

ОЦЕНКА ЗАПАСОВ ВЛАГИ В ЧЕРНОЗЕМЕ В УСЛОВИЯХ МИНИМИЗАЦИИ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Е. Н. Белоусова, А. А. Белоусов

ФГБОУ ВО Красноярский государственный аграрный университет
660049, г. Красноярск, пр. Мира, 90
E-mail: svoboda57130@mail.ru

Поступила в редакцию 24 августа 2021 г., принята к печати 29 ноября 2021 г.

Актуальность работы обусловлена значимостью почвенной влаги как одного из основных факторов, определяющих продуктивность сельскохозяйственных растений. Цель работы заключалась в изучении влияния почвозащитных обработок на изменение общих и продуктивных запасов влаги в черноземе обыкновенном. Исследования проводились в производственном опыте ООО «ОПХ «Дары Малиновки» (Сухобузимский район) в Красноярской лесостепи, расположенной в пределах Чулымо-Енисейского денудационного плато юго-западной окраины Средней Сибири (56°10' с.ш., 91°47' в.д). Наблюдения осуществлялись в звене севооборота пар – яровая пшеница. Схема опыта представлена следующими вариантами: 1. отвальная вспашка на глубину 25–27 см; 2. минимальная обработка (поверхностное дискование); 3. плоскорезная обработка (культивация). Оценены общие и продуктивные запасы влаги в черноземе в условиях перехода на почвозащитные технологии обработки почвы. Количество выпавших осадков не оказывало непосредственного влияния на величину продуктивных запасов. Общие запасы влаги в почве исследуемых вариантов имели сильную положительную корреляцию с продуктивными запасами ($r = 0,79–0,98$). Выявлены зависимости между запасами продуктивной влаги и степенью уплотнения почвы ($r = 0,57–0,75$), а также воздухоудержанием ($r = -0,48–0,82$). В условиях парования запасы продуктивной влаги в почве характеризовались как удовлетворительные в обоих исследуемых слоях, а в посевах яровой пшеницы на фоне дефицита осадков — как неудовлетворительные. При недостатке атмосферного увлажнения применение плоскорезной обработки привело к статистически достоверному увеличению запасов влаги в сравнении с двумя другими вариантами. Исследуемые слои почвы 0–10 и 10–20 см существенно различались по влагозапасам. За изученный период запасы доступной для растений почвенной влаги в слое 10–20 см достоверно превышали ее запасы в поверхностном слое.

Ключевые слова: почвозащитные технологии, общие и продуктивные запасы влаги, влагообеспеченность.

ESTIMATION OF CHERNOZEM MOISTURE RESERVES UNDER SOIL TILLAGE MINIMIZATION

E.N. Belousova, A.A. Belousov

Krasnoyarsk State Agrarian University
90, Mira pr., Krasnoyarsk, 660049, Russia
E-mail: svoboda57130@mail.ru

Moisture is an important soil characteristic related directly to crop productivity. The purpose of the work was to study the effect of soil protective tillage systems on the changes in the total and productive moisture reserves in ordinary chernozem. The study was carried out in the production experiment of Dary Malinovki LLC (Sukhobuzimskiy district) in the Krasnoyarsk forest-steppe, located within the Chulym-Yenisei denudation plateau in the South-Western outskirts of Central Siberia (56°10'N, 91°47'E). The observations were carried out in the fallow-spring wheat crop rotation. The scheme of the experiment is represented by the following treatments: 1. moldboard plowing to a depth of 25–27 cm; 2. minimal tillage (surface disking); 3. flat-cut tillage (cultivation). The reserves of total and productive moisture in the chernozem were estimated under the conditions of the transition to the soil-protective tillage technologies. The amount of precipitation did not have a direct impact on the value of productive moisture reserves. The total moisture reserves in the soil of the studied treatments had a strong positive correlation with the productive moisture reserves ($r = 0.79–0.98$). Statistical relationships were calculated between the reserves of productive moisture and the degree of soil compaction ($r = 0.57–0.75$), as well as air content ($r = -0.48–0.82$). The reserves of productive moisture in both studied layers of the soil under the conditions of fallowing were characterized as satisfactory, and in the soil under the crops of spring wheat on the background of precipitation deficiency – as unsatisfactory. In the conditions of precipitation lack, the use of flat-cut tillage resulted in a statistically significant increase in moisture reserves compared to the other two treatments. The studied soil layers 0–10 and 10–20 cm differed significantly in moisture reserves. During the studied period, the reserves of soil moisture available for plants in the 10–20 cm layer significantly exceeded its reserves in the surface layer.

Keywords: soil protection technologies, general and productive moisture reserves, moisture availability.

ВВЕДЕНИЕ

Запасы продуктивной влаги в почве являются важнейшим комплексным агроклиматическим показателем увлажнения сельскохозяйственных посевов, поскольку представляют собой результат взаимодействия погодных и почвенных условий, особенностей естественного растительного покрова и проводимых на полях агротехнических мероприятий (Буянкин, 2004; Лыков, 2006; Денисов, 2010; Конищев, 2013; Пыхтин, 2017; Власенко, 2019). В связи с этим весьма актуальными являются оценка формирования запасов продуктивной влаги к началу вегетации растений и определение их влияния на урожайность сельскохозяйственных культур в зависимости от способа основной обработки почвы (Грингоф, 2013; Максимова, 2018).

Цель работы – изучить влияние почвозащитных обработок на изменение общих и продуктивных запасов влаги в черноземе обыкновенном Красноярской лесостепи.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в производственном опыте ООО «ОПХ «Дары Малиновки» (Сухобузимский район) в Красноярской лесостепи, расположенной в пределах Чулымо-Енисейского денудационного плато юго-западной окраины Средней Сибири (56°10' с.ш., 91°47' в.д).

Объектом исследований являлся чернозем обыкновенный среднегумусный среднемощный тяжелосуглинистый на красно-бурой глине. В пахотном слое исследуемой почвы содержалось 6,3–6,5% гумуса, рН водной суспензии был близок к нейтральному (рН_{H2O} = 6,7), содержание подвижного фосфора составляло 295-320 мг кг⁻¹, обменного калия – 127–138 мг кг⁻¹. В структуре фракций элементарных почвенных частиц отмечено преобладание крупнопылевой (30,4–37,8%) и илистой (17,3–30,3%) фракций. Высокая гумусированность и тяжелый гранулометрический состав обуславливают относительную устойчивость структуры черноземов Красноярской лесостепи и их высокую

микроагрегированность, что, несомненно, отражается на запасах влаги.

В границах производственных посевов были заложены реперные участки прямоугольной формы общей площадью 1200 м² и учетной площадью 600 м². В пределах каждого участка выделялись три повторности площадью 200 м². Почвенные образцы отбирались из слоев 0–10 и 10–20 см методом змейки в сроки, приуроченные к фазам развития сельскохозяйственных культур. Объем выборки, рассчитанный исходя из уровня варьирования плодородия почвы на участке, составлял (n = 12). Схема опыта предусматривала изучение почвозащитного влияния минимальных технологий обработки почвы. Исследования проводились в звене севооборота пар – яровая пшеница. Для изучения были выбраны следующие варианты: 1. отвальная обработка (st) – вспашка на глубину 25–27 см плугом Gregoire Besson SPLM B9: в вегетационный сезон 2017 г. почва обрабатывалась в первую декаду июня по типу раннего пара с последующими культивациями на глубину 5–7 см по мере отрастания сорных растений, в 2018 г. проводилась вспашка на глубину 25-27 см с предпосевной культивацией на 5–7 см АПК-7,2 + БЗТС-1; 2. минимальная обработка (поверхностное дискование) – дискатором БДМ-Агро БДМ 6х4П на глубину 10–12 см: в 2017 г. почва обрабатывалась по типу стернового пара, в 2018 г. производилось боронование с предпосевной культивацией на 5–7 см АПК-7,2+БЗТС-1; 3. плоскорезная обработка (культивация) - культиватором Ярославич КБМ-10,8 ПС-4 на глубину 10–12 см: в 2017 г. почва обрабатывалась по типу стернового пара, на следующий год проводилось боронование с предпосевной культивацией на 5–7 см АПК-7,2+БЗТС-1. В 2018 г. на опытном участке возделывалась яровая пшеница сорта Новосибирская-31.

Агрометеорологические условия вегетационных сезонов 2017–2018 гг. складывались по-разному (табл. 1).

Таблица 1. Метеорологические показатели в годы наблюдений

Год	Месяц					Сумма активных температур
	май	июнь	июль	август	сентябрь	
Средняя температура воздуха, °С						
2017	11,0	20,3	19,5	16,8	8,5	2074
2018	8,1	20,5	18,6	18,3	10,1	2061
Норма (1980–2010 гг.)	8,7	15,2	17,6	14,8	8,8	1833
Осадки, мм						
2017	28,0	30,0	79,0	81,0	81,0	299
2018	29,0	29,0	33,0	21,0	58,0	170
Норма (1980–2010 гг.)	50,0	61,0	95,0	78,0	48,0	332

Сумма активных температур была значительно выше среднеголетних значений, а количество осадков, напротив, существенно уступало норме. Вторая половина лета первого года исследований (2017 г.) характеризовалась более значительным количеством осадков относительно 2018 г.

Химические и физико-химические показатели определены по Л. А. Воробьевой (2006), влажность – термостатно-весовым методом, гранулометрический состав почвы – методом пипетки по Н. А. Качинскому. Общие и продуктивные запасы влаги рассчитаны исходя из значений влажности почвы, влажности устойчивого завядания (15%), плотности сложения почвы в слоях 0–10 и 10–20 см и оценены по шкале А. Ф. Вадуниной и З. А. Корчагиной (1986). Статистический анализ данных проведен с использованием пакета программ MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Основным лимитирующим фактором, характерным для лесостепных и степных районов Сибири, является недостаточная и неустойчивая

влагообеспеченность посевов в наиболее ответственные фазы их развития. Данный фактор в первую очередь определяет урожай, его стабильность и качество, а также эффективность агротехнических приемов, направленных на интенсификацию технологий возделывания культур. В степных и лесостепных районах Сибири формирование урожая в большей степени зависит не от суммы осадков за год, а от их распределения в течение вегетационного периода (Берзин, 2002).

Известно, что как избыток (более 50 мм), так и недостаток (менее 20 мм) запасов влаги отрицательно сказываются на развитии сельскохозяйственных растений и их урожайности. Общие запасы влаги в почве исследуемых вариантов имели сильную положительную корреляцию с продуктивными запасами ($r = 0,79-0,98$). Установлено, что в 2017 г. запасы продуктивной влаги в обоих исследуемых слоях почвы при применении всех трех технологий обработки характеризовались как удовлетворительные, несмотря на условия парования (рис. 1–3).

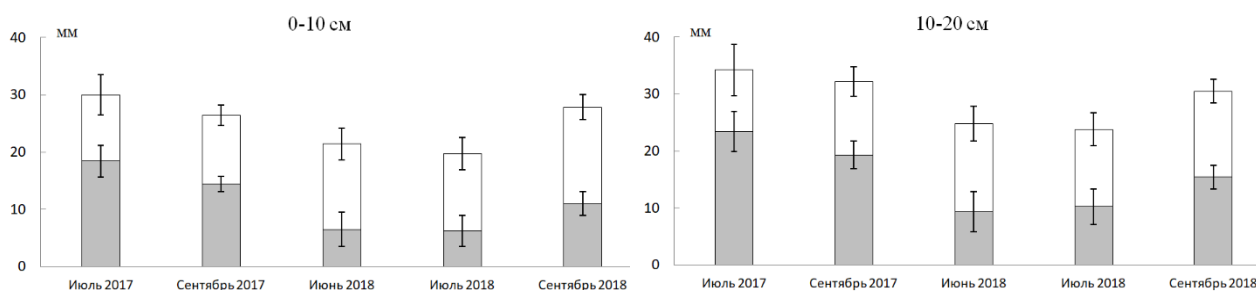


Рис. 1. Динамика общих и продуктивных запасов влаги (мм) в условиях отвальной обработки почвы.

Где: □ – общие запасы влаги, мм; ■ – продуктивные запасы влаги, мм.

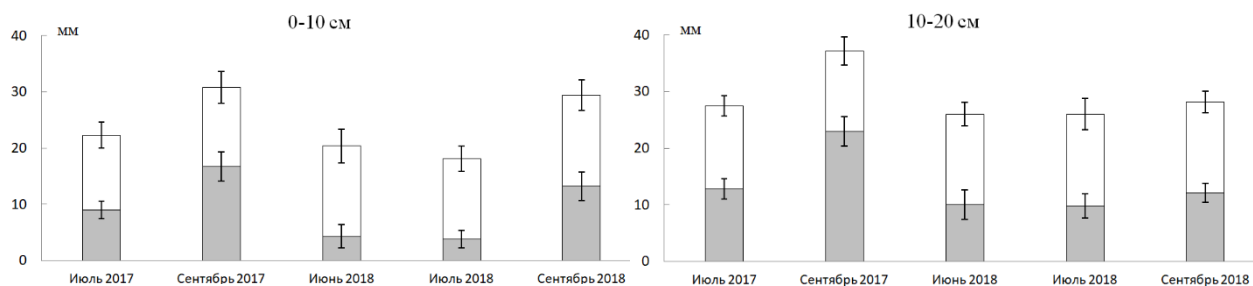


Рис. 2. Динамика общих и продуктивных запасов влаги (мм) в условиях минимальной обработки почвы.

Где: □ – общие запасы влаги, мм; ■ – продуктивные запасы влаги, мм.

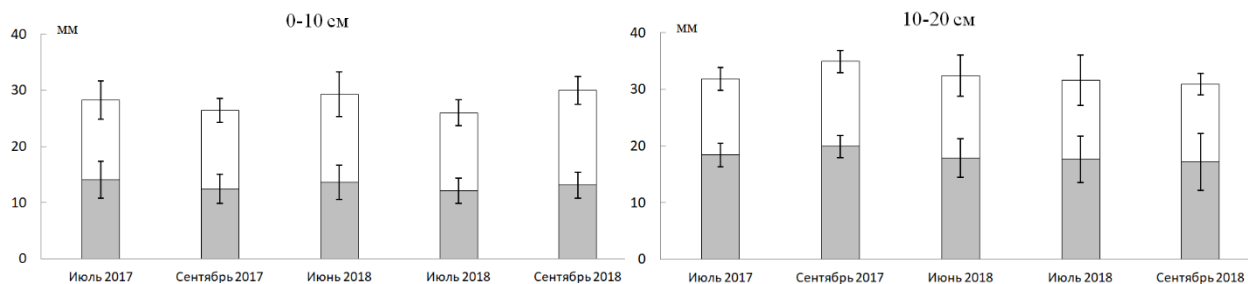


Рис. 3. Динамика общих и продуктивных запасов влаги (мм) в условиях плоскорезной обработки почвы.

Где: □ – общие запасы влаги, мм; ■ – продуктивные запасы влаги, мм.

Количество выпавших осадков, по-видимому, также не оказывало прямого влияния на продуктивные запасы, так как и при дефиците осадков в июле, и при их избытке в сентябре значения находились в пределах одной градации шкалы. Изучаемый период также характеризовался более высокими показателями теплообеспеченности относительно средних многолетних значений. Как ранее отмечал А. М. Берзин (2002), в сухие годы потери влаги определяются, прежде всего, скоростью диффузии водяного пара и увеличиваются с повышением рыхлости почвы. В связи с этим, по мнению авторов, основными факторами, оказавшими влияние на полученные результаты, являются агрофизические свойства почвы — прежде всего, особенности структурного состояния, плотность и дифференциальная пористость.

Данные предположения подтверждаются результатами корреляционного анализа, которые свидетельствуют о достаточно высокой зависимости между запасами продуктивной влаги и степенью уплотнения почв ($r = 0,57-0,75$) в отдельные периоды наблюдений. Как следствие, высокая пористость с обратной умеренной зависимостью определяла продуктивные запасы влаги ($r = -0,48-0,82$).

По данным И.Г. Грингофа с соавт. (2013), оптимальные условия увлажнения в начальный период развития растений складываются при наличии в пахотном горизонте почвы запасов продуктивной влаги, равных 30-40 мм. Начало и середина

вегетационного сезона 2018 г. характеризовались неблагоприятными агрометеорологическими условиями (табл. 1). Количество осадков, выпавших за анализируемый период, существенно уступало норме, тогда как показатели температуры воздуха превышали средние многолетние значения. Поэтому запасы продуктивной влаги в почве вариантов опыта характеризовались как неудовлетворительные. Однако даже в таких жестких агрометеорологических условиях применение плоскорезной обработки привело к статистически достоверному повышению запасов влаги в сравнении с двумя другими вариантами ($НСР_{05} = 3,1$ и $4,4$ для слоя 0–10 и 10–20 см соответственно). По мнению авторов, одним из факторов, обеспечившим данное преимущество, являлось более эффективное усвоение осенне-зимне-весенних (вневегетационных) осадков при мелкой плоскорезной обработке по сравнению с поверхностным дискованием. Известно, что недостаток влаги в почве после выхода в трубку (критический период) приводит к снижению количества развитых и увеличению числа бесплодных зерновок в колосе. Даже последующее выпадение обильных осадков не способствует увеличению количества зерновок в колосе (Грингоф, 2013). Всё указанное, по-видимому, определило существенно более высокую урожайность яровой пшеницы в варианте с применением технологии плоскорезной обработки почвы (табл. 2).

Таблица 2. Урожайность яровой пшеницы в вариантах опыта

Варианты	Урожайность, ц га ⁻¹
1. Отвальная вспашка	28,7
2. Минимальная обработка (дискование)	14,6
3. Плоскорезная обработка (культивация)	35,3
НСР ₀₅	7,0

К окончанию вегетационного сезона 2018 г. почва вариантов опыта характеризовалась незначительными запасами продуктивной влаги, несмотря на относительно большое количество выпавших осадков. Отсюда следует, что продуктивность сельскохозяйственных культур во многом определяется их влагообеспеченностью, важной составляющей которой являются запасы продуктивной влаги перед началом вегетации растений (Максимова, 2018). Однако при минимальной обработке отмечены существенно более низкие запасы продуктивной влаги по сравнению с плоскорезной. Вероятно, дисковые орудия

значительно распыляли почву, и в результате снижался не только уровень воздухоудержания, но и капиллярная пористость. Этим объясняется снижение запасов влаги в вариантах с обработкой почвы дисковой бороной.

При использовании почвозащитных технологий с достаточно частой неглубокой обработкой имеет смысл оценивать влагозапасы в слое, подвергаемом механическому воздействию, а также в нижележащем необрабатываемом слое (иногда называемым подсеменным). Сравнимые слои почвы существенно различались по влагозапасам (табл. 3–4).

Таблица 3. Достоверность различий по запасам продуктивной влаги (мм) в сравниваемых слоях, $t_{0,05} = 2,2$

Варианты	Слой, см	2017 г.			
		t_{ϕ}	июль	t_{ϕ}	сентябрь
1. Отвальная вспашка (st)	0–10	3,3	18,4	4,9	14,4
	10–20		23,5		19,3
2. Минимальная обработка (дискование)	0–10	5,8	9,0	3,6	16,7
	10–20		12,8		22,9
3. Плоскорезная обработка (культивация)	0–10	3,2	14,1	6,5	12,4
	10–20		18,4		19,9

Примечание: здесь и далее жирным шрифтом обозначены достоверные различия.

Таблица 4. Достоверность различий по запасам продуктивной влаги (мм) в сравниваемых слоях, $t_{0,05} = 2,2$

Варианты	Слой, см	2018 г.					
		t_{ϕ}	июнь	t_{ϕ}	июль	t_{ϕ}	сент.
1. Отвальная вспашка (st)	0–10	1,5	6,5	2,2	6,2	2,8	11,0
	10–20		9,3		10,2		15,4
2. Минимальная обработка (дискование)	0–10	5,5	4,3	5,8	3,8	0,9	13,2
	10–20		10,0		9,8		12,1
3. Плоскорезная обработка (культивация)	0–10	3,6	13,6	5,3	12,1	7,8	13,1
	10–20		17,9		17,6		17,2

Практически во все анализируемые периоды запасы доступной для растений почвенной влаги в слое 10–20 см достоверно превышали ее запасы в поверхностном слое из-за усиленного испарения влаги с поверхности почвы. С другой стороны, верхний слой, сформированный агрегатами мелкозернистых размерностей, являлся «мульчей», способствующей лучшей аккумуляции влаги в подсеменном слое. Аналогичную точку зрения высказывал Д. И. Буров (1968), охарактеризовавший верхнюю часть пахотного горизонта как благоприятный защитный слой, служащий своего рода барьером для передвижения воды. Позднее В. В. Медведев (2008) указывал, что все технологические операции, проводимые с целью сохранения влаги в почве, с физической точки зрения направлены на создание препятствий на пути

восходящего потока капельно-жидкой или парообразной влаги. По мнению автора, запираение потока осуществляется за счет изменения давления влаги на границе зон с различной температурой или размером пор.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявлено преимущество неглубокой плоскорезной обработки почвы относительно отвальной вспашки и поверхностного дискования с точки зрения накопления доступной для сельскохозяйственных растений почвенной влаги. Слой почвы 10–20 см аккумулировал статистически большее количество продуктивной влаги по сравнению с поверхностным.

Список литературы

- Берзин А. М. Зеленые удобрения в Средней Сибири: Монография. Красноярск: Красноярский гос. аграр. ун-т, 2002. 395 с.
- Буров Д. И. Обработка почвы как фактор улучшения структуры и строение пахотного слоя черноземных почв Заволжья // Теор. вопросы обработки почв. Л., 1968. С. 19–24.
- Буянкин Н. И., Слесарев В. Н., Краснощёпов А. Г. Ключевые показатели минимализации обработки // Земледелие. 2004. № 4. С. 14–15.
- Вадюнина А.Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
- Власенко А. Н., Власенко Н. Г., Кудашкин П. И. Изменение показателей плодородия чернозема выщелоченного лесостепи Приобья при использовании технологии No-Til // Агрохимия. 2019. № 12. С. 16–21.
- Воробьева Л. А. Теория и практика химического анализа. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
- Грингоф И. Г., Павлова В. Н. Основы сельскохозяйственной метеорологии. Том III. Основы агроклиматологии. Влияние изменений климата на экосистемы, агроферу и сельскохозяйственное производство. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2013. 384 с.
- Денисов Е. П., Четвериков Ф. П., Косолапов С. Н., Панасов М. Н. Основные проблемы современного земледелия при освоении ресурсосберегающих технологий. Саратов, 2010. 98 с.
- Конищев А.А. Обработка почвы: вчера, сегодня, завтра. Иваново, 2013. 127 с.

- Лыков А. М., Прудникова А. Г., Прудников А. Д. К проблеме экологизации обработки почвы в современных системах земледелия // Почвоведение. 2006. № 6. С. 1–5.
- Максимова Н. Б., Тарасова С. Б., Морковкин Г. Г. Запасы продуктивной влаги по природно-почвенным зонам Алтайского края и их влияние на урожайность яровой пшеницы // Вестн. Алт. гос. аграр. ун-та. 2018. № 4(162). С. 87–92.
- Медведев В. В. Структура почвы. Методы. Генезис. Классификация. Эволюция. География. Мониторинг. Охрана. Харьков: Городская типография, 2008. 406 с.
- Пыхтин И. Г. Обработка почвы: действительность и мифы // Земледелие. 2017. № 1. С. 33–36.

References

- Berzin A. M. *Zelenyye udobreniya v Sredney Sibiri: Monografiya* [Green fertilizers in Central Siberia: Monograph]. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State University Publishing House, 2002, 395 p.
- Burov D. I. *Obrabotka pochvy kak faktor uluchsheniya struktury i stroeniye pakhotnogo sloya chernozemnykh pochv Zavolzh'ya* [Tillage as a factor of improving the structure and structure of the arable layer of chernozem soils of the Trans-Volga region] // Teor. voprosy obrabotki pochv. Leningrad, 1968, pp. 19–24.
- Buyankin N. I., Slesarev V. N., Krasnoperov A. G. Klyuchevyye pokazateli minimalizatsii obrabotki [Key indicators for minimizing tillage] // *Zemledeliye*, 2004, no. 4, pp. 14–15.
- Vadyunina A. F., Korchagina Z. A. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv* [Methods of studying the physical properties of soils]. Moscow: Agropromizdat, 1986, 416 p.
- Vorob'yeva L. A. *Teoriya i praktika khimicheskogo analiza pochv* [Theory and practice of chemical analysis of soils]. Moscow: GEOS, 2006, 400 p.
- Gringof I. G., Pavlova V. N. *Osnovy sel'skokhozyaystvennoy meteorologii. Tom III. Osnovy agroklimatologii. Vliyaniye izmeneniy klimata na ekosistemy, agrosferu i sel'skokhozyaystvennoye proizvodstvo* [Fundamentals of agricultural meteorology. Volume III. Fundamentals of agro-climatology. The impact of climate change on ecosystems, the agricultural sphere and agricultural production]. Obninsk, FGBU «VNIIGMI-MTsD», 2013, 384 p.
- Denisov E. P., Chetverikov S. N., Kosolapov M. N., Panasov F. P. *Osnovnyye problemy sovremennogo zemledeliya pri osvoyenii resursosberegayushchikh tekhnologiy* [The main problems of modern agriculture in the conditions of the development of resource-saving technologies]. Saratov, 2010, 98 p.
- Konishchev A. A. *Obrabotka pochvy: vchera, segodnya, zavtra* [Soil tillage: yesterday, today, tomorrow]. Ivanovo, 2013, 127 p.
- Lykov A.M., Prudnikova A.G., Prudnikov A.D. *K probleme ekologizatsii obrabotki pochvy v sovremennykh sistemakh zemledeliya* [On the problem of ecologization of tillage in modern farming systems] // *Pochvovedeniye*, 2006, no. 6, pp. 1–5.
- Maksimova N. B., Tarasova S. B., Morkovkin G. G., Arnaut D. V. *Zapasy produktivnoy vlagi po prirodno-pochvennyim zonam Altayskogo kraya i ikh vliyaniye na urozhaynost' yarovoy pshenitsy* [Reserves of productive moisture in the natural-soil zones of the Altai Territory and their impact on the yield of spring wheat] // *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2018, no. 4 (162), pp. 87–92.
- Medvedev V. V. *Struktura pochvy. Metody. Genezis. Klassifikatsiya. Evolyutsiya. Geografiya. Monitoring. Okhrana* [Soil structure. Methods. Genesis. Classification. Evolution. Geography. Monitoring. Security]. Kharkov: Gorodskaya tipografiya, 2008, 406 p.
- Pykhtin I. G. *Obrabotka pochvy: deystvitel'nost' i mify* [Tillage: reality and myths] // *Zemledeliye*, 2017, no. 1, pp. 33–36.