



ЗАВИСИМОСТЬ АГРОХИМИЧЕСКИХ И АГРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ЧЕРНОЗЕМА ОТ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Пакуль А.Л., Божанова Г.В., (✉) Пакуль В.Н.

Кемеровский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал
Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук
Кемеровская область, пос. Новостройка, Россия

(✉) e-mail: vpakyl@mail.ru

Представлены результаты исследований по изучению зависимости агрохимических и агрофизических свойств выщелоченного чернозема от системы обработки почвы. Работа выполнена в 2015–2019 гг. в длительном стационарном полевом опыте в посевах яровой мягкой пшеницы Сибирский Альянс. Почва опытного участка – чернозем выщелоченный средне-мощный среднетяжелосуглинистый. Предшественниками пшеницы были чистый пар, сидеральный пар (рапс), сидеральный пар (донник). Изучены следующие системы обработки почвы: отвальная глубокая (контроль), комбинированная глубокая, комбинированная минимальная, отвальная минимальная. Отмечено преимущество по содержанию нитратного азота в почве до посева, в фазу кущения и колошения пшеницы по предшественнику сидеральный пар (рапс) при использовании отвальной минимальной системы обработки (осенью заделка сидеральной культуры БДТ-3). Установлено влияние системы обработки на содержание нитратного азота в почве в фазу кущения пшеницы – 15,5%, условий года – 12,9, взаимодействия данных факторов – 20,1%. Выявлена положительная взаимосвязь между содержанием нитратного азота в почве и количеством подвижного фосфора по предшественнику сидеральный пар (рапс), $r = 0,7118-0,8917$ ($R = 0,9500$). Высокие показатели содержания P_2O_5 (от 150 мг/кг и выше) отмечены в среднем за 5 лет в фазу колошения пшеницы – от 145,0 до 165,6 мг/кг. Максимальные значения P_2O_5 выявлены по сидеральному пару (рапс) при комбинированной минимальной и отвальной минимальной системах обработки почвы. Достоверное превышение содержания обменного калия в сравнении с контролем по средним показателям за 2015–2019 гг. отмечено при комбинированной глубокой системе обработки – 5,0 мг/кг (НСР₀₅). При остальных изучаемых системах обработки показатели находились на уровне контроля. Выявлены более высокие коэффициенты структурности при отвальной глубокой системе обработки (контроль) – 2,54, комбинированной минимальной – 2,47, отвальной минимальной – 2,23 по предшественнику сидеральный пар (рапс); по сидеральному пару (донник) – 2,98 (отвальная глубокая). При увеличении коэффициента структурности отмечено снижение показателя плотности сложения почвы, $r = -0,3499$ ($R = 0,5760$). Выявлена тенденция к снижению плотности сложения почвы до 0,98 г/см³ по предшественнику сидеральный пар (рапс) при минимализации обработки почвы: комбинированной отвальной и минимальной отвальной; при отвальной глубокой (контроль) – 1,02 г/см³. В результате корреляционного анализа установлено, что при увеличении плотности сложения почвы снижается содержание P_2O_5 , $r = -0,4898$, K_2O , $r = -0,2530$.

Ключевые слова: яровая мягкая пшеница, система обработки почвы, предшественник, агрофизические свойства почвы, водопрочные макроагрегаты, плотность почвы, агрохимические свойства почвы

DEPENDENCE OF AGROCHEMICAL AND AGROPHYSICAL PROPERTIES OF LEACHED CHERNOZEM ON SOIL TREATMENT SYSTEM

Pakul A.L., Bozhanova G.V., (✉) Pakul V.N.

Kemerovo Research Institute of Agriculture – Branch of the Siberian Federal Scientific Center of Agro-Biotechnologies of the Russian Academy of Sciences

Kemerovo region, Russia

(✉) e-mail: vpakul@mail.ru

The results of research on the dependence of agrochemical and agrophysical properties of leached chernozem on the system of soil treatment are presented. The work was performed in 2015–2019 in a long-term stationary field experiment in crops of spring soft wheat Siberian Alliance. The soil of the experimental site is medium-powered medium-humus heavy-loamy leached chernozem. Wheat was preceded by clean fallow, green fallow (rape), green fallow (cloverleaf). The following tillage systems were studied: deep moldboard (control), deep combined, minimum combined, minimum moldboard. There is an advantage in nitrate nitrogen content in the soil before sowing, in the phase of tillering and earing of wheat on the preceding cereal fallow (rape) when using the minimum tillage system (in autumn the break crop BDT-3 is planted). The effect of the tillage system on the nitrate nitrogen content in the soil in the phase of bushing of wheat - 15,5%, conditions of the year - 12,9, the interaction of these factors - 20,1% was determined. A positive relationship between the content of nitrate nitrogen in the soil and the amount of mobile phosphorus on the precursor green fallow (rape), $r = 0.7118 - 0.8917$ ($R = 0.9500$), was detected. High P_2O_5 content (from 150 mg/kg and above) was recorded on average for 5 years during the earing phase of wheat - 145.0 to 165.6 mg/kg. Maximum P_2O_5 values were detected for green fallow (rape) under minimum combined and minimum moldboard systems. A significant increase in exchangeable potassium content over the control average for 2015-2019 was observed with the deep combined tillage system - 5.0 mg/kg ($NSR_{0.5}$). With the other tillage systems studied, the figures were at the control level. Higher soil pedality coefficients were revealed with a deep moldboard processing system (control) - 2.54, a minimum combined - 2.47, a minimum moldboard - 2.23 according to the predecessor green fallow (rapeseed); for green fallow (melilot) - 2.98 (deep moldboard). With an increase in the pedality coefficient, there was a decrease in the soil bulk density index, $r = -0.3499$ ($R = 0.5760$). A tendency was revealed towards a decrease in the soil bulk density to 0.98 g/cm³ according to the predecessor green fallow (rapeseed) with minimization of soil cultivation: combined moldboard and minimum moldboard; with a deep moldboard (control) - 1.02 g/cm³. As a result of the correlation analysis, it was found that with an increase in the soil bulk density, the content of P_2O_5 , $r = -0.4898$, K_2O , $r = -0.2530$, decreases.

Keywords: spring soft wheat, soil tillage system, predecessor, soil agrophysical properties, waterproof macroaggregates, soil density, soil agrochemical properties

Для цитирования: Пакуль А.Л., Божанова Г.В., Пакуль В.Н. Зависимость агрохимических и агрофизических свойств выщелоченного чернозема от системы обработки почвы // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2021. Т. 51. № 5. С. 5–19. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-5-1>

For citation: Pakul A.L., Bozhanova G.V., Pakul V.N. Dependence of agrochemical and agrophysical properties of leached chernozem on soil treatment system. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2021, vol. 51, no. 5, pp. 5–19. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-5-1>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность

Работа выполнена в рамках государственного задания «Разработать эффективные системы повышения и стабилизации продуктивности агрофитоценозов на основе оптимального сочетания химических и биологических средств управления плодородием почвы и фитосанитарным состоянием посевов для производства высококачественной, экологически чистой продукции на лесостепных черноземах Западной Сибири» № 0533-2021-0005 в Кемеровском научно-исследовательском институте сельского хозяйства – филиале Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук.

Acknowledgments

The work was carried out within the framework of the state task: "To develop effective systems for increasing and stabilizing the productivity of agrophytocenoses on the basis of an optimal combination of chemical and biological control means of soil fertility and phytosanitary state of the crops to produce high-quality, environmentally friendly products on the forest-steppe chernozems of the Western Siberia" № 0533-2021-0005 at the Kemerovo Research Institute of Agriculture - Branch of the Siberian Federal Scientific Center for Agro-Biotechnologies of the Russian Academy of Sciences.

ВВЕДЕНИЕ

Агрохимические свойства почвы обуславливают плодородие почвы^{1,2}.

Минеральное питание – один из основных регулируемых факторов, используемых для целенаправленного управления ростом и развитием растений. Необходимое условие высокой продуктивности сельскохозяйственных культур – оптимальная по сбалансированности система питания растений [1–3].

При прохождении процессов минерализации органического вещества почвы происходит мобилизация азота вследствие поглощения микрофлорой и связывания аммиака [4, 5]. Азот относится к элементам, соединения которого играют огромную роль в создании биомассы, функционировании природных и антропогенных систем [6–8]. Оптимизация минерального питания тесно связана с поглощением, транспортом и метаболизмом азота, что обуславливает величину и качество урожая. При достаточном потреблении азота из почвы растения накапливают значительную биомассу в фазу кущения, когда закладывается численная сторона урожая во время 4–5-го этапов органогенеза у зерновых культур (число колосков и цветков в колосе) [9].

Недостаток в фосфорном питании пшеница испытывает раньше, чем в азотном. На дополнительное внесение фосфорных удобрений она отзывается еще до фазы кущения. Если пшеница обеспечена фосфором до колошения, то урожай ее не снижается даже в том случае, когда в более поздние фазы фосфорные удобрения не применяют³.

Содержание подвижных форм фосфора и калия – один из важнейших агрохимических показателей плодородия почв. Хорошая обеспеченность фосфором улучшает углевод-

ный обмен, приводит к накоплению сахаров, что способствует повышению морозостойчивости и зимостойкости, обеспечивает экономное расходование влаги и увеличение засухоустойчивости растений. При недостатке доступного фосфора замедляется синтез белков, возрастает содержание нитратного азота в тканях растений [10–12].

Оптимальная обеспеченность пахотных почв калием – один из обязательных условий высокой продуктивности выращиваемых культур и устойчивого функционирования агроэкосистем [13, 14].

П.А. Чекмарев, П.В. Прудников, рассматривая роль калия в земледелии, поясняют, что фундаментальные, физиолого-биохимические и экологические исследования не только подтверждают известные, но и открывают новые функции этого элемента: он усиливает процесс фотосинтеза и ассимиляции CO₂, способствует большему накоплению ассимилянтов в запасных органах растений [15].

Обработка почвы в системе земледелия рассматривается многими учеными как мощный фактор воздействия на ее агрохимические и агрофизические свойства. В России немало примеров эффективности освоения минимальных систем обработки почвы и прямого посева по стерне. В Новосибирской области в хозяйствах «Рубин» и «Новомайское» Краснозерского района, «Степное» Искитимского района, применяя технологию прямого посева на десятках тысяч гектаров, ежегодно получают высокие и стабильные урожаи [16].

Большой вклад в изучение способов и системы обработки почвы на различных уровнях интенсификации внес академик В.И. Кирюшин. Под его руководством в Сибирском НИИ земледелия были заложены стационар-

¹Афонченко Н.В. Влияние способов обработки почвы на содержание минерального азота // Актуальные проблемы земледелия и защиты почв от эрозии: сб. докл. междунар. науч.-практ. конф. Курск, 2017. С. 87–90.

²Караулова Л.Н. Содержание азота и калия в почвах Курской области // Адаптивно-ландшафтное земледелие: вызовы XXI века: сб. докл. междунар. науч.-практ. конф. Курск, 2018. С. 189–191.

³Ягодин Б.А., Жуков Ю.П., Кобзоренко В.И. Агрохимия. М.: Колос, 2002. 216 с.

ные многофакторные опыты практически во всех почвенно-климатических зонах Новосибирской области⁴.

Обобщение результатов проведенных опытов показало, что при оптимизации минерального питания растений и фитосанитарной ситуации урожайность зерновых культур при различных обработках почвы от отвальной глубокой до нулевой на различных типах почв (чернозем южный тяжелосуглинистый, чернозем обыкновенный тяжелосуглинистый, чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый, лугово-черноземная почва) не различалась⁵.

В процессе обработки почвы особенно сильно проявляются механические факторы структурообразования. При работе почвообрабатывающих орудий наибольшее количество макроагрегатов образуется при физической спелости почвы [17].

Цель исследований – изучить зависимость агрохимических и агрофизических свойств выщелоченного чернозема от системы обработки почвы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Работу проводили в длительном стационарном полевом опыте в Кемеровском научно-исследовательском институте сельского хозяйства – филиале Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН.

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный среднесиловый среднесуглинистый с содержанием гумуса в пахотном слое 8,2%. Исследования проводили в четырехпольном зернопаровом севообороте (пар – пшеница – горох – ячмень) по следующим системам обработки почвы: отвальной глубокой, комбинированной глубокой, комбинированной минимальной, отвальной минимальной.

Системы обработки почвы:

– отвальная глубокая: ежегодно под все культуры основная обработка – вспашка плугом ПН-4-35 на глубину 25–27 см, весной

закрытие влаги БЗТ-1, С-11, предпосевная культивация АКП «Лидер-2,1»;

– комбинированная глубокая: ежегодно под все культуры плоскорезная основная обработка на глубину 25–27 см плоскорезом КПП-250, весной закрытие влаги БЗТ-1, С-11, предпосевная культивация КПС-4,2;

– комбинированная минимальная: ежегодно под все культуры плоскорезная основная обработка на глубину 12–14 см плоскорезом КПП-250, весной закрытие влаги БЗТ-1, С-11, предпосевная культивация КПП-3,8;

– отвальная минимальная: ежегодно по предшественникам чистый и сидеральный пар осенняя обработка БДТ-3, весной прямой посев посевным комплексом.

Посев на всех вариантах проводили посевным комплексом Томь-5,1 с одновременным внесением 1,0 ц/га аммофоса ($N_{12}P_{52}$). Площадь опытных делянок по обработкам почвы 4720 м², учетная – 100 м², повторность четырехкратная. Высевали сорт яровой мягкой пшеницы Сибирский Альянс по трем предшественникам: чистому пару, сидеральному пару (рапс) и сидеральному пару (донник).

Влажность почвы определяли термостатно-весовым методом в метровом слое по фазам развития ярового ячменя⁶, агрофизические свойства почвы – по методике Н.А. Качинского⁷, плотность сложения (dv) – как массу абсолютно сухой почвы (M) в единице объема почвы (V) со всеми свойственными естественной почве пустотами (г/см³) ($dv = M/V$). Плотность почвы устанавливали по слоям, затем рассчитывали на слой 40 см. Агрегатный состав почвы определяли методом Н.И. Саввинова, который основан на возможности разделения почвы на фракции на ситах с отверстиями различного диаметра (см. сноску 7).

Учет урожая зерна проводили методом сплошной уборки селекционным комбайном Сампо-130. Показатели урожая зерна приведены к 100%-й чистоте и 14%-й влажности

⁴Кирюшин В.И. Методологическая концепция развития земледелия в Сибири: методические рекомендации. Новосибирск, 1989. 45 с.

⁵Власенко А.Н. Научные основы минимализации систем основной обработки почвы в лесостепи Западной Сибири. Новосибирск, 1994. 76 с.

⁶Практикум по почвоведению / под ред. И.С. Кауричева; 3-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 1980. 272 с.

⁷Качинский Н.А. Физика почв. М.: Высшая школа, 1965. 318 с.

по ГОСТ 13586.5–936⁸. Статистическая обработка полученных данных проведена методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову⁹ с использованием компьютерных программ О.Д. Сорокина¹⁰.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

За годы проведения исследований (2015–2019) содержание нитратного азота в посевах яровой мягкой пшеницы в период вегетации было различным (см. табл. 1). Специфика поведения нитратного азота в почве такова, что контроль его наличия необходимо проводить ежегодно до посева. Нитратный азот находится в почвенном растворе, поэтому колебания его содержания в пахотном слое в течение вегетационного периода существенно зависят от условий увлажнения [18].

За годы проведения исследований содержание нитратного азота до посева по средним

показателям составило в 2015 г. 13,6 мг/кг почвы, 2016 г. – 10,0, 2017 г. – 21,8, 2018 г. – 12,0, 2019 г. – 11,9 мг/кг. Выявлена доля влияния условий года на содержание нитратного азота до посева – 48,6%, системы обработки почвы – 7,7%.

До посева содержание N-NO₃ в среднем за 5 лет по предшественнику чистый пар составило 10,6–17,5 мг/кг почвы, преимущество имеют минимальные системы обработки почвы – комбинированная и отвальная: 17,5 и 17,4 мг/кг почвы соответственно. Такая тенденция сохраняется по предшественнику сидеральный пар (рапс) и сидеральный пар (донник). По рапсу достоверное преимущество по содержанию N-NO₃ имела отвальная минимальная система обработки почвы, превышение к контролю (отвальная глубокая) 2,1 мг/кг почвы (НСР₀₅ = 1,83).

Содержание нитратного азота увеличилось в сравнении с контролем по предше-

Табл. 1. Содержание N-NO₃ в посевах яровой мягкой пшеницы Сибирский Альянс в слое почвы 0–40 см (2015–2019 гг.), мг/кг почвы

Table 1. The content of N-NO₃ in crops of spring soft wheat Siberian Alliance in the soil layer is 0–40 cm, mg/kg of soil (2015–2019)

Система обработки почвы	До посева	Фаза кущения	Фаза колошения
<i>Предшественник чистый пар</i>			
Отвальная глубокая (контроль)	10,6	16,3	15,4
Комбинированная глубокая	14,5	22,0	11,7
Комбинированная минимальная	17,5	22,2	14,3
Отвальная минимальная	17,4	21,8	14,9
<i>Предшественник сидеральный пар (рапс)</i>			
Отвальная глубокая (контроль)	12,5	19,9	14,5
Комбинированная глубокая	13,7	20,6	14,5
Комбинированная минимальная	13,5	19,3	15,5
Отвальная минимальная	14,6	28,3	16,8
<i>Предшественник сидеральный пар (донник)</i>			
Отвальная глубокая (контроль)	10,3	19,1	12,2
Комбинированная глубокая	12,4	19,8	11,7
Комбинированная минимальная	13,9	21,7	13,6
Отвальная минимальная	15,7	27,9	11,9

Среднее по факторам, N-NO₃, мг/кг почвы; система обработки почвы: отвальная глубокая – 14,5, комбинированная глубокая – 15,7, комбинированная минимальная – 16,8, отвальная минимальная – 18,8; фазы развития: до посева – 13,9, фаза кущения – 21,6, фаза колошения – 13,9; предшественник: чистый пар – 16,5, сидеральный пар (рапс) – 17,0, сидеральный пар (донник) – 15,9; НСР₀₅ по факторам, мг/кг почвы: система обработки почвы – 1,83, предшественник – 1,59, фазы развития – 1,59.

⁸Межгосударственный стандарт. Зерно. Методы анализа: Сб. ГОСТов. М.: ИПК, 2001.

⁹Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1979. 415 с.

¹⁰Сорокин О.Д. Прикладная статистика на компьютере. Краснообск: РПО СО РАСХН, 2004. 162 с.

стеннику сидеральный пар (донник) при комбинированной глубокой системе обработки на 2,1 мг/кг почвы, комбинированной минимальной – на 3,6, отвальной минимальной – на 5,4 мг/кг.

Внесение аммофоса ($N_{12}P_{52}$) одновременно с посевом, прохождение процессов нитрификации в почве увеличили содержание нитратного азота в почве к фазе кущения яровой мягкой пшеницы. Наиболее высокое содержание $N-NO_3$ отмечено по предшественникам сидеральный пар (донник) и сидеральный пар (рапс) при использовании отвальной минимальной системы обработки почвы (осенью заделка сидеральной культуры БДТ-3) – 27,9 и 28,3 мг/кг почвы соответственно.

Повышенное содержание нитратного азота в фазу кущения отмечено за 2015–2019 гг. при использовании комбинированных глубокой и минимальной систем обработки почвы: по предшественнику чистый пар – 22,0–22,2 мг/кг почвы, сидеральный пар (рапс) – 20,6 и 19,3, сидеральный пар (донник) – 19,8 и 21,7 мг/кг соответственно. При отвальной глубокой системе обработки почвы содержание $N-NO_3$ в зависимости от предшественника равно 16,3–19,9 мг/кг почвы. Влияние системы обработки на содержание нитратного азота в почве в фазу кущения яровой мягкой пшеницы составило 15,5%, условий года – 12,9, взаимодействие данных факторов – 20,1%.

Влияние условий года определялось в большей степени влагообеспеченностью. Установлена положительная взаимосвязь между гидротермическим коэффициентом (ГТК) в период вегетации и содержанием нитратного азота в фазу восковой спелости яровой мягкой пшеницы. По предшественнику чистый пар такая корреляционная взаимосвязь отмечена в 2015–2018 гг.: $r = 0,5315-0,9736^*$ (* – здесь и далее по тексту означает выше порога достоверности), по рапсу в 2017–2018 гг. $r = 0,3204-0,8690$, по доннику в 2015–2016 гг. $r = 0,7313-0,9730^*$.

По средним показателям за 5 лет (2015–2019) достоверно высокое содержание продуктивной влаги в слое почвы 0–20 см в период посева отмечено по предшественникам чистый пар и сидеральный пар (рапс) при отвальной минимальной системе обработ-

ки почвы – 29,7 мм, при отвальной глубокой (контроль) – 26,3 и 27,4 мм соответственно (см. табл. 2).

По средним показателям за 2015–2019 гг. наибольшее содержание продуктивной влаги в слое почвы 0–20 см отмечено в фазу кущения по предшественнику сидеральный пар (рапс) при отвальной минимальной системе обработки почвы (27,3 мм) по сравнению с контролем (отвальная глубокая, 22,7 мм), по предшественнику чистый пар при комбинированной минимальной – 25,4 мм (контроль – 20,2 мм). По чистому пару запасы продуктивной влаги при отвальной минимальной системе обработки почвы выше в сравнении с контролем на 3,2 мм. По сидеральному пару (донник) запасы продуктивной влаги по всем системам обработки почвы на уровне контроля – 23,9–24,2 мм (контроль – 20,3 мм, $HCP_{05} = 4,69$). Результаты дисперсионного анализа показали, что наибольшее (21,3%) влияние на содержание продуктивной влаги в корнеобитаемом слое почвы оказали системы обработки почвы, влияние предшественника не установлено.

К фазе колошения яровой мягкой пшеницы в условиях северной лесостепи Кузнецкой котловины отмечено ежегодное выпадение осадков, содержание продуктивной влаги в корнеобитаемом слое почвы по средним показателям за 2015–2019 гг. достаточно высокое для налива зерна: по чистому пару – 29,5 мм, сидеральному (рапс) – 29,9, доннику – 31,0 мм. Выявлена доля влияния системы обработки почвы на содержание продуктивной влаги в фазу кущения в слое почвы 0–100 см – 4,6%, в фазу колошения данного влияния не установлено.

При использовании минимальных технологий с введением в севооборот сидеральных культур и многолетних трав, сохранением стерневых фонов повышается в ризосфере биологическая активность почвы, происходит минерализация органического вещества с высвобождением доступных форм элементов питания, в частности нитратного азота [19].

При использовании растениями яровой мягкой пшеницы нитратного азота от фазы кущения к фазе колошения его содержание снизилось в среднем на 35,7% (от 21,6 до 13,9 мг/кг почвы). Отмечено влияние систе-

Табл. 2. Запасы продуктивной влаги в посевах яровой мягкой пшеницы в слое почвы 0–20 см (2015–2019 гг.), мм

Table 2. Reserves of productive moisture in crops of spring soft wheat in the soil layer 0–20 cm (2015–2019), mm

Система обработки почвы	Посев	Кущение	Колошение
<i>Предшественник чистый пар</i>			
Отвальная глубокая (контроль)	26,3	20,2	27,7
Комбинированная глубокая	25,8	21,4	31,1
Комбинированная минимальная	26,9	25,4	29,9
Отвальная минимальная	29,7	23,4	29,2
<i>Предшественник сидеральный пар (рапс)</i>			
Отвальная глубокая (контроль)	27,4	22,7	29,5
Комбинированная глубокая	27,6	19,0	30,6
Комбинированная минимальная	27,7	21,3	30,8
Отвальная минимальная	29,7	27,3	28,8
<i>Предшественник сидеральный пар (донник)</i>			
Отвальная глубокая (контроль)	24,8	20,3	30,4
Комбинированная глубокая	25,5	23,9	30,5
Комбинированная минимальная	26,1	24,2	31,8
Отвальная минимальная	26,7	24,0	31,4

НСР₀₅ по факторам (посев): система обработки почвы – 2,0, предшественник – 1,74.

НСР₀₅ по факторам (кущение): система обработки почвы – 4,69, предшественник – 4,06.

НСР₀₅ по факторам (колошение): система обработки почвы – 1,75, предшественник – 1,52.

мы обработки почвы на содержание нитратного азота в почве в фазу колошения – 10,7%, влияние предшественника не установлено. Наибольшее содержание нитратного азота выявлено в данную фазу при отвальной минимальной системе обработки почвы по предшественнику рапс – 16,8 мг/кг почвы, контроль – 14,5 мг/кг.

Подвижные формы фосфора практически не передвигаются по почвенному профилю, поэтому наибольшее значение при оценке обеспеченности им растений имеет его содержание в корнеобитаемом слое почвы (0–40 см). Группировка почв по обеспеченности растений подвижными соединениями фосфора по Чирикову следующая: меньше 20 мг/кг почвы – обеспеченность очень низкая, от 20 до 50 – низкая, от 50 до 100 – средняя, от 100 до 150 – повышенная, от 150 до 200 – высокая, больше 200 мг/кг – очень высокая [20].

Содержание подвижного фосфора по средним показателям за 2015–2019 гг. в посевах яровой мягкой пшеницы Сибирский Альянс независимо от предшественника характеризуется как повышенное: до посева от 132,6 до 148,8 мг/кг почвы, в фазу кущения от 137,4 до 150,0 мг/кг (см. табл. 3).

Высокие показатели содержания P_2O_5 (от 150 мг/кг и выше) отмечены в среднем за 5 лет в фазу колошения – от 145,0 до 165,6 мг/кг. При этом максимальные значения получены по сидеральному пару (рапс) при комбинированной минимальной системе обработки почвы – 160,6 мг/кг почвы – и отвальной минимальной – 165,6 мг/кг, при отвальной глубокой (контроль) – 150,6 мг/кг. Доля влияния системы обработки почвы на содержание подвижного фосфора составила 5,1%, предшественника – 2,8%.

По предшественнику сидеральный пар (донник) также при использовании отвальной минимальной системы обработки отмечено высокое содержание подвижного фосфора в фазу колошения – 161,6 мг/кг почвы (контроль – 151,0 мг/кг).

Корреляционный анализ по результатам наших исследований показал положительную взаимосвязь между содержанием нитратного азота в почве и количеством подвижного фосфора по предшественнику сидеральный пар (рапс), $r = 0,7118–0,8917$ ($R = 0,9500$). В соответствии с увеличением обеспеченности фосфором возрастает микробиологическая

Табл. 3. Содержание P_2O_5 в посевах яровой мягкой пшеницы Сибирский Альянс в слое почвы 0–40 см по фазам развития растений (2015–2019 гг.), мг/кг почвы**Table 3.** P_2O_5 content in spring soft wheat crops Siberian Alliance in soil layer 0–40 cm, mg/kg of soil, by plant development phases (2015–2019)

Система обработки почвы	До посева	Фаза кущения	Фаза колошения
<i>Предшественник чистый пар</i>			
Отвальная глубокая (контроль)	132,6	137,4	154,8
Комбинированная глубокая	140,0	143,0	152,4
Комбинированная минимальная	144,4	147,2	154,6
Отвальная минимальная	139,6	141,0	156,0
<i>Предшественник сидеральный пар (рапс)</i>			
Отвальная глубокая (контроль)	144,2	143,4	150,6
Комбинированная глубокая	143,6	143,0	150,4
Комбинированная минимальная	147,0	147,6	160,6
Отвальная минимальная	139,8	147,2	165,6
<i>Предшественник сидеральный пар (донник)</i>			
Отвальная глубокая (контроль)	148,8	149,2	151,0
Комбинированная глубокая	141,6	142,4	145,0
Комбинированная минимальная	144,0	141,0	147,2
Отвальная минимальная	143,4	150,0	161,6

Среднее по факторам, мг/кг почвы: P_2O_5 , система обработки почвы: отвальная глубокая – 145,8, комбинированная глубокая – 144,6, комбинированная минимальная – 148,2, отвальная минимальная – 149,4; фазы развития: до посева – 142,4, фаза кущения – 144,4, фаза колошения – 154,1; предшественник: чистый пар – 145,3, сидеральный пар (рапс) – 148,6, сидеральный пар (донник) – 147,1; НСР₀₅ по факторам, мг/кг почвы: система обработки почвы – 3,23, предшественник – 2,80, фазы развития – 2,80.

активность почвы, увеличивается содержание нитратного азота [21, 22].

Содержание обменного калия имело различия по вариантам опыта. По средним показателям (2015–2019 гг.) содержание K_2O при отвальной глубокой системе обработки почвы (контроль) – 107,8 мг/кг почвы, комбинированной глубокой – 112,8, комбинированной минимальной – 110,0, отвальной минимальной – 106,2 мг/кг (см. табл. 4).

Достоверное превышение содержания обменного калия в сравнении с контролем отмечено при комбинированной глубокой системе обработки почвы – 5,0 мг/кг (НСР₀₅), при остальных изучаемых системах обработки показатели на уровне контроля.

Влияние системы обработки почвы на содержание обменного калия составило 7,5%, предшественника – 18,5, взаимодействие данных факторов – 12,3%.

Отмечено увеличение содержания обменного калия в период вегетации яровой мягкой пшеницы при комбинированной глубокой системе обработки почвы: по предшественнику чистый пар до посева – 113,2 мг/кг, в фазу

кущения – 101,2, колошения – 117,0 мг/кг, на контроле соответственно – 108,8; 95,2; 106,2 мг/кг. Такая же тенденция выявлена и при использовании комбинированной минимальной системы обработки почвы: превышение к контролю составило 3,8–7,6 мг/кг почвы. По сидеральному пару (рапс) увеличение содержания обменного калия в сравнении с контролем при всех системах обработки почвы или отсутствовало, или было незначительным.

М.Л. Цветков, А.Ф. Колесников по результатам проведенных исследований отмечают, что корни растений донника способны усваивать труднодоступные формы элементов минерального питания растений (калий и фосфор) из глубоких слоев почвы за счет хорошо развитой корневой системы. При посеве в севообороте по предшественнику сидеральный пар (донник) увеличивается содержание в почве подвижного фосфора и обменного калия [23].

По содержанию K_2O до посева яровой мягкой пшеницы по предшественнику сидеральный пар (донник) преимущество

Табл. 4. Содержание K_2O в посевах яровой мягкой пшеницы Сибирский Альянс в слое почвы 0–40 см по фазам развития растений (2015–2019 гг.), мг/кг почвы

Table 4. K_2O content in spring soft wheat crops Siberian Alliance in soil layer 0–40 cm, mg/kg of soil, by plant development phases (2015–2019)

Система обработки почвы	До посева	Фаза кущения	Фаза колошения
<i>Предшественник чистый пар</i>			
Отвальная глубокая (контроль)	108,8	95,2	106,2
Комбинированная глубокая	113,2	101,2	117,0
Комбинированная минимальная	112,6	102,8	110,0
Отвальная минимальная	105,2	92,4	104,2
<i>Предшественник сидеральный пар (рапс)</i>			
Отвальная глубокая (контроль)	102,0	116,4	111,6
Комбинированная глубокая	108,6	120,8	113,6
Комбинированная минимальная	105,6	104,0	110,4
Отвальная минимальная	89,0	105,0	111,0
<i>Предшественник сидеральный пар (донник)</i>			
Отвальная глубокая (контроль)	107,6	106,2	116,0
Комбинированная глубокая	111,8	112,8	116,0
Комбинированная минимальная	120,0	114,2	110,8
Отвальная минимальная	114,0	118,4	116,6

Среднее по факторам, мг/кг почвы: K_2O , система обработки почвы: отвальная глубокая – 107,8, комбинированная глубокая – 112,8, комбинированная минимальная – 110, отвальная минимальная – 106,2; фазы развития: до посева – 108,2, фаза кущения – 107,4, фаза колошения – 111,9; предшественник: чистый пар – 105,7, сидеральный пар (рапс) – 108,2, сидеральный пар (донник) – 113,7; НСР₀₅ по факторам, мг/кг почвы: система обработки почвы – 4,39, предшественник – 3,80, фазы развития – 3,80.

имели комбинированная глубокая система обработки почвы – на 4,2 мг/кг, отвальная минимальная – на 6,4, комбинированная минимальная – на 12,4 мг/кг (в контроле – 107,6 мг/кг) в фазу кущения – на 6,6; 12,2; 8,0 мг/кг соответственно (в контроле – 106,2 мг/кг).

Изменения агрофизических показателей почвы характеризуют процессы, происходящие в почве под влиянием системы ее обработки. При оценке структурного состояния почвы выявлено, что средние показатели по содержанию агрономически ценных агрегатов, наиболее устойчивых к размывающему действию воды (1–3 мм), в зависимости от условий года варьировали в незначительных пределах: 2015 г. – 33,1%, 2016 г. – 34,2, 2017 г. – 34,5, 2018 г. – 35,5, 2019 г. – 33,8% (см. табл. 5).

Отмечено влияние системы обработки почвы на содержание агрономически ценных агрегатов – 10,1%, взаимодействие системы обработки почвы и предшественника усиливает данное влияние до 40,6%.

В среднем за 2015–2019 гг. в зависимости от системы обработки почвы показатели по со-

держанию агрономически ценных агрегатов следующие: отвальная глубокая – 36,0%, комбинированная глубокая – 31,9, комбинированная минимальная – 35,1, отвальная минимальная – 34,0%; по предшественникам: чистый пар – 32,9 %, сидеральный пар (рапс) – 34,5, сидеральный пар (донник) – 35,3%.

В настоящее время существует отчетливая тенденция к минимализации обработки почвы и прямому посеву [24]. Минимализация обработки не ухудшила состояние агрегатного состава почвы: при комбинированной минимальной и отвальной минимальной системах количество агрономически ценных агрегатов находилось на уровне контроля (отвальная глубокая). Структурность почвы можно охарактеризовать не только количеством ценных агрегатов, но и коэффициентом структурности, который показывает отношение содержания агрономически ценных агрегатов к сумме содержания глыбистой и пылевой фракций. Отмечены более высокие коэффициенты структурности при отвальной глубокой системе (контроль) – 2,54, комбинированной минимальной – 2,47, отвальной

Табл. 5. Содержание агрономически ценных агрегатов (1–3 мм), % от воздушно-сухой почвы
Table 5. Content of agronomically valuable aggregates (1–3 mm), % of air-dry soil

Система обработки почвы	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
<i>Предшественник чистый пар</i>					
Отвальная глубокая (контроль)	32,8	30,7	23,0	31,2	31,9
Комбинированная глубокая	31,8	32,6	32,3	33,3	32,2
Комбинированная минимальная	33,9	35,8	34,4	36,0	36,2
Отвальная минимальная	29,8	34,4	37,2	34,1	34,4
<i>Предшественник сидеральный пар (рапс)</i>					
Отвальная глубокая (контроль)	32,4	32,0	39,6	37,7	38,1
Комбинированная глубокая	29,7	33,8	31,1	31,9	31,6
Комбинированная минимальная	37,5	40,0	34,8	35,2	36,9
Отвальная минимальная	29,7	28,5	35,2	37,0	37,7
<i>Предшественник сидеральный пар (донник)</i>					
Отвальная глубокая (контроль)	40,5	42,2	48,5	46,2	33,2
Комбинированная глубокая	30,4	33,2	30,5	33,4	30,8
Комбинированная минимальная	32,7	31,6	33,6	34,6	32,9
Отвальная минимальная	36,2	36,1	34,4	35,2	29,9

Среднее по факторам, %: агрономически ценные частицы 1–3 мм: система обработки почвы: отвальная глубокая – 36,0, комбинированная глубокая – 31,9, комбинированная минимальная – 35,1, отвальная минимальная – 34,0; предшественник: чистый пар – 32,9, сидеральный пар (рапс) – 34,5, сидеральный пар (донник) – 35,3; год исследований: 2015 – 33,1, 2016 – 34,2, 2017 – 34,5, 2018 – 35,5, 2019 – 33,8. НСР₀₅ по факторам, мг/кг почвы: система обработки почвы – 2,4, предшественник – 2,1, годы – 2,7.

минимальной – 2,23 по предшественнику сидеральный пар (рапс) (см. табл. 6).

По предшественнику чистый пар увеличение коэффициента структурности почвы выявлено при использовании комбинированной и отвальной минимальных систем обработки – 2,21 и 2,11 соответственно, при отвальной глубокой (контроль) – 1,66. Влияние системы обработки почвы на коэффициент структурности почвы составило 19,3%, предшественника – 3,65. Наибольшее влияние определено при взаимодействии этих двух факторов – 34,4%. За счет внесения органического вещества при использовании сидеральных культур улучшается структура почвы. По предшественнику сидеральный пар (рапс) при использовании отвальной глубокой обработки почвы коэффициент структурности составил 2,54, по доннику – 2,98.

При увеличении коэффициента структурности отмечено снижение показателя плотности сложения почвы, $r = -0,3499$ ($R = 0,5760$), который является важным при оценке ее агрофизических свойств.

Оптимальная равновесная плотность сложения для основных подтипов черноземов

составляет 1,00–1,25 г/см³. При таких значениях возможно использовать минимальные технологии их обработки [25].

По предшественнику чистый пар плотность сложения почвы составила от 1,00 до 1,04 г/см³. Увеличение на 0,04 г/см³ отмечено при использовании отвальной минимальной системы обработки почвы (см. табл. 7).

Выявлена тенденция к снижению плотности сложения почвы до 0,98 г/см³ по предшественнику сидеральный пар (рапс) при минимализации обработки почвы: комбинированной отвальной и минимальной отвальной, при отвальной глубокой (контроль) – 1,02 г/см³. По всем изучаемым предшественникам при использовании комбинированной глубокой системы обработки почвы отмечено увеличение плотности сложения почвы на 0,01–0,07 г/см³. Условия года в значительной мере оказали влияние на плотность сложения почв – 55,9%, система обработки почвы – 11,1%. В результате корреляционного анализа установлено, что при увеличении плотности сложения почвы происходит снижение содержания P_2O_5 , $r = -0,4898$; K_2O , $r = -0,2530$.

Табл. 6. Коэффициент структурности почвы

Table 6. Soil pedality coefficient

Система обработки почвы	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2015–2019 гг.
<i>Предшественник чистый пар</i>						
Отвальная глубокая (контроль)	2,1	1,55	1,34	1,70	1,60	1,66
Комбинированная глубокая	1,94	1,58	1,78	1,75	1,57	1,72
Комбинированная минимальная	2,1	2,24	2,15	2,15	2,39	2,21
Отвальная минимальная	1,58	2,1	2,68	2,05	2,16	2,11
<i>Предшественник сидеральный пар (рапс)</i>						
Отвальная глубокая (контроль)	1,97	2,39	2,78	2,32	3,22	2,54
Комбинированная глубокая	1,58	1,62	1,44	1,47	1,56	1,53
Комбинированная минимальная	2,87	3,03	1,90	1,86	2,69	2,47
Отвальная минимальная	2,60	1,57	2,26	2,26	2,45	2,23
<i>Предшественник сидеральный пар (донник)</i>						
Отвальная глубокая (контроль)	2,82	3,01	3,89	3,20	1,98	2,98
Комбинированная глубокая	1,59	2,12	1,69	1,72	1,98	1,82
Комбинированная минимальная	1,75	1,82	1,75	1,78	2,00	1,82
Отвальная минимальная	2,28	2,08	2,19	2,25	1,60	2,10

Среднее по факторам, коэффициент структурности, система обработки почвы: отвальная глубокая – 2,39, комбинированная глубокая – 1,69, комбинированная минимальная – 2,16, отвальная минимальная – 2,14; предшественник: чистый пар – 1,93, сидеральный пар (рапс) – 2,19, сидеральный пар (донник) – 2,17; год исследований: 2015 – 2,10, 2016 – 2,09, 2017 – 2,15, 2018 – 2,04, 2019 – 2,10. НСР₀₅ по факторам: система обработки почвы – 0,30, предшественник – 0,34, год – 0,26.

Табл. 7. Плотность сложения почвы (2015–2019 гг.), г/см³

Table 7. Soil bulk density (2015–2019)

Система обработка почвы	Плотность почвы в слое почвы 0–40 см
<i>Предшественник чистый пар</i>	
Отвальная глубокая (контроль)	1,00
Комбинированная глубокая	1,01
Комбинированная минимальная	1,00
Отвальная минимальная	1,04
<i>Предшественник сидеральный пар (рапс)</i>	
Отвальная глубокая (контроль)	1,02
Комбинированная глубокая	1,05
Комбинированная минимальная	0,98
Отвальная минимальная	0,98
<i>Предшественник сидеральный пар (донник)</i>	
Отвальная глубокая (контроль)	1,00
Комбинированная глубокая	1,07
Комбинированная минимальная	0,98
Отвальная минимальная	1,02

Среднее по факторам, плотность почвы: система обработки почвы: отвальная глубокая – 1,01, комбинированная глубокая – 1,04, комбинированная минимальная – 0,99, отвальная минимальная – 1,01; предшественник: чистый пар, сидеральный пар (рапс) – 1,01, сидеральный пар (донник) – 1,02. НСР₀₅ по факторам: система обработки почвы – 0,05, предшественник – 0,04.

ВЫВОДЫ

1. Наибольшее содержание нитратного азота до посева яровой мягкой пшеницы по предшественникам сидеральный пар (рапс), сидеральный пар (донник), чистый пар при использовании отвальной минимальной системы обработки почвы превышение по отношению к контролю (отвальная глубокая) составило 2,1; 5,4 и 6,8 мг/кг почвы соответственно.

2. Преимущество по содержанию $N-NO_3$ в фазу кущения яровой мягкой пшеницы отмечено по предшественникам сидеральный пар (донник) и сидеральный пар (рапс) при использовании отвальной минимальной системы обработки почвы (осенью заделка сидеральной культуры БДТ-3) – 27,9 и 28,3 мг/кг почвы соответственно. Влияние системы обработки на содержание нитратного азота в почве в фазу кущения яровой мягкой пшеницы составило 15,5%, условий года – 12,9, взаимодействие данных факторов – 20,1%.

3. При использовании растениями яровой мягкой пшеницы нитратного азота от фазы кущения к фазе колошения его содержание снизилось в среднем по опыту на 35,7% (от 21,6 до 13,9 мг/кг почвы). Отмечено влияние системы обработки почвы на содержание нитратного азота в почве в фазу колошения – 10,7%; влияние предшественника не выявлено. Наиболее высокий показатель содержания нитратного азота отмечен при отвальной минимальной системе обработки почвы по предшественнику рапс – 16,8 мг/кг почвы, контроль – 14,5 мг/кг.

4. Высокие показатели содержания P_2O_5 (от 150 мг/кг и выше) установлены в среднем за 5 лет в фазу колошения – от 145,0 до 165,6 мг/кг; максимальные значения получены по сидеральному пару (рапс) при комбинированной минимальной системе обработки – 160,6 мг/кг и отвальной минимальной – 165,6 мг/кг, при отвальной глубокой (контроль) – 150,6 мг/кг почвы. Доля влияния системы обработки почвы на содержание подвижного фосфора составила 5,1%, предшественника – 2,8%. Выявлена положительная взаимосвязь между содержанием нитратного азота в почве и количеством подвижного

фосфора по предшественнику сидеральный пар (рапс), $r = 0,7118-0,8917$ ($R = 0,9500$).

5. Достоверное превышение содержания обменного калия в сравнении с контролем по средним показателям за 2015–2019 гг. отмечено при комбинированной глубокой системе обработки – 5,0 мг/кг ($НСР_{05}$), при остальных изучаемых системах показатели были на уровне контроля. Влияние системы обработки почвы на содержание обменного калия составило 7,5%, предшественника – 18,5, взаимодействие данных факторов – 12,3%.

6. Отмечено влияние системы обработки почвы на содержание агрономически ценных агрегатов, наиболее устойчивых к размывающему действию воды (1–3 мм) – 10,1%. Взаимодействие системы обработки почвы и предшественника усиливает данное влияние до 40,6%. В среднем за 2015–2019 гг. в зависимости от системы обработки почвы показатели по содержанию агрономически ценных агрегатов составили по отвальной глубокой 36,0%, комбинированной глубокой – 31,9, комбинированной минимальной – 35,1, отвальной минимальной – 34,0%; по предшественникам: чистому пару – 32,9%, сидеральному (рапс) – 34,5 %, сидеральному (донник) – 35,3%.

7. Отмечены более высокие коэффициенты структурности при отвальной глубокой системе обработки почвы (контроль) – 2,54, комбинированной минимальной – 2,47, отвальной минимальной – 2,23 по предшественнику сидеральный пар (рапс), сидеральному (донник) – 2,98 (отвальная глубокая).

8. Влияние системы обработки почвы на коэффициент структурности почвы составило 19,3%, предшественника – 3,65%. Наибольшее влияние определено при взаимодействии этих двух факторов – 34,4%. При увеличении коэффициента структурности отмечено снижение показателя плотности сложения почвы, $r = -0,3499$ ($R = 0,5760$), который является важным при оценке ее агрофизических свойств.

9. Выявлена тенденция к снижению плотности сложения почвы до 0,98 г/см³ по предшественнику сидеральный пар (рапс) при минимализации обработки почвы: ком-

бинированной отвальной и минимальной отвальной обработках, отвальной глубокой (контроль) – 1,02 г/см³. По всем изучаемым предшественникам отмечено увеличение плотности сложения почвы при использовании комбинированной глубокой системы обработки почвы на 0,01–0,07 г/см³. Условия года в значительной мере оказали влияние на плотность сложения почв – 55,9%, система обработки почвы – 11,1%. В результате корреляционного анализа установлено, что при увеличении плотности сложения почвы снижается содержание P₂O₅, $r = -0,4898$, K₂O, $r = -0,2530$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Panfilova A., Korkhova M., Markova N.* Optimization of elements of the technology of *Triticumaestivum* L. cultivation Kolchuga variety in the conditions of the southern steppe of Ukraine // *Agrolife Scientific Journal*. 2019. Vol. 8. P. 112–120.
2. *Singh S.P.* Effect of integrated nutrient management on wheat (*Triticumaestivum*) yield, nutrient uptake and soil fertility status in alluvial soil // *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 2019. Vol. 89. N 6. P. 929–933.
3. *Yue X.L., Hu Y.C., Zhang H.Z.* Optimizing the nitrogen management strategy for winter wheat in the North China plain using rapid soil and plant nitrogen measurements // *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2019. Vol. 50. N 11. P. 1310–1320. DOI: 10.1080/00103624.2019.1604738.
4. *Liu E., Yan C.R., Mei X.R.* Long-term effect of chemical fertilizer, straw, and manure on soil chemical and biological properties in northwest China // *Geoderma*. 2010. Vol. 158. N 3–4. P. 173–180. DOI: 10.1016/j.geoderma.2010.04.029.
5. *Liu Y.R., Li X., Shen Q.R.* Enzyme activity in water-stable soil aggregates as affected by long-term application of organic manure and chemical fertilizer // *Pedosphere*. 2013. Vol. 23. N 1. P. 111–119. DOI: 10.1016/S1002-0160(12)60086-1.
6. *Щербаков А.П., Чуян Г.А., Виноградов Ю.А.* Азот в современных агроландшафтах Центрально-черноземной зоны (ЦЧЗ) // *Агрохимия*. 1990. № 11. С. 38–46.
7. *Каиштанов А.Н., Явтушенко В.Е.* Агроэкология почв склонов: монография. М.: Колос. 1997. 239 с.
8. *Uvarov G.I., Solovlev A.B., Lebedeva M.G.* The role of weather conditions and agricultural technologies in the formation of the winter wheat crop in the southwest of the Central Chernozem region of Russia // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2017. N 242. P. 75–84.
9. *Duan W.X., Yu Z.W., Zhang Y.L.* Effects of nitrogen application on biomass accumulation, remobilization, and soil water contents in a rainfed wheat field // *Turkish Journal of Field Crops*. 2014. Vol. 19. N 1. P. 25–34. DOI: 10.17557/tjfc.45522.
10. *Иванов А.Л., Сычев В.Г., Державин Л.М.* Агрохимический цикл фосфора: монография. М.: РАСХН. 2012. 522 с.
11. *Просьянникова О.И., Просьянников В.И.* Плодородие почвы и урожайность полевых культур в условиях Кемеровской области // *Достижения науки и техники АПК*. 2014. № 10 (28). С. 3–8.
12. *Medvedev V.V., Laktionova T.N.* Analysis of the experience of European countries in soil monitoring // *Eurasian soil science*. 2012. Vol. 45. N 1. P. 90–97. DOI: 10.1134/S1064229312010139.
13. *Якименко В.Н.* Формы калия в почве и методы их определения // *Почвы и окружающая среда*. 2018. № 1 (1). С. 26–33.
14. *Якименко В.Н.* К вопросу оценки калийного состояния почв агроценозов // *Плодородие*. 2009. № 4. С. 8–10.
15. *Чекмарев П.А., Прудников П.В.* Агрохимическое и агрофизическое состояние почв, эффективность применения средств химизации и новых комплексных удобрений в Брянской области // *Достижения науки и техники АПК*. 2016. № 7 (30). С. 24–33.
16. *Власенко А.Н., Власенко Н.Г., Коротких Н.А.* Перспективы технологии No-till в Сибири // *Земледелие*. 2014. № 1. С. 16–26.
17. *Тугуз Р.К.* Способы определения строения (сложения) пахотного слоя // *Аграрный вестник Урала*. 2011. № 3 (82). С. 12–15.
18. *Гаркуша А.А., Дерянова Е.Г.* Запасы нитратного азота в почве и эффективность применения азотных удобрений под яровую пшеницу в условиях лесостепи Алтайского края // *Достижения науки и техники АПК*. 2015. № 6 (29). С. 8–10.
19. *Тереженко Н.Н., Лапишинов Н.А., Пакуль В.Н., Березин В.Ю.* Микробиологические процессы в ризосфере при различных обработках почвы // *Достижения науки и техники АПК*. 2011. № 12. С. 12–15.

20. Созинов А.В., Горбунов М.Ю. Методология мониторинга подвижных форм азота и фосфора в черноземе выщелоченном // Вестник Курганской государственной сельскохозяйственной академии. 2013. № 1. С. 24–26.
21. Berezin L.V., Gindemit A.M., Khamova O.F. Impact of reclamation treatment on the biological activity of soils of the solonetz complex in Western Siberia // *Eurasian soil science*. 2014. Vol. 47. N 11. P. 1138–1143.
22. Наумченко Е.Т., Банецкая Е.В. Потребление азота яровой пшеницей на разных уровнях обеспеченности почвы подвижным фосфором // Достижения науки и техники АПК. 2020. № 6 (34). С. 23–27. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10604.
23. Цветков М.Л., Колесников А.Ф. Влияние чистого и сидерального паров на запасы продуктивной влаги и содержание элементов минерального питания в почве под сахарной свеклой в условиях Алтайского Приобья // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. № 2 (12). С. 19–23.
24. Шарков И.Н., Самохвалова Л.М., Мишина П.В. Изменение органического вещества чернозема выщелоченного при минимализации обработки в лесостепи Западной Сибири // Почвоведение. 2016. № 7. С. 892–899.
25. Чевердин Ю.И., Сапрыкин С.В., Чевердин А.Ю., Рябцев А.Н. Трансформация физических показателей черноземов в результате антропогенного воздействия // Достижения науки и техники АПК. 2017. № 3 (31). С. 5–11.
4. Liu E., Yan C.R., Mei X.R. Long-term effect of chemical fertilizer, straw, and manure on soil chemical and biological properties in northwest China. *Geoderma*, 2010, vol. 158, no. 3–4, pp. 173–180. DOI: 10.1016/i.geoderma.2010.04.029.
5. Liu Y.R., Li X., Shen Q.R. Enzyme activity in water-stable soil aggregates as affected by long-term application of organic manure and chemical fertilizer. *Pedosphere*, 2013, vol. 23, no. 1, pp. 111–119. DOI: 10.1016/S1002-0160(12)60086-1.
6. Shcherbakov A.P., Chuyan G.A., Vinogradov Yu.A. Azot in the modern agro-landscapes of the Central Black Earth Zone (CBEZ). *Agrohimiya = Agrochemistry*, 1990, no. 11, pp. 38–46. (In Russian).
7. Kashtanov A.N., Yavtushenko V.E. *Agroecology of soil slopes*. Moscow, Kolos Publ., 1997, 239 p. (In Russian).
8. Uvarov G.I., Solovev A.B., Lebedeva M.G. The role of weather conditions and agricultural technologies in the formation of the winter wheat crop in the southwest of the Central Chernozem region of Russia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2017, no. 242, pp. 75–84.
9. Duan W.X., Yu Z.W., Zhang Y.L. Effects of nitrogen application on biomass accumulation, remobilization, and soil water contents in a rain-fed wheat field. *Turkish Journal of Field Crops*, 2014, vol. 19, no. 1, pp. 25–34. DOI: 10.17557/tjfc.45522.
10. Ivanov A.L., Sychev V.G., Derzhavin L.M. *Phosphorus agrochemical cycle*. Moscow, Russian Agricultural Academy, 2012, 522 p. (In Russian).
11. Prosyannikova O.I., Prosyannikov V.I. Soil fertility and yield of field crops in the Kemerovo region. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of the Agro-Industrial Complex*, 2014, no. 10 (28), pp. 3–8. (In Russian).
12. Medvedev V.V., Laktionova T.N. Analysis of the experience of European countries in soil monitoring. *Eurasian soil science*, 2012, vol. 45, no. 1, pp. 90–97. DOI: 10.1134/S1064229312010139.
13. Yakimenko V.N. Forms of potassium in soil and methods for their determination. *Pochvy i okruzhayushchaya sreda = The Journal of Soils and environment*, 2018, no. 1 (1), pp. 26–33. (In Russian).
14. Yakimenko V.N. On the issue of assessing the potash state of soils of agrocenoses. *Plodородие. = Plodorodie*, 2009, no. 4, pp. 8–10. (In Russian).

REFERENCES

15. Chekmarev P.A., Prudnikov P.V. Agrochemical and agrophysical state of soils, the effectiveness of the use of chemicals and new complex fertilizers in the Bryansk region. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of the Agro-Industrial Complex*, 2016, no. 7 (30), pp. 24–33. (In Russian).
16. Vlasenko A.N., Vlasenko N.G., Short N.A. Prospects of technology No-till in Siberia. *Zemledelie = Zemledelie*, 2014, no. 1, pp. 16–26. (In Russian).
17. Tuguz R.K. Methods of determining the structure (addition) of the arable layer. *Agrarnyj vestnik Urala = Agricultural Bulletin of the Urals*, 2011, no. 3 (82), pp. 12–15. (In Russian).
18. Garkusha A.A., Deryanova E.G. Nitrate nitrogen reserves in the soil and the effectiveness of using nitrogen fertilizers for spring wheat in forest-steppe conditions of the Altai Territory. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of the Agro-Industrial Complex*, 2015, no. 6 (29), pp. 8–10. (In Russian).
19. Tereshchenko N.N., Lapshinov N.A., Pakul V.N., Berezin V.Yu. Microbiological processes in the rhizosphere during various soil treatments. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of the Agro-Industrial Complex*, 2011, no. 12, pp. 12–15. (In Russian).
20. Sozinov A.V., Gorbunov M.Yu. Methodology for monitoring mobile forms of nitrogen and phosphorus in leached chernozem. *Vestnik Kurganskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaistvennoy akademii = Bulletin of the Kurgan State Agricultural Council*, 2013, no. 1, pp. 24–26. (In Russian).
21. Berezin L.V., Gindemit A.M., Khamova O.F. Impact of reclamation treatment on the biological activity of soils of the solonetz complex in Western Siberia. *Eurasian soil science*, 2014, vol. 47, no. 11, pp. 1138–1143.
22. Naumchenko E.T., Banetskaya E.V. Nitrogen consumption with spring wheat at different levels of soil supply with mobile phosphorus. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of the Agro-Industrial Complex*, 2020, no. 6 (34), pp. 23–27. (In Russian). DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10604.
23. Tsvetkov M.L., Kolesnikov A.F. The influence of pure and sideral vapors on the reserves of productive moisture and the content of mineral nutrition elements in the soil under sugar beets in the conditions of the Altai Priobye. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of the Altai State Agrarian University*, 2014, no. 2 (12), pp. 19–23. (In Russian).
24. Sharkov I.N., Samokhvalova L.M., Mishina P.V. Changing the organic matter of leached chernozem while minimizing treatment in the forest steppe of Western Siberia. *Pochvovedenie = Eurasian Soil science*, 2016, no. 7, pp. 892–899. (In Russian).
25. Cheverdin Yu.I., Saprykin S.V., Cheverdin A.Yu., Ryabtsev A.N. Transformation of the physical indicators of chernozems as a result of anthropogenic exposure. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of the Agro-Industrial Complex*, 2017, no. 3 (31), pp. 5–11. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Пакуль А.Л., научный сотрудник; e-mail: lelikpakul@mail.ru

✉ **Пакуль В.Н.**, доктор сельскохозяйственных наук, заместитель директора; **адрес для переписки:** Россия, 650510, Кемеровская область, Кемеровский район, пос. Новостройка, ул. Центральная, 47; e-mail: vpakyl@mail.ru

Божанова Г.В., научный сотрудник; e-mail: kemniish@mail.ru

AUTHOR INFORMATION

Alexei L. Pakul, Researcher; e-mail: lelikpakul@mail.ru

✉ **Vera N. Pakul**, Doctor of Science in Agriculture, Deputy Director; **address:** 47, Tsentralnaya St., Novostroika, Kemerovo district, Kemerovo region, 650510, Russia; e-mail: vpakyl@mail.ru

Galina V. Bozhanova, Researcher; e-mail: kemniish@mail.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 19.05.2021
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 15.10.2021
Дата публикации / Published 25.11.2021