофизического состояния почвы. При повышенном содержании этой категории илистых частиц почва приобретает

ряд неблагоприятных свойств. Во влажном состоянии увеличиваются вязкость и липкость, возрастает набухание почвенной массы, в результате чего ухудшается фильтрация, уменьшается количество воздухоносных пор и затрудняется газообмен почвенного воздуха с атмосферным.

Чернозем типичный характеризуется невысоким содержанием водопептизируемого ила (табл. 2). В целинном черноземе его количество составило 0.81%. В результате минерализации гумуса и разрушения почвенной структуры в почвах агроценозов количество водопептизируемого ила возрастает: до 2.29% (бессменная озимая пшеница) и 3.05% (бессменная кукуруза). Наиболее высоким содержанием водопептизируемого ила характеризуется варианте с бессменным паром – 3.81%. По-видимому, это обусловлено не только минерализацией гумуса и ежегодным механическим разрушением почвенной структуры в результате обработки почвы. Возможно, практически полное отсутствие поступления в почву свежего органического материала в течение столь длительного времени негативно влияет на условия склеивания тонкодисперсных частиц за счет органических веществ корневых выделений и новообразованных из растительных остатков гумусовых соединений. Благодаря этому в черноземе бессменного пара увеличивается количество неагрегированных тонкодисперсных частиц, пептизирующихся водой. При переводе бессменного пара в залежь содержание водопептизируемого ила снижается до 1.82%, однако все равно остается более высоким, нежели в целинном черноземе.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Длительное экстенсивное сельскохозяйственное использование чернозема типичного Курской области привело к существенному изменению его свойств. В пахотном черноземе произошло увеличение значений рН, содержания водопептизируемого ила и подвижного фосфора. В то же время содержание обменного кальция, органических форм фосфора и емкости обмена заметно уменьшилось. Наиболее существенные изменения произошли с содержанием гумуса и водоустойчивых агрегатов. В результате экстенсивного сельскохозяйственного использования содержание гумуса в черноземе типичном уменьшилось на 1.95–3.91% или на

24–48% от его содержания в целинной почве, водоустойчивых агрегатов – на 30–75%, при этом средний диаметр водоустойчивых агрегатов стал меньше на 1.46–1.80 мм, содержание водопептизируемого ила возросло в 2.8–4.7 раза. Самые заметные негативные изменения произошли в черноземе бесменного пара. Они настолько глубокие, что при замене бесменного пара залежью в большинстве случаев свойства чернозема восстанавливаются лишь до уровня свойств почв агроценозов с постоянным возделыванием сельскохозяйственных культур. При этом восстановление содержания гумуса происходит медленно, со скоростью примерно 0.04% в год, что необходимо учитывать при регулировании гумусового состояния почв.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ, 1970. 489 с.
2. *Артёмьева З.С.* Органические и органо-глинистые комплексы агрогенно-деградированных почв: Автореф. дис. ... док. биол. наук. Москва, 2008. 48 с.
3. *Артёмьева З.С., Кириллова Н.П., Силева Т.М., Сошникова Е.И.* Органические и органо-минеральные составляющие фосфатного режима эродированных почв центра Русской равнины // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2016. Вып. 84. С. 75–100. DOI: [10.19047/0136-1694-2016-84-75-100](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-84-75-100).
4. *Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А.* Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
5. Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2016 году. М.: Росреестр, 2017. 220 с.
6. *Козут Б.М., Артёмьева З.С., Кириллова Н.П., Яшин М.А., Сошникова Е.И.* Компонентный состав органического вещества воздушно-сухих и водоустойчивых макроагрегатов типичного чернозема в условиях контрастного землепользования // Почвоведение. 2019. № 2. С. 161–170. DOI: [10.1134/S106422931902008X](https://doi.org/10.1134/S106422931902008X).
7. *Лебедева И.И., Королева И.Е., Гребенников А.М.* Концепция эволюции черноземов в условиях агроэкосистем // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2013. Вып. 71. С. 16–26. DOI: [10.19047/0136-1694-2013-71-16-26](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2013-71-16-26).



8. *Мамонтов В.Г., Байбеков Р.Ф., Лазарев В.И., Юдин С.А., Цветков С.А., Таллер Е.Б.* Изменение структурного состояния чернозема типичного Курской области под влиянием бессменных пара и озимой пшеницы // *Земледелие*. 2019. № 1. С. 7–10.
9. *Медведев В.В., Адерихин П.Г., Гаврилюк Ф.Я., Чесняк Г.Я.* Физико-химические свойства черноземов // *Русский чернозем – 100 лет после Докучаева*. М.: Наука, 1983. С. 199–214.
10. *Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Розанова М.С.* Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов // *Почвоведение*. 2004. № 8 С. 918–926.
11. *Фокин А.Д.* Идеи В.В. Докучаева и проблема органического вещества почв // *Почвоведение*. 1996. № 2. С. 187–196.
12. *Русанов А.М., Тесля А.В.* Изменение основных свойств степных черноземов как результат их постагрогенной трансформации // *Вестник ОГУ*. 2012. № 6 (142). С. 98–101.
13. *Чекмарев П.А., Лукин С.В.* Мониторинг плодородия пахотных почв центрально-черноземных областей России // *Агрохимия*. 2013. № 4. С. 11–22.
14. *Чендев Ю.Г., Смирнова Л.Г., Петин А.Н., Кухарук Н.С., Новых Л.Л.* Длительное изменение содержания гумуса в пахотных черноземах центра Восточно Европейской равнины // *Достижения науки и техники АПК*. № 8. 2011. С. 6–9.
15. *Черногоров А.Л., Чекмарев П.А., Васенев И.И., Гогмадзе Г.Д.* Агроэкологическая оценка земель и оптимизация землепользования. М.: Изд-во МГУ, 2012. 268 с.
16. *Щеглов, Д. И.* Черноземы центра Русской равнины и их эволюция под влиянием естественных и антропогенных факторов / Д. И. Щеглов. М.: Изд-во “Наука”, 1999. 214 с.
17. *Щеглов Д.И.* Черноземы центральных областей России: современное состояние и направление эволюции // *Черноземы Центральной России: генезис, эволюция и проблемы рационального использования*. Воронеж: Издательско-полиграфический центр “Научная книга”, 2017. С. 5–18.
18. *Щербаков А.П., Васенев И.И.* Русский чернозем на рубеже веков // *Антропогенная эволюция черноземов*. Воронеж: Воронежский государственный университет. 2000. С. 32–67.
19. *Cade-Menun B.J., Bainard L.D., LaForge K., Schellenberg M., Houston B., Hamelc C.* Long-term agricultural land use affects chemical and physical properties of soils from southwest Saskatchewan // *Canadian Journal of Soil Science*. 2017. 97(4). P. 650–666.
20. *Van den Bygaart A.J., Bremer, E., B.G. McConkey, B.H. Ellert, H.H. Janzen, D.A. Angers, M.R. Carter, Drury C.F., Lafond G.P., McKenzie R.H.*

Impact of sampling depth on differences in soil carbon stocks in long-term Agroecosystem experiments // Soil Science Society America Journal. 2011. 75 (1). P. 226–234.

## REFERENCES

1. Arinushkina E.V., *Rukovodstvo po himicheskomu analizu pochv* (Chemical soil analysis guide), Moscow: MGU, 1970, 489 p.
2. Artem'eva Z.S., *Organicheskie i organo-glinistye komplekсы agrogenno-degradirovan-nyh pochv: Avtoref. diss. ... dokt. biol. nauk* (Organic and organo-clay complexes of agrogenically degraded soils, Extended abstract of Dr. biol. sci. thesis). Moscow, 2008, 48 p.
3. Artem'eva Z.S., Kirillova N.P., Sileva T.M., Soshnikova E.I., The organic and organo-mineral components of phosphate regime of eroded soils in the centre of Russian Plain, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2016, Vol. 84, pp. 75–100, DOI: [10.19047/0136-1694-2016-84-75-100](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-84-75-100).
4. Vadjunina A.F., Korchagina Z.A., *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv* (Methods of studying the physical properties of soils), Moscow: Agropromizdat, 1986, 416 p.
5. Gosudarstvennyj (nacional'nyj) doklad o sostojanii i ispol'zovanii zemel' v Rossijskoj Federacii v 2016 godu (State (national) report on the state and use of land in the Russian Federation in 2016), Moscow: Rosreestr, 2017, 220 p.
6. Kogut B.M., Artem'eva Z.S., Kirillova N.P., Jashin M.A., Soshnikova E.I., Komponentnyj sostav organicheskogo veshhestva vozdušno-suhih i vodoustojchivyh makroagregatov tipichnogo chernozema v uslovijah kontrastnogo zemlepol'zovanija (The component composition of the organic matter of air-dry and waterproof macroaggregates of a typical chernozem in contrasting land use), *Pochvovedenie*, 2019, No. 2, pp. 161–170, DOI: [10.1134/S106422931902008X](https://doi.org/10.1134/S106422931902008X).
7. Lebedeva I.I., Koroleva I.E., Grebennikov A.M., The concept of evolution of chernozems in agroecosystems, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2013, Vol. 71, pp. 16–26, DOI: [10.19047/0136-1694-2013-71-16-26](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2013-71-16-26).
8. Mamontov V.G., Bajbekov R.F., Lazarev V.I., Judin S.A., Cvetkov S.A., Taller E.B., *Izmenenie strukturnogo sostojanija chernozema tipichnogo Kurskoj oblasti pod vlijaniem bessmennyh para i ozimoj pshenicy* (The change in the structural state of chernozem typical of the Kursk region under the influence of permanent steam and winter wheat), *Zemledelie*, 2019, No. 1, pp. 7–10.
9. Medvedev V.V., Aderihin P.G., Gavriljuk F.Ja., Chesnjak G.Ja., *Fiziko-himicheskie svoystva chernozemov* (Physico-chemical properties of chernozems), In: *Russkij chernozem – 100 let posle Dokuchaeva* (Russian

chernozem – 100 years after Dokuchaev), Moscow: Nauka, 1983, pp. 199–214.

10. Orlov D.S., Birjukova O.N., Rozanova M.S., *Dopolnitel'nye pokazateli gumusnogo sostojanija pochv i ih geneticheskikh gorizontov* (Additional indicators of the humus state of soils and their genetic horizons), *Pochvovedenie*, 2004, No. 8, pp. 918–926.

11. Fokin A.D., Idei V.V. Dokuchaeva i problema organicheskogo veshhestva pochv (Ideas V.V. Dokuchaeva and the problem of soil organic matter), *Pochvovedenie*, 1996, No. 2, pp. 187–196.

12. Rusanov A.M., Teslja A.V., *Izmenenie osnovnyh svojstv stepnyh chernozemov kak rezul'tat ih postagrogennoj transformacii* (Change in the basic properties of steppe chernozems as a result of their post-agrogenic transformation), *Vestnik OGU*, 2012, No. 6 (142), pp. 98–101.

13. Chekmarev P.A., Lukin S.V., *Monitoring plodorodija pahotnyh pochv central'no-chernozemnyh oblastej Rossii* (Monitoring of fertility of arable soils in the central chernozem regions of Russia), *Agrohimiya*, 2013, No. 4, pp. 11–22.

14. Chendev Ju.G., Smirnova L.G., Petin A.N., Kuharuk N.S., Novyh L.L., *Dlitel'noe izmenenie soderzhaniya gumusa v pahotnyh chernozemah centra Vostochno Evropejskoj ravniny* (A Long-Term Change in the Humus Content in Arable Black Soils of the Center of the East European Plain), *Dostizhenija nauki i tehniki APK*, No. 8, 2011, pp. 6–9.

15. Chernogorov A.L., Chekmarev P.A., Vasenev I.I., Gogmadze G.D., *Agroekologicheskaja ocenka zemel' i optimizacija zemlepol'zovanija* (Agroecological assessment of land and land use optimization), Moscow: Izd-vo MGU, 2012, 268 p.

16. Shheglov D.I., *Chernozemy centra Russkoj ravniny i ih jevoljucija pod vlijaniem estestvennyh i antropogennyh faktorov* (Chernozems of the center of the Russian Plain and their evolution under the influence of natural and anthropogenic factors), Moscow: Izd-vo “Nauka”, 1999, 214 p.

17. Shheglov D.I., *Chernozemy central'nyh oblastej Rossii: sovremennoe sostojanie i napravlenie jevoljucii* (Chernozems of the central regions of Russia: current status and direction of evolution), In: *Chernozemy Central'noj Rossii: genezis, jevoljucija i problemy racional'nogo ispol'zovanija* (Chernozems of Central Russia: genesis, evolution and problems of rational use), Voronezh: Izdatel'sko-poligraficheskij centr “Nauchnaja kniga”, 2017, pp. 5–18.

18. Shherbakov A.P., Vasenev I.I., *Russkij chernozem na rubezhe vekov* (Russian chernozem at the turn of the century), In: *Antropogennaja jevoljucija chernozemov* (Anthropogenic evolution of chernozems), Voronezh: Voronezhskij gosudarstvennyj universitet, 2000, pp. 32–67.

19. Cade-Menun B.J., Bainard L.D., LaForge K., Schellenberg M., Houston B., Hamelc C., Long-term agricultural land use affects chemical and physical properties of soils from southwest Saskatchewan, *Canadian Journal of Soil Science*, 2017, 97(4), pp. 650–666.
20. Van den Bygaart A.J., Bremer, E., B.G. McConkey, B.H. Ellert, H.H. Janzen, D.A. Angers, M.R. Carter, C.F. Drury, C.F., G.P. Lafond and R.H. McKenzie, Impact of sampling depth on differences in soil carbon stocks in long-term Agroecosystem experiments, *Soil Science Society America Journal*, 2011, 75 (1), pp. 226–234.