

- Nikolaeva S. A., Majnasheva G. M. Vliyanie orosheniya metodom zatopeniya na svoystva chernozyomov [The effect of irrigation by flooding on the properties of chernozem]. *Problemy irrigacii pochv yuga chernozyomnoj zony* [Problems of soil irrigation in the south of the black earth zone]. Moscow: Nauka, 1980, pp. 126–141.
- Smagin A. V., Bashina A. S., Klyueva V. V., Kubareva A. V. Termodesorbtsionnyj analiz ehffektivnoj udel'noj poverkhnosti pochv [Thermal Desorption Analysis of Effective Soil Surface Area] // *Pochvovedenie*, 2017, no. 12, pp. 1477–1484.
- Utkaeva V. F. Udel'naya poverkhnost' i teplota smachivaniya razlichnykh pochv Evropejskoj territorii Rossii [Specific surface and wetting heat of various soils of the European territory of Russia] // *Pochvovedenie*, 2007, no. 11, pp. 1336–1346.

УДК 57.044; 504.05; 631.46

DOI: 10.25695/AGRPH.2019.02.03

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРЯМОГО ПОСЕВА НА ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЧЕРНОЗЕМОВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

К. Ш. Казеев, Т. В. Минникова, М. А. Мясникова, Г. В. Мокриков, С. И. Колесников

*Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского,
344090, г. Ростов-на-Дону, проспект Стачки, 194/1
E-mail: kamil_kazeev@mail.ru*

Поступила в редакцию 18 декабря 2018 г., принята к печати 27 мая 2019 г.

Оценено воздействие прямого посева (No-Till, NT) на физические свойства почв в агроценозах озимой пшеницы в Октябрьском районе Ростовской области в 2016–2018 гг. Оценка физических свойств черноземов с прямым посевом проводилась посредством их сравнения с почвами агроценозов с традиционной обработкой. Исследования температуры, влажности, сопротивления пенетрации и плотности сложения почв проводились за 3–5 периодов (с мая по сентябрь) в течение каждого года. Применение NT по сравнению с традиционной технологией способствовало большему (на 83%) сохранению влаги в почве в сентябре. Установлено, что в 2017–2018 гг. в почве участков с NT сохранилось больше влаги во время сухого периода (июль) по сравнению с участками с традиционной технологией обработки. Плотность сложения почв повышалась в сухой период в среднем до $1,3 \text{ г см}^{-3}$ и не зависела от технологии обработки. В период максимальной вегетации растений (май) значения сопротивления пенетрации почв в 0–45-см слое при NT и традиционной технологии обработки достоверно не различались. В июле и сентябре 2016–2018 гг. вследствие снижения влажности почв как при отвальной вспашке, так и при NT наблюдалось повышение сопротивления пенетрации до значений выше 5,0 МПа, особенно в нижних слоях. Влияние NT на сопротивление пенетрации почвы было выраженным уже в поверхностных слоях почвы, в то время как при отвальной вспашке большее сопротивление пенетрации почвы установлено на глубине 15–20 см, т. е. ниже разрыхленного пахотного слоя.

Ключевые слова: прямой посев, традиционная технология обработки, черноземы, плотность, влажность, температура, сопротивление пенетрации, сезонная динамика.

EVALUATION OF DIRECT DRILLING IMPACT ON CHERNOZEMS AGROPHYSICAL PROPERTIES IN ROSTOV REGION

K. Sh. Kazeev, T. V. Minnikova, M. A. Myasnikova, G. V. Mokrikov, S. I. Kolesnikov

*Southern Federal University, Academy of biology and biotechnology named after
D. I. Ivanovskiy, 194/1, pr. Stachki, Rostov-on-Don, 344090
E-mail: kamil_kazeev@mail.ru*

The paper is devoted to evaluation of direct drilling (No-Till, NT) impact on the soil physical properties in winter wheat agrocenosis in Oktyabrskiy district of Rostov region in 2016–2018. Conventional moldboard plowing was used as a control. Measurements of the soil temperature, moisture content, penetration resistance and bulk density were conducted 3–5 times (from May to September) each year. NT resulted in higher (by 83%) soil moisture content in September compared to conventional ploughing. It was established that in 2017–2018 the soil with NT treatment contained more moisture during the dry period (July) compared to the soil with conventional ploughing. The average soil bulk density increased during the dry period to 1.3 g cm^{-3} and was not affected by the tillage treatments. During the period of maximum plant vegetation (May), the soil penetration resistance in the layer of 0–45 cm under NT and conventional ploughing did not differ significantly. In July and September 2016–2018 due to a decrease in soil moisture, an increase in the soil

penetration resistance to values above 5.0 MPa (especially in the lower soil layers) was observed both under conventional ploughing and NT. The impact of NT on the soil penetration resistance was pronounced already in the soil surface layers, while under the moldboard plowing a higher soil penetration resistance was noted at the depth of 15–20 cm, below the loosened arable layer.

Keywords: direct drilling, conventional soil tillage, chernozems, soil bulk density, moisture content, temperature, penetration resistance, seasonal dynamics.

ВВЕДЕНИЕ

Физическое состояние почв агроценозов следует учитывать, оценивая их плодородие при использовании различных технологий обработки почвы. Многочисленные исследования показали, что при традиционной технологии обработки почв отвальной вспашкой происходит усиление процессов эрозии, деградации («выпахивания»), уплотнения почв и дегумификации с проявлением устойчиво некомпенсируемой минерализации гумуса (Белоусова, Белоусов, 2017; Вальков и др., 2008; Гаевая, 2018; Горянин, Чуданов, 2017). В то же время прямой посев как технология ресурсосберегающего земледелия предполагает минимальное воздействие на почвенный плодородный слой с получением мульчирующего слоя из растительных остатков сельскохозяйственных культур. Систематическое сохранение стерни, соломы и других органических остатков на поверхности поля после прямого посева улучшает агрофизические свойства почв и создает благоприятные условия для восстановления плодородия (Лыков и др., 2006; Кроветто, 2010; Минникова и др., 2017; Зеленский и др., 2018; Derpsch, 2010).

При выращивании сельскохозяйственных культур с применением прямого посева и традиционной технологии информативными индикаторами физического состояния почв являются плотность сложения, влажность почвы и сопротивление пенетрации. Кроме того, изменение водно-физических условий влияет на режим роста и развития культурных растений, поскольку приводит к изменениям влажности устойчивого завядания и содержания доступных для растений элементов питания. Максимальная продуктивность культурных растений достигается при оптимальной плотности сложения почвы, которая зависит от гранулометрического состава, содержания гумуса, физической структуры, количества внесенных органических и минеральных удобрений, влажности почвы и других факторов (Баев, 2017; Горянин и др., 2017; Ковалев, 1992; Романов и др., 2018; Медведев, 1990; Перфильев и др., 2017; Трофимова и др., 2018; Шабаетов и др., 2007). В зависимости от гранулометрического состава плотность сложения пахотного слоя черноземов составляет $1,0-1,3 \text{ г см}^{-3}$ (Казаков, 2009; Медведев, Булыгин, 1986). Однако в условиях юга черноземной зоны России с засушливым климатом рыхлое состояние почвы приводит к существенным потерям воды за счет испарения и ветровой эрозии (Казаков, 2008; Корчагин и др., 2014).

Одним из самых информативных и чувствительных индикаторов изменения свойств почв при прямом посеве является твердость, или сопротивление пенетрации, как способность почвы противодействовать проникновению в нее не только

агротехнических орудий, но и корней растений (Шейн, 2005). Поскольку при прямом посеве происходит вспашка только верхнего слоя почвы, а нижележащие слои не затрагиваются, то изучение сопротивления пенетрации почв является весьма актуальным. На сопротивление пенетрации почв оказывают влияние их влажность, плотность сложения, а также гранулометрический, минералогический и агрегатный состав (Дрепа, Голубь, 2014; Гаевая, 2018; Казеев и др., 2016; Кормилицина, Бондаренко, 2016; Мокриков и др., 2017; Soane et al., 2012). Согласно результатам многочисленных исследований, твердость почвы оказывает лимитирующее влияние на растения при значениях от 2,0 до 5,0 МПа (Misra et al., 1986; Кунах, Балдин, 2011; Otto et al., 2011). По другим данным, критические значения указанного параметра для почв среднесуглинистого состава находятся в пределах 2,0–3,0 МПа, тогда как, согласно данным американских ученых (Comprehensive Assessment of Soil Health, 2016), критическими значениями сопротивления пенетрации являются 1,13 МПа для поверхностного слоя (0–15 см) и 2,07 МПа – для подпахотного слоя (15–45 см) почвы. Значения сопротивления пенетрации почвы ниже указанного уровня считаются несущественными для сельского хозяйства. Уплотнение почвы на глубине более 20 см приводит к образованию плужной подошвы, избавиться от которой достаточно сложно, поскольку она в малой степени подвергается воздействию природно-климатических факторов, способствующих релаксации почв (Гаевая, 2018; Рыков и др., 2013). Отрицательная роль плужной подошвы заключается в препятствии просачиванию влаги в нижележащие слои почвы, а также в нарушении газообмена. Кроме того, переуплотнённая почва препятствует росту корневой системы культурных растений, в том числе даже тех, которые обладают мощной корневой системой (подсолнечник, кориандр и др.).

Цель работы – оценить воздействия прямого посева на физические свойства черноземов Ростовской области. В задачи исследования входили: анализ сезонной динамики температуры и влажности почв, оценка сезонных изменений плотности и сопротивления пенетрации, а также влияния прямого посева на физическое состояние почв.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования являлись поля, на которых применялись ресурсосберегающая почвозащитная технология прямого посева (No-Till) с 2009 г. и традиционная технология обработки с отвальной вспашкой. Опытные поля расположены на территории ИП Мокриков В. И. (ранее – ООО «Донская Нива») в Октябрьском районе Ростовской области. Почвы в исследуемом регионе относятся к черноземам обыкновенным с различной мощностью, степенью выщелоченности от карбонатов и

гумусированности (Шишов и др., 2004; Вальков и др., 2007, 2008). По гранулометрическому составу почвы относятся к черноземам тяжелосуглинистым пылевато-иловатым: содержание физической глины составляет 48–53%, ила – 29–32% (Даденко и др., 2014). Согласно Международной реферативной базе почвенных ресурсов (WRB), исследуемые почвы относятся к *Vergon Chernozems* (IUSS, 2007).

Территория Октябрьского района Ростовской области расположена в жарком семиаридном климате со значительными тепловыми ресурсами. Сумма положительных температур воздуха (выше 10°C) составляет 3200°C. Лето жаркое (температура июля 24,3°C), зима умеренно холодная (температура января –2,5–2,7°C). Суммарное годовое количество осадков за 2016, 2017 и 2018 гг. составило 707, 569 и 722 мм, в том числе выпавших за период вегетации – 374, 294 и 332 мм соответственно.

В настоящей работе было исследовано 28 полей с прямым посевом и традиционной обработкой. Поля с прямым посевом располагались на расстоянии 50–100 м от контрольных участков. Контрольные поля были засеяны сельскохозяйственными культурами, на них применялась традиционная технология обработки почв отвальной вспашкой. На полях с использованием прямого посева выращивались озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.) сорта Зустріч, лен посевной (*Linum usitatissimum* L.) сорта Небесный, кориандр посевной (*Coriandrum sativum* L.) сорта Алексеевский-190 и нут (*Cicer arietinum* L.) сорта Приво-1. Для оценки физического состояния почв на 4-х мониторинговых участках в 3–10-кратной повторности измерялись сопротивление пенетрации, плотности сложения, влажность и температура почв. Измерения проводились 3 раза в течение вегетационных сезонов 2016–2018 гг. (в мае, июле и сентябре).

При применении технологии прямого посева семена сельскохозяйственных культур высевались при помощи следующих агрегатов: трактор Buhler Versatile 2375 + Great Plains NTA 3510 (10,7 м) и Case Magnum 315 + Great Plains NTA 3510 (10,7 м). Все культуры высевались с междурядьем 19,1 см. Расход топлива при прямом посеве составил 26 л га⁻¹, при традиционной технологии – 74,1 л га⁻¹. Поля с прямым посевом располагались в непосредственной близости друг от друга и на расстоянии 50–100 м от участков с традиционной обработкой.

Твердость почв (сопротивление пенетрации, прочность почвенной структуры) измерялась в полевых условиях с помощью пенетromетра EJKELKAMP Agrisearch Equipment (06.01.SA) до глубины 45 см с интервалом 5 см в 10-кратной повторности. Максимальное сопротивление

пенетрации почвы, измеряемое с помощью пенетromетра, составляет 10 МПа. Площадь поверхности зонда составляла 1–2 см² с углом 60°, точность прибора ±0,01 МПа. Плотность сложения почв определялась объемно-весовым методом по Н. А. Качинскому с помощью стальных колец объемом 135 см³ в 3-кратной повторности (в г см⁻³). Температура почв измерялась при помощи электронного карманного термометра HANNA Chestemp на глубине 0, 5 и 10 см в 3–5-кратной повторности. Влажность почвы определялась объемным методом в полевых условиях с помощью влагомера Fieldscout TDR 100 в слое 0–10 см на каждом участке в 10-кратной повторности.

Статистическая обработка полученных в ходе исследования данных проведена с использованием пакета программ STATISTICA 12.0. Определялись показатели вариационной статистики (средние значения, дисперсия, ошибка средней). Достоверность различий между вариантами установлена с помощью дисперсионного анализа (t Стьюдента) и корреляционного анализа (коэффициент корреляции Пирсона).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Динамика количества осадков и температуры воздуха. По данным метеорологических исследований (рис. 1), сумма осадков за вегетационный период (с апреля по октябрь) 2017 г. составила 295 мм, что на 26% больше, чем за тот же период в 2016 г., и соответствует показателю за вегетационный период 2015 г. (<https://rp5.ru>). Среднегодовое количество осадков, согласно справочным данным, составляет 423 мм (Научно-прикладной справочник по климату СССР, 1990; Хрусталева и др., 2002). При этом ГТК Селянинова в 2015 и 2017 гг. находился на уровне нормального увлажнения – 2,1 и 1,8 соответственно. В аномально влажном 2016 г. индекс ГТК составил 3,2. В целом по многолетней динамике (с 2015–2018 гг.) превышение нормы осадков отмечено только в 2016 г. Сумма положительных температур в сезоне 2017 г. составила 3200°C и достоверно не отличалась от показателей за 2015–2016 гг. Средние температуры в сентябре на протяжении указанных лет находились в диапазоне 16–21°C. Урожайность озимой пшеницы зависит не только от актуальных температур во время вегетационного роста, но и непосредственно от температур в период посева. В сентябре 2016 г. в период посева озимых температура почвы находилась на уровне месячной нормы, однако количество осадков превышало норму в три раза. Тем не менее в 2016 и 2017 гг. урожайность озимой пшеницы на полях с прямым посевом превысила ее урожайность на соседних полях с отвальной вспашкой на 39 и 26% (54 и 56 ц га⁻¹).

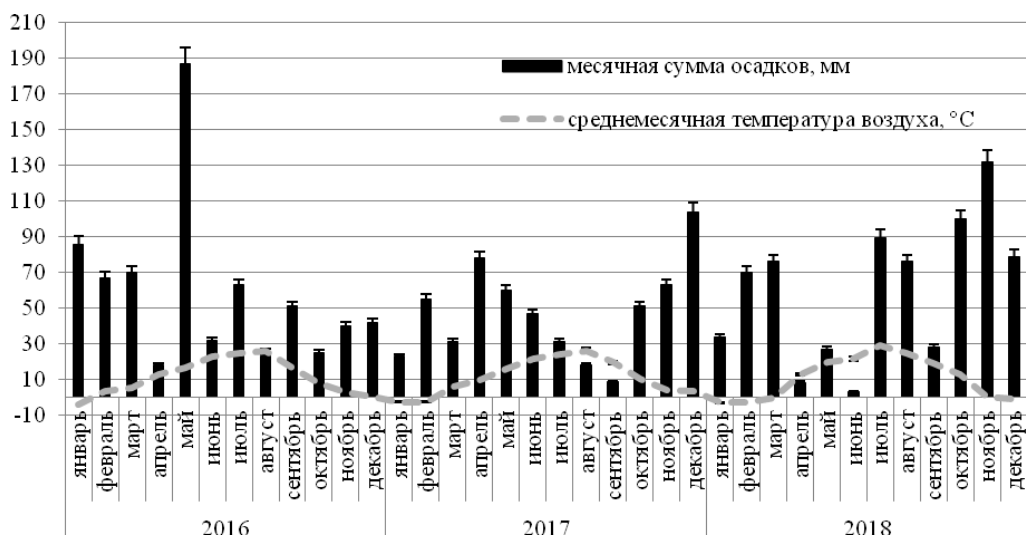


Рис. 1. Среднемесячная температура воздуха (°C) и месячная сумма осадков (мм) за 2016–2018 гг.

Динамика температуры и влажности почвы. В 2016 г. в связи со значительным количеством выпавших атмосферных осадков влажность почв на участках с прямым посевом существенно изменялась непосредственно перед измерениями (рис. 2). Влажные весна и начало лета поспособствовали тому, что на всех без исключения участках вне зависимости от способа их обработки зарегистрированы высокие значения влажности. Второй срок наблюдения в целом характеризовался не столь значительным количеством осадков, однако показатели влажности почвы на всех участках являлись относительно высокими для данного сезона – 54–55%. В 2016 г. различий между значениями влажности в мае и июле не обнаружено. В сентябре влажность почвы достигала минимальных показателей в связи с недостаточным количеством атмосферных осадков. Между значениями влажности в июле и в сентябре установлено существенное различие – 69% ($p < 0,05$). Иссущение почвы в сентябре способствовало значительному снижению ее влажности (в два раза по сравнению с нормой) при всех технологиях

обработки. Температура почв несущественно изменялась в зависимости от технологии их обработки. В 2017 г. влажность почвы варьировалась в течение сезона: отмечено ее понижение к июлю на 50% ($p < 0,05$) и последующее повышение к сентябрю на 132% ($p < 0,05$). Аналогичные изменения влажности наблюдались в 2018 г.: понижение в июле на 64% ($p < 0,05$) по сравнению с маем и повышение к сентябрю на 59% ($p < 0,05$). Достоверных различий по показателям влажности почв между участками не выявлено.

В 2018 г. условия увлажнения почвы являлись оптимальными для весеннего периода: в мае влажность почвы участков с прямым посевом превышала влажность почвы на участках с отвальной обработкой почвы на 57%. При этом количество атмосферных осадков, выпавших в мае 2018 г., было меньше, чем в мае 2016 и 2017 гг. В июле и сентябре на участках с прямым посевом отмечена более высокая влажность почвы (на 28% и 19%), чем на участках с отвальной вспашкой.

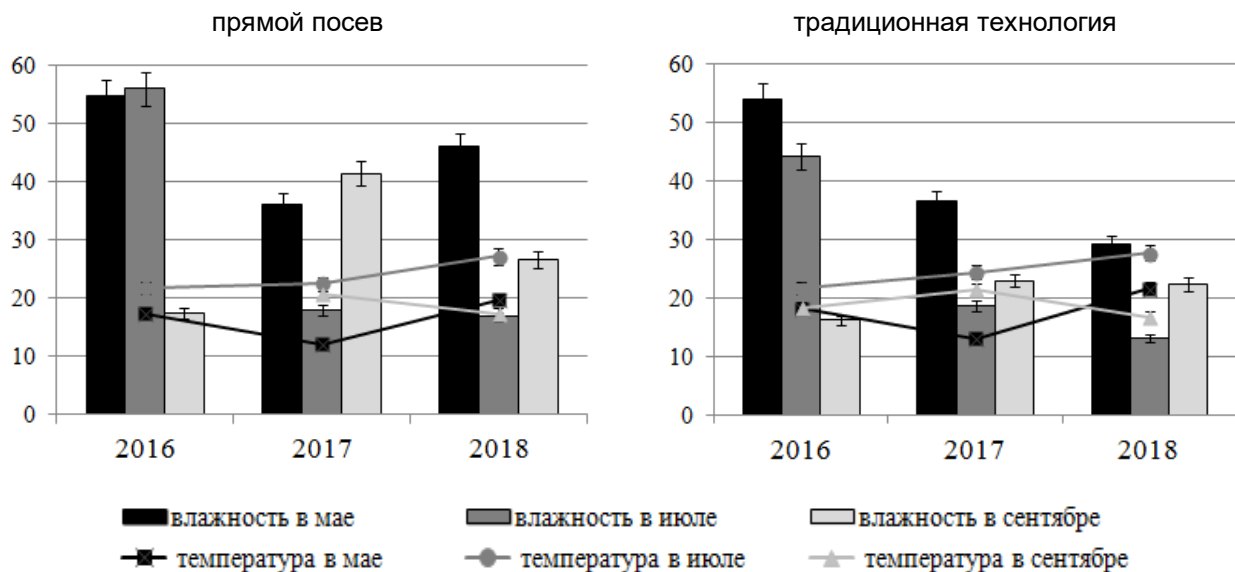


Рис. 2. Влажность (%) и температура (°C) почвы при прямом посеве и отвальной вспашке в мае, июле и сентябре 2016–2018 гг. (средние значения, $n = 4$)

В мае влажность поверхностного слоя почвы была высокой на всех исследуемых полях. Это связано со значительным количеством атмосферных осадков, выпавших за предшествующий исследованию период. Ранние исследования показали, что на полях с почвозащитной технологией прямого посева в поверхностном слое почвы сохранилось большее количество влаги (Мокриков и др., 2017), что особенно важно в период дефицита влаги после длительного отсутствия дождей осадков. Понижение температуры и повышенная влажность почвы при прямом посеве, вероятно, обусловлены отсутствием турбирования почвы и действием мульчирующего слоя растительных остатков, препятствующего испарению влаги из почвы.

Результаты исследований температурного режима в 2016–2018 гг. свидетельствуют о выраженной сезонности данного показателя. В 2016 г. температура почв в июле была на 25% выше, чем в мае ($p < 0,05$). Типичный ход температуры прослеживался также в вегетационном сезоне 2017 г.: высокая влажность почв в мае и сентябре (36 и 41%, $p < 0,05$) и низкая – в июле (18%). Сезонное снижение влажности почв в жарком июле 2017 г. связано с уменьшением количества атмосферных осадков на 34% по сравнению с июнем и высокой температурой воздуха ($p < 0,05$). В сентябре 2017 г. температура верхнего слоя почвы на участках с прямым посевом увеличилась на 83% ($p < 0,05$) по сравнению с участками с традиционной технологией обработки. Однако в период активной вегетации отмечено незначительное снижение температуры почвы (на 13–20%) по сравнению с почвой участков с традиционной технологией. Установлено, что в 2017–2018 гг. в сухой период (июль) в почвах полей с прямым посевом сохранилось большее количество влаги по сравнению с полями, на которых применялась традиционная технология обработки.

Изменение плотности сложения почв. В 2016 г. большинство почв хозяйства ИП Мокриков В. И. характеризовалось оптимальными для растений параметрами плотности сложения (рис. 3). На полях с прямым посевом в основном отмечена такая же плотность сложения почвы, как и на участках с отвальной вспашкой, при повышении её

значений достоверных различий не выявлено. Плотность сложения поверхностного слоя почвы во всех исследуемых вариантах не достигала критических отметок, при которых возникает затруднение роста корней и развития растений. Это характерно также для влажного сезона 2016 г., когда значительное количество атмосферных осадков способствовало разуплотнению структурных почв. При исследовании плотности сложения почвы не установлено какой-либо зависимости данного показателя от технологии возделывания озимой пшеницы. В сентябре 2016 г. в среднем по площадкам было отмечено увеличение плотности сложения почвы выше $1,3 \text{ г см}^{-3}$ ($p < 0,05$). Повышение плотности сложения почвы было связано с сезонным иссушением поверхностного слоя почвы в жаркий период года (апрель, июль) и уплотнением почв после сбора урожая (сентябрь). В 2017 г. не наблюдалось достоверных различий в плотности сложения почв при обоих приемах обработки. В течение сезона плотность сложения почв в среднем была одинаковой. В 2018 г., так же как в мае и июле 2017 г., достоверных различий по данному показателю между изученными вариантами не выявлено.

В сентябре на участках с NT отмечена меньшая плотность сложения почв (на 12%) по сравнению с участками с традиционной обработкой. За 2016–2018 гг. достоверных различий между плотностью сложения почв при разных видах обработки не установлено. Однако отмечено, что плотность сложения почв повышалась к сентябрю.

Несмотря на повышение плотности сложения почв в среднем во всех исследуемых вариантах в сухой период, она редко достигала высокого уровня (более $1,3 \text{ г см}^{-3}$), при котором возникает затруднение роста корней и развития растений. В весенний период после зимних циклов промерзания-оттаивания и сезонного увлажнения происходит разуплотнение почв до оптимальных для сельскохозяйственных растений значений ($1,0\text{--}1,1 \text{ г см}^{-3}$). Отсутствие переуплотнения почв при NT связано с улучшением их структурно-агрегатного состояния, что приближает данные почвы к залежным, для которых характерно снижение плотности сложения после прекращения агрогенного воздействия (Мясникова и др., 2016).

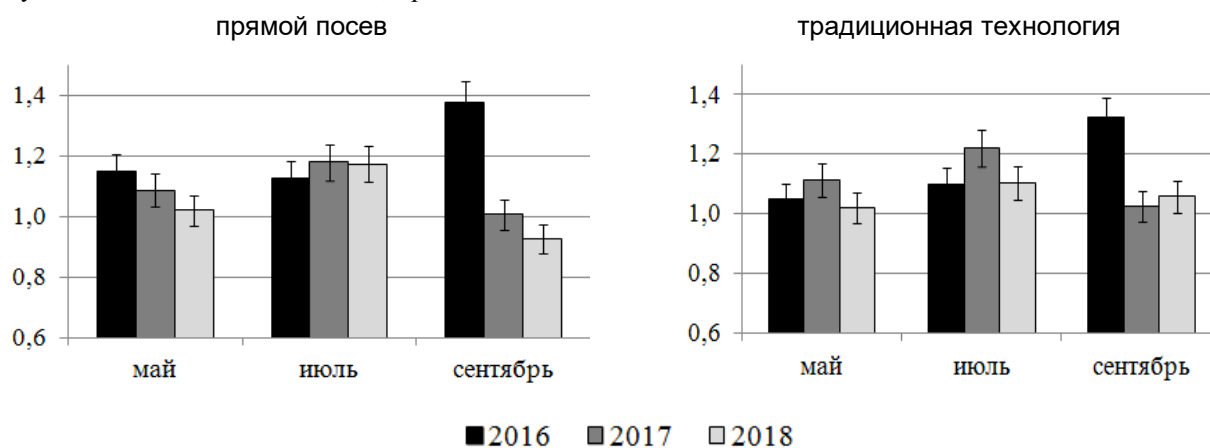


Рис. 3. Плотность сложения почв (г см^{-3}) при прямом посеве и отвальной вспашке в мае, июле и сентябре 2016–2018 гг. (средние значения, $n = 4$)

Изменение сопротивления пенетрации почв. В мае 2016 г. не выявлено ни превышения критических значений сопротивления пенетрации почв в слое 0–50 см, ни различий по данному показателю между изучаемыми технологиями обработки почвы (рис. 4). В июле установлено значительное повышение твердости почвы во всех исследуемых вариантах. Сопротивление пенетрации увеличилось в несколько раз уже с глубины 15 см (в два раза по сравнению с оптимальными значениями (1,0 МПа)). Критическая твердость почвы, превышающая 5,0 МПа, отмечена на 27-ми из 50-ти исследуемых полей. В сентябре твердость почв достоверно ($p < 0,05$) увеличилась как на участках с отвальной вспашкой (на 83%), так и на

участках с NT (на 72%). Верхние слои почвы на большинстве полей с традиционной обработкой были разрыхлены в результате вспашки и культиваций. Существенное переуплотнение почвы на участках с NT наблюдалось уже с поверхности, что связано с отсутствием механической обработки, а также с небольшим количеством осадков и высокой температурой воздуха в сентябре 2016 г. Сопротивление пенетрации почв на участках с NT достигло сверхвысоких значений (более 5,0 МПа) на глубине более 10 см. На полях с традиционной технологией превышение критических значений в сентябре установлено на глубине более 15 см.

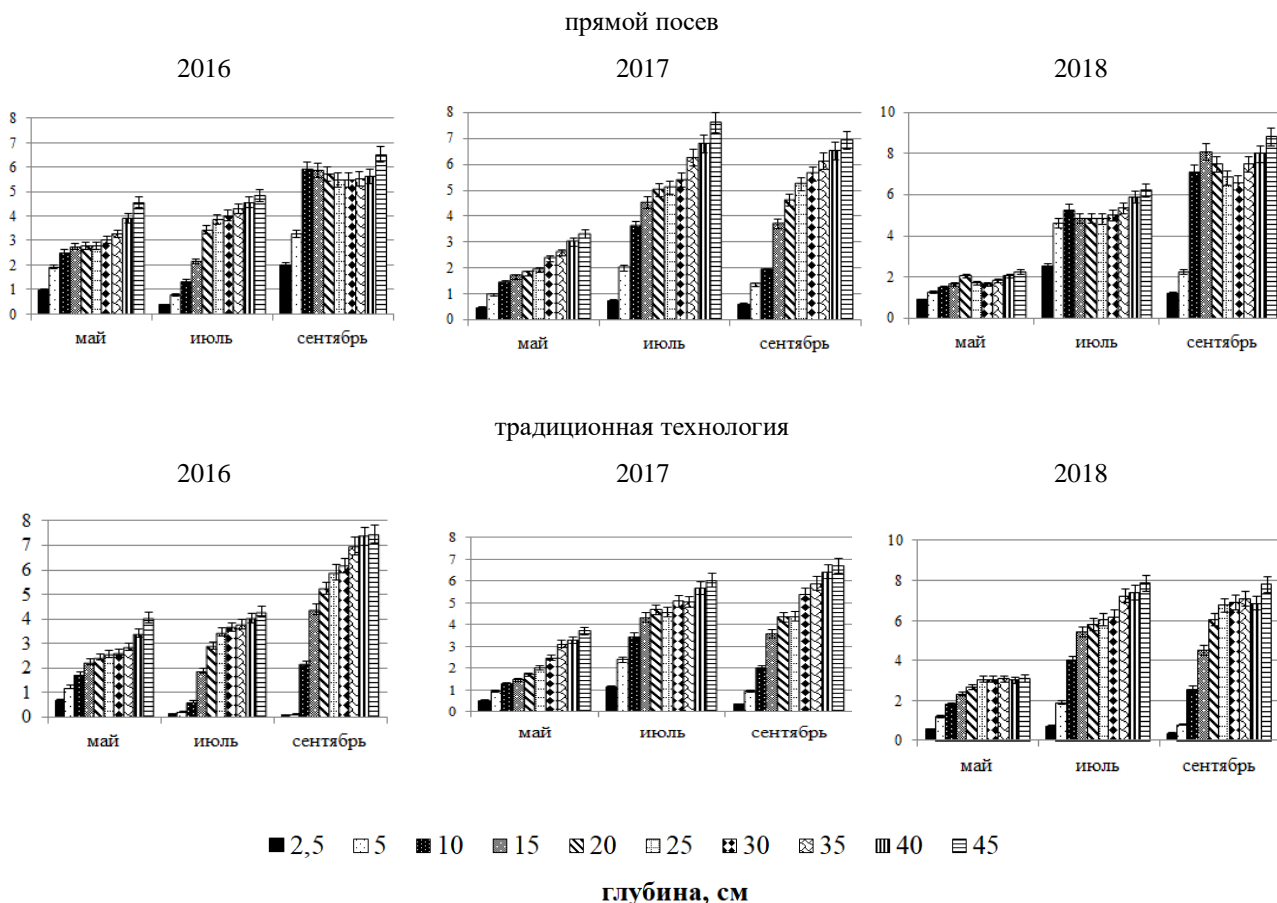


Рис. 4. Сопротивление пенетрации почв (МПа) при прямом посеве и отвальной вспашке в мае, июле и сентябре 2016–2018 гг. (средние значения, $n = 4$), МПа

В апреле 2017 г. ни на одном из исследуемых участков с прямым посевом не выявлено превышения критических значений твердости почвы. В мае 2017 г. на некоторых участках с NT установлены повышенные значения – 2,5–3,0 МПа в нижних слоях почвы с глубины 30 см. В июле на большинстве исследуемых полей с NT твердость почвы достигла сверхкритических значений – от 5,0 и до 7,6 МПа. В июле и сентябре 2017 г., когда влажность почвы понизилась в связи с высокими температурами воздуха и относительно малым количеством атмосферных осадков, она значительно возросла (на 51–60%, $p < 0,05$). Максимальные показатели твердости почвы отмечены в июле и сентябре уже с глубины 20 см при обеих технологиях обработки (6,05–7,6 МПа).

Значения сопротивления пенетрации почв в слое 0–20 см на участках с NT в мае 2018 г. были выше на 15% по сравнению с маем 2017 г., но на 49% ниже, чем в мае 2016 г. Такие изменения сопротивления пенетрации почвы связаны с различным количеством атмосферных осадков в мае в разные годы: в 2016 г. – 187 мм, 2017 г. – 60 мм, 2018 г. – 27 мм. Однако значения показателя не превышали критический уровень, что способствовало активному росту корней озимой пшеницы (Kazeev et al., 2017). В июле 2018 г. отмечены повышение сопротивления пенетрации при NT до 4,6–4,9 МПа ($p < 0,05$) уже с глубины 5 см, а при традиционной обработке — сверхвысокие значения сопротивления пенетрации (5,4–7,8 МПа, $p < 0,05$) в слое 15 см. В сентябре высокие значения сопротивления пенетрации почвы при NT установлены с глубины 10 см

(7,1 МПа), а при традиционной технологии – с глубины 20 см (6,05 МПа). Подобные значения, вероятно, связаны с переувлажнением почвы в июле и августе, когда выпало 89 и 76 мм атмосферных осадков, а также со снижением количества атмосферных осадков в сентябре на 65%. В сентябре 2016 и 2018 гг. в верхнем слое почвы

(0–10 см) на участках с NT отмечено повышение сопротивления пенетрации почв на 3,8 МПа (172%) и 4,5 МПа (175%) по сравнению участками с отвальной вспашкой.

Результаты исследований позволили установить существенную зависимость сопротивления пенетрации от влажности почвы и глубины исследуемого слоя. В периоды с высокой влажностью почвы значения сопротивления пенетрации являлись минимальными. В мае значения сопротивления пенетрации были оптимальными для сельскохозяйственных растений на всех исследуемых участках. Технология обработки почвы оказала влияние на исследуемый параметр на глубинах до 15–20 см. В указанном

подповерхностном слое на контрольных участках отмечены как высокие значения сопротивления пенетрации (весной), так и низкие (после обработок почвы сельскохозяйственными орудиями). Вниз по профилю различия между почвами, подвергнутыми разным приемам обработки, были менее существенными и зависели, прежде всего, от влажности почв. Результаты исследований, проведенных в 2017 и 2018 гг., подтвердили закономерности, выявленные в первый год наблюдений (2016 г.). Влажность почвы в значительной степени влияла на сопротивление пенетрации. Ее влияние было намного сильнее, чем влияние применяемой технологии обработки, за исключением тех случаев, когда почва распахивалась или культивировалась непосредственно перед измерениями. Различия между технологиями обработки почвы были минимальными в мае каждого года исследований (Мокриков и др., 2017; Kazeev et al., 2017). При повышении температуры и уменьшении влажности почвы в июле и сентябре сопротивление пенетрации увеличивалось.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования физических свойств почвы (влажности, плотности и сопротивления пенетрации) при разных приемах её обработки установлена связь сопротивления пенетрации с влажностью почв, которая определяется как сезонными факторами (атмосферными осадками), так и параметрами механической обработки почвы. При отвальной вспашке и прямом посеве значения плотности сложения черноземов в исследуемых агроценозах различались незначительно. Сезонное повышение плотности сложения и сопротивления пенетрации почвы наблюдалось как при прямом посеве, так и при отвальной вспашке. С другой стороны, регулярные обработки почвы на участках с отвальной вспашкой способствовали разуплотнению ее поверхностных слоев. В засушливых сентябрях 2016 г. и 2018 г. в верхнем слое почвы (0–10 см) наибольшее сопротивление пенетрации отмечено при NT, что связано с осенним разрыхлением пахотного слоя. При повышении влажности почв весной значения данного показателя оптимизируются и различий по нему между двумя технологиями обработки почвы не обнаруживается. Таким образом, в почвенно-климатических условиях Ростовской области применение технологии прямого посева способствует снижению себестоимости продукции и повышению урожайности культурных растений, что достигается, прежде всего, за счёт лучшего сохранения влаги и благоприятных агрофизических свойств почвы в течение большей части вегетационного сезона.

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (5.5735.2017/8.9) и Президента Российской Федерации

ФЕДЕРАЦИИ (НШ-3464.2018.11).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Баева Ю. И., Курганова И. Н., Лопес де Геренно В. О., Овсепян Л. А., Телеснина В. М., Цветкова Ю. Д. Изменение агрегатного состава различных типов почв в ходе залежной сукцессии // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2017. Вып. 88. С. 47–74.
- Белоусова Е. Н., Белоусов А. А. Агрофизические свойства чернозема, выщелоченного в условиях нулевой технологии // Агрофизика. № 1. 2017. С. 1–10.
- Вальков В. Ф., Денисова Т. В., Казеев К. Ш., Колесников С. И., Кузнецов Р. В. Почвенно-экологические аспекты растениеводства. Ростов-на-Дону: Ростиздат, 2007. 391 с.
- Вальков В. Ф., Денисова Т. В., Казеев К. Ш., Колесников С. И., Кузнецов Р. В. Плодородие почв и сельскохозяйственные растения: экологические аспекты. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2008. 416 с.
- Гаева Э. А. Влияние способов обработки почвы на водно-физические свойства и урожайность ярового ячменя при возделывании на склоновых землях Ростовской области // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2018. № 3(31). С. 132–147.

- Горянин О. И., Чуданов И. А. Влияние систем обработки почвы на плотность чернозёма обыкновенного в Заволжье // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 7. С. 44–47.
- Дрёпа Е. Б., Голубь А. С. Физические свойства почвы при применении технологии No-Till // Вестник АПК Ставрополя. 2014. № 4(16). С. 181–185.
- Зеленский Н. А., Зеленская Г. М., Мокриков Г. В., Шуркин А. Ю. Плодородие почвы: настоящее и будущее нашего земледелия // Земледелие. 2018. № 5. С. 4–7. DOI: 10.24411/0044-3913-2018-10501.
- Казаков Г. И., Корчагин В. А. Почвозащитная обработка почвы в Среднем Поволжье // Земледелие. 2009. № 1. С. 26–28.
- Казеев К. Ш., Колесников С. И., Акименко Ю. В., Даденко Е. В. Методы биодиагностики наземных экосистем. Ростов-на-Дону: Издательство ЮФУ, 2016. 356 с.
- Ковалёв В. П. Плотность сложения почвы и урожай // Почвоведение. 1992. № 11. С. 111–115.
- Кормилицина О. В., Бондаренко В. В. Мониторинг состояния почвенно-грунтовых условий озелененных территорий // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2016. С. 86–89.
- Корчагин В. А., Горянин О. И., Обущенко С. В., Чичкин А. П. Концепция воспроизводства плодородия черноземных почв степных районов среднего Заволжья // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 5–3. С. 1081–1085.
- Кроветто К. Нулевая обработка. Роль растительных остатков // Ресурсосберегающее земледелие. 2010. № 1(5). С. 7–10.
- Кунах О. Н., Балдин А. А. Экологический аспект твердости почвы в Пристенной дубраве // Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія. 2011. Вип. 19. Т. 1. С. 65–74.
- Лыков А. М., Прудникова А. Г., Прудников А. Д. К проблеме экологизации обработки почвы в современных системах земледелия // Плодородие. 2006. № 6. С. 2–5.
- Медведев В. В. Изменчивость оптимальной плотности сложения почв и её причины // Почвоведение. 1990. № 5. С. 20–30.
- Медведев В. В., Булыгин С. Ю. Физическая характеристика чернозема обыкновенного при отвальной и безотвальной обработках // Почвоведение. 1986. № 2. С. 45–53.
- Минникова Т. В., Мокриков Г. В., Казеев К. Ш., Акименко Ю. В., Колесников С. И. Влияние технологии No-Till на нитрификационную активность черноземов Ростовской области // Агрохимия. 2017. № 9. С. 33–38. DOI: 10.7868/S0002188117090034.
- Мокриков Г. В., Казеев К. Ш., Акименко Ю. В., Колесников С. И. Влияние технологии прямого посева на эколого-биологические свойства черноземов // Известия Высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. 2017. № 2. С. 68–74.
- Мясникова М. А., Казеев К. Ш., Ермолаева О. Ю., Черникова М. П., Колесников С. И., Акименко Ю. В., Козунь Ю. С. Биологические свойства разновозрастных постагрогенных черноземов Ростовской области // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18. № 2–2. С. 452–456.
- Научно-прикладной справочник по климату СССР. Выпуск 13. Волгоградская, Ростовская, Астраханская области, Краснодарский, Ставропольский края, Калмыцкая, Кабардино-Балкарская, Чечено-Ингушская, Северо-Осетинская АССР. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 724 с.
- Перфильев Н. В., Вьюшина О. А., Конищев А. А., Гарифуллин И. И. Исследование взаимосвязи «оптимальной плотности» почвы с урожайностью зерновых культур // Агрофизика. 2017. № 4. С. 16–24.
- Романов В. Н., Ивченко В. К., Ильченко И. О., Луганцева М. В. Влияние приемов основной обработки почвы в севообороте на динамику влажности и агрофизические свойства чернозема выщелоченного // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 5. С. 32–34.
- Трофимова Т. А., Коржов С. И., Гулевский В. А., Образцов В. Н. Оценка степени физической деградации и пригодности черноземов к минимизации основной обработки почвы // Почвоведение. 2018. № 9. С. 1125–1131. DOI: 10.1134/S0032180X18090125.
- Хрусталева Ю. П., Василенко В. Н., Свисюк И. В., Панов В. Д., Ларионов Ю. А. Климат и агроклиматические ресурсы Ростовской области. Ростов-на-Дону, 2002. 183 с.
- Шабаев А. И., Жолинский Н. М., Азизов З. М., Соколов Н. М. Ресурсосберегающая почвозащитная обработка почвы в агроландшафтах Поволжья // Земледелие. 2007. № 1. С. 20–22.
- Шейн Е. В. Курс физики почв. М.: Издательство МГУ, 2005. 432 с.
- Шишов Л. Л., Тонконогов В. Д., Лебедева И. И., Герасимова М. И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
- Comprehensive Assessment of Soil Health / Moebius-Clune B. N., Moebius-Clune D. J., Gugino B. K., Idowu O. J., Schindelbeck R. R., Ristow A. J., van Es H. M., Thies J. E., Shayler H. A., McBride M. B., Wolfe D. W., Abawi G. S. // Third Edition Interim Draft, 2016, no. 22, 140 p.
- Derpsch R., Friedrich T., Kassam A., Hongwen L. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits // International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2010, v. 3, no. 1, pp. 1–26. DOI: 10.3965/j.issn.1934-6344.2010.01.001-025.
- <https://rp5.ru>
- IUSS Working Group WRB. 2007. World Reference Base for Soil Resources, World Soil Resources Reports. FAO, Rome, 2006, no. 103, 116 p.

- Kazeev K. Sh., Mokrikov G. V., Akimenko Yu. V., Kolesnikov S.I. Effect of no-till on the physical properties of south Russia soil // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management. SGEM, 2017, no. 17 (32), pp. 185–192. DOI 10.5593/sgem2017/32/S13.025.
- Misra R. K., Dexter A. R., Alston A. M. Penetration of soil aggregates of finite size: Plant roots // *Plant Soil*, 1986, v. 95, pp. 59–85.
- Otto R., Silva A. P., Franco H. C. J., Oliveira E. C. A., Trivelin P. C. O. High soil penetration resistance reduces sugarcane root system development // *Soil and Tillage Research*. 2011, v. 117, pp. 201–210, DOI: 10.1016/j.still.2011.10.005.
- Soane B. D., Ball B. C., Arvidsson J., Basch G., Moreno F., Roger-Estrade J. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment // *Soil and Tillage Research*, 2012, v. 118, pp. 66–87.

REFERENCES

- Baeva Yu. I., Kurganova I. N., Lopes de Gerenyu V. O., Ovsepyan L. A., Telesnina V. M., Cvetkova Yu. D. Izmenenie agregatnogo sostava razlichnyh tipov pochv v hode zalezhnnoj sukcesii [Changes in the aggregate composition of various soil types during fallow succession] // *Byulleten' Pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchaeva*, 2017, v. 88, pp. 47–74.
- Belousova E. N., Belousov A. A. Agrofizicheskie svoystva chernozema vshchelochennogo v usloviyah nulevoj tekhnologii [Agrophysical properties of leached chernozem in the conditions of zero technology] // *Agrofizika*, 2017, no. 1, pp. 1–10.
- Val'kov V. F., Denisova T. V., Kazeev K. Sh., Kolesnikov S. I., Kuznecov R. V. *Pochvenno-ehkologicheskie aspekty rastenievodstva* [Soil and environmental aspects of crop production]. Rostov-na-Donu: Rostizdat, 2007. 391 p.
- Val'kov V. F., Denisova T. V., Kazeev K. Sh., Kolesnikov S. I., Kuznecov R. V. *Plodorodie pochv i sel'skohozyajstvennyye rasteniya: ehkologicheskie aspekty* [Soil fertility and agricultural plants: environmental aspects]. Rostov-na-Donu: Publishing YuFU, 2008. 416 p.
- Gaevaya E. A. Vliyanie sposobov obrabotki pochvy na vodno-fizicheskie svoystva i urozhajnost' yarovogo yachmenya pri vozdeleyanii na sklonovyh zemlyah Rostovskoj oblasti [Influence of tillage methods on the water-physical properties and yield of spring barley during cultivation on the slope lands of the Rostov region] // *Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioracii*, 2018, no. 3(31), pp. 132–147.
- Goryanin O. I., Chudanov I. A. Vliyanie sistem obrabotki pochvy na plotnost' chernozyoma obyknovennogo v Zavolzh'e [The effect of tillage systems on the density of ordinary chernozem in the Volga region] // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2017, v. 31, no. 7, pp. 44–47.
- Dryopa E. B., Golub' A. S. Fizicheskie svoystva pochvy pri primenenii tekhnologii No-Till [Physical properties of the soil with the use of technology No-Till] // *Vestnik APK Stavropol'ya*, 2014, no. 4(16), pp. 181–185.
- Zelenskij N. A., Zelenskaya G. M., Mokrikov G. V., Shurkin A. Yu. Plodorodie pochvy: nastoyashchee i budushchee nashego zemledeliya [Soil fertility: the present and the future of our agriculture] // *Zemledelie*, 2018, no. 5, pp. 4–7. DOI: 10.24411/0044-3913-2018-10501.
- Kazakov G. I., Korchagin V. A. Pochvozashchitnaya obrabotka pochvy v Srednem Povolzh'e [Soil protection tillage in the Middle Volga] // *Zemledelie*, 2009, no. 1, pp. 26–28.
- Kazeev K. Sh., Kolesnikov S. I., Akimenko Yu. V., Dadenko E. V. *Metody biodiagnostiki nazemnyh ehkossistem* [Methods of bio-diagnostics of terrestrial ecosystems]. Rostov-na-Donu: Publishing YuFU, 2016. 356 p.
- Kovalyov V. P. Plotnost' slozheniya pochvy i urozhaj [Soil density and yield] // *Pochvovedenie*, 1992, no. 1, pp. 111–115.
- Kormilicina O. V., Bondarenko V. V. Monitoring sostoyaniya pochvenno-gruntovyh uslovij ozelenennyh territorij [Monitoring the soil and soil conditions of green areas] // *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa - Lesnoy vestnik*, 2016, pp. 86–89.
- Korchagin V. A., Goryanin O. I., Obushchenko S. V., Chichkin A. P. Koncepciya vosproizvodstva plodorodiya chernozemnyh pochv stepnyh rajonov srednego Zavolzh'ya [The concept of reproduction of fertility of chernozem soils of the steppe regions of the middle Trans-Volga] // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*, 2014, v. 16, no. 5–3, pp. 1081–1085.
- Krovetto K. Nulevaya obrabotka. Rol' rastitel'nyh ostatkov [Zero processing. The role of plant residues] // *Resursosberegayushchee zemledelie*, 2010, no. 1(5), pp. 7–10.
- Kunah O. N., Baldin A. A. Ehkologicheskij aspekt tverdosti pochvy v Pristennoj dubrave [Ecological aspect of soil hardness in the Near-wall oak forest] // *Visnik Dnipropetrovs'kogo universitetu. Biologiya. Ekologiya*, 2011, issue 19, v. 1, pp. 65–74.
- Lykov A. M., Prudnikova A. G., Prudnikov A. D. K probleme ehkologizacii obrabotki pochvy v sovremennyh sistemah zemledel'nyh [To the problem of ecologization of tillage in modern farming systems] // *Plodorodie*, 2006, no. 6, pp. 2–5.
- Medvedev V. V. Izmenchivost' optimal'noj plotnosti slozheniya pochv i eyo prichiny [The variability of the optimal density of soil composition and its causes] // *Pochvovedenie*, 1990, no. 5, pp. 20–30.

- Medvedev V. V., Bulygin S. Yu. Fizicheskaya harakteristika chernozema obyknovennogo pri otval'noj i bezotval'noj obrabotkah [Physical characteristics of ordinary chernozem with moldboard and tailored treatments] // *Pochvovedenie*, 1986, no. 2, pp. 45–53.
- Minnikova T. V., Mokrikov G. V., Kazeev K. Sh., Akimenko Yu. V., Kolesnikov S. I. Vliyanie tekhnologii No-Till na nitrifikacionnyu aktivnost' chernozemov Rostovskoj oblasti [The influence of the No-Till technology on the nitrification activity of the black soil of the Rostov region] // *Agrohimiya*, 2017, no. 9. pp. 33–38. DOI: 10.7868/S0002188117090034.
- Mokrikov G. V., Kazeev K. Sh., Akimenko Yu. V., Kolesnikov S. I. Vliyanie tekhnologii pryamogo poseva na ehkologo-biologicheskie svojstva chernozemov [The influence of direct seeding technology on the ecological and biological properties of black soil] // *Izvestiya Vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region*, 2017, no. 2, pp. 68–74.
- Myasnikova M. A., Kazeev K. Sh., Ermolaeva O. Yu., Chernikova M. P., Kolesnikov S. I., Akimenko Yu. V., Kozun' Yu. S. Biologicheskie svojstva raznovozrastnyh postagrogennyh chernozemov Rostovskoj oblasti [Biological properties of uneven-aged postagrogenic chernozems of the Rostov region] // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*, 2016, v. 18, no. 2–2, pp. 452–456.
- Nauchno-prikladnoj spravochnik po klimatu SSSR. Vypusk 13. Volgogradskaya, Rostovskaya, Astrahanskaya oblasti, Krasnodarskij, Stavropol'skij kraja, Kalmyckaya, Kabardino-Balkarskaya, Checheno-Ingushskaya, Severo-Osetinskaya ASSR [Scientific and Applied Handbook on the Climate of the USSR. Issue 13. Volgograd, Rostov, Astrakhan regions, Krasnodar, Stavropol Territories, Kalmyk, Kabardino-Balkaria, Chechen-Ingush, North Ossetian ASSR]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1990. 724 p.
- Perfil'ev N. V., Vyushina O. A., Konishchev A. A., Garifullin I. I. Issledovanie vzaimosvyazi «optimal'noj plotnosti» pochvy s urozhajnost'yu zernovyh kul'tur [Investigation of the relationship between the «optimal density» of soil and the yield of grain] // *Agrofizika*, 2017, no. 4, pp. 16–24.
- Romanov V. N., Ivchenko V. K., Ilchenko I. O., Luganceva M. V. Vliyanie priemov osnovnoj obrabotki pochvy v sevooborote na dinamiku vlazhnosti i agrofizicheskie svojstva chernozema vyshchelochennogo [The influence of methods of main tillage in crop rotation on the dynamics of humidity and agrophysical properties of leached chernozem] // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2018, v. 32, no. 5, pp. 2–34.
- Trofimova T. A., Korzhov S. I., Gulevskij V. A., Obrazcov V. N. Ocenka stepeni fizicheskoy degradacii i prigodnosti chernozemov k minimizacii osnovnoj obrabotki pochvy [Assessment of the degree of physical degradation and suitability of chernozem to minimize the main tillage] // *Pochvovedenie*, 2018, no. 9, pp. 1125–1131.
- Hrustalev Yu. P., Vasilenko V. N., Svisyuk I. V., Panov V. D., Larionov Yu. A. *Klimat i agroklimaticheskie resursy Rostovskoj oblasti* [Climate and agroclimatic resources of the Rostov region]. Rostov-na-Donu, 2002. 183 p.
- Shabaev A. I., Zholinskij N. M., Azizov Z. M., Sokolov N. M. Resursosberegayushchaya pochvozashchitnaya obrabotka pochvy v agrolandshaftah Povolzh'ya [Resource-saving soil-protective tillage in agricultural landscapes of the Volga region] // *Zemledelie*, 2007, no. 1, pp. 20–22.
- Shein E. V. *Kurs fiziki pochv* [Soil physics course]. Moscow: Publishing MGU, 2005. 432 p.
- Shishov L. L., Tonkonogov V. D., Lebedeva I. I., Gerasimova M. I. *Klassifikaciya i diagnostika pochv Rossii* [Classification and diagnosis of soils of Russia]. Smolensk: Ojkumena, 2004. 342 p.
- Comprehensive Assessment of Soil Health / Moebius-Clune B. N., Moebius-Clune D. J., Gugino B. K., Idowu O. J., Schindelbeck R. R., Ristow A. J., van Es H. M., Thies J. E., Shayler H. A., McBride M. B., Wolfe D. W., Abawi G. S. // Third Edition Interim Draft, 2016, no. 22, 140 p.
- Derpsch R., Friedrich T., Kassam A., Hongwen L. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits // *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 2010, v. 3, no. 1, pp. 1–26. DOI: 10.3965/j.issn.1934-6344.2010.01.001-025.
<https://rp5.ru>
- IUSS Working Group WRB. 2007. World Reference Base for Soil Resources, World Soil Resources Reports. FAO, Rome, 2006, no. 103, 116 p.
- Kazeev K. Sh., Mokrikov G. V., Akimenko Yu. V., Kolesnikov S. I. Effect of no-till on the physical properties of south Russia soil // *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management. SGEM*, 2017, no. 17 (32), pp. 185–192. DOI 10.5593/sgem2017/32/S13.025.
- Misra R. K., Dexter A. R., Alston A. M. Penetration of soil aggregates of finite size: Plant roots // *Plant Soil*, 1986, v. 95, pp. 59–85.
- Otto R., Silva A. P., Franco H. C. J., Oliveira E. C. A., Trivelin P. C. O. High soil penetration resistance reduces sugarcane root system development // *Soil and Tillage Research*. 2011, v. 117, pp. 201–210, DOI: 10.1016/j.still.2011.10.005.
- Soane B. D., Ball B. C., Arvidsson J., Basch G., Moreno F., Roger-Estrade J. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment // *Soil and Tillage Research*, 2012, v. 118, pp. 66–87.