

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

имени М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Плотникова Оксана Олеговна

**Роль транспортирующей способности водных потоков в изменении
некоторых свойств поверхностных горизонтов эродированных черноземов
типичных (на примере Курской области)**

Специальность 03.02.13 – Почвоведение

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Москва – 2020

Работа выполнена на кафедре эрозии и охраны почв факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова и в лаборатории минералогии и микроморфологии почв ФГБНУ ФИЦ "Почвенный институт имени В.В. Докучаева".

Научные руководители: *Демидов Валерий Витальевич, доктор биологических наук, доцент*
Лебедева Марина Павловна, доктор сельскохозяйственных наук

Официальные оппоненты: *Голосов Валентин Николаевич, доктор географических наук, доцент, МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов имени Н.И.Маккавеева, ведущий научный сотрудник*

Чендев Юрий Георгиевич, доктор географических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Институт наук о Земле, кафедра природопользования и земельного кадастра, профессор

Сухановский Юрий Петрович, доктор сельскохозяйственных наук, ФГБНУ "Курский федеральный аграрный центр" "Всероссийский научно-исследовательский институт земледелия и защиты почв от эрозии", лаборатория защиты почв от эрозии, ведущий научный сотрудник

Защита диссертации состоится 23 марта 2021 г. в 15 часов 30 минут на заседании диссертационного совета МГУ.03.05 Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, Москва, ул. Ленинские горы, д. 1, стр. 12, МГУ имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, аудитория М-2.

E-mail: natalia_kovaleva@mail.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27).

Со сведениями о регистрации участия в защите в удаленном интерактивном режиме и с диссертацией в электронном виде также можно ознакомиться на сайте ИАС «ИСТИНА»: <http://istina.msu.ru/dissertations/331418404/>.

Автореферат разослан 25 декабря 2020 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор биологических наук

Н.О. Ковалева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Существующие методы проектирования противоэрозионных мероприятий основываются на расчетах, построенных на анализе многолетних рядов наблюдений в прошлом. Однако в последние десятилетия происходят стремительные, трудно предсказуемые климатические изменения, вызывающие справедливые опасения мирового сообщества (Добровольский, Куст, 2007; IPCC, 2019: Summary for Policymakers, 2019). Следовательно, при проектировании противоэрозионных мероприятий следует основываться на метеорологических и гидрологических расчетах с учетом перестроек климата (Кузнецов с соавт., 2008). Проектирование противоэрозионных мероприятий также может основываться на прогнозах эрозионных моделей, в которых учитываются как изменения климата, так и вызываемые ими трансформации параметров эродирующих водных потоков. Таким образом, потребность в учете транспортных характеристик потоков в эрозионных моделях обуславливает необходимость дальнейших разработок в этой области. В настоящее время существует немало научных работ, посвященных изучению процессов отрыва, транспорта и аккумуляции наносов мелководными потоками (Nearing et al., 1989; Govers, 1990; Li, Abrahams, 1999; Prosser, Flanagan et al., 2007; Ларионов, Краснов, 2000; Гендугов с соавт., 2007; Абдулханова, Григорьев, 2009; Григорьев, 2012). Однако лишь малая их часть посвящена лабораторному моделированию ручейковой эрозии, воздействующей на почвы, а не на модельные пески и их смеси (Govers, 1985; Nearing et al., 1997; De Baets et al., 2006; Ларионов с соавт., 2007, 2019).

Свойствам черноземов, в том числе микроморфологическим, посвящено огромное множество книг и статей (Поляков, Ярилова, 1978; Щеглов, 1999; Герасимова с соавт., 1992; Турсина, 1990). В современной научной литературе широко освещены вопросы изучения агрегатного состава черноземов и их гумусного состояния (Когут с соавт., 2012; Мамонтов с соавт., 2016; Дубовик, Дубовик, 2019). Существуют публикации об изменении этих характеристик черноземов в результате различных экспериментов: внесения сложного компоста (Антоненко с соавт., 2016); дождевания на стоковых площадках (Дубовик, 2010, 2012); обработки полимерными препаратами (Демидов с соавт., 2019). Однако данных о состоянии агрегатов черноземов непосредственно после воздействия на них водной эрозии очень мало (Чижикова с соавт., 2010). И так же немногочисленны данные о свойствах пахотных черноземов после лабораторных эрозионных экспериментов (Ларионов с соавт., 2018), а состояние агрегатов пахотных черноземов после лабораторных эрозионных экспериментов оценивалось впервые (Плотникова с соавт., 2018, 2019).

Изложенные положения послужили основанием для расширения изучения свойств агрегатов черноземов типичных после воздействия модельных мелководных склоновых потоков.

Цель исследования: оценить влияние транспортирующей способности склоновых мелководных потоков на некоторые свойства пахотных горизонтов эродированных черноземов типичных Курской области разной степени смывости.

Задачи исследования:

1. Оценить агрегатный состав и водоустойчивость агрегатов исследуемых почв и связь этих показателей с содержанием гумуса.
2. Проанализировать микростроение пахотных горизонтов эродированных черноземов.
3. Оценить изменение диаметра влекомых агрегатов в зависимости от скорости потока.
4. Провести верификацию уравнения транспортирующей способности потоков малой глубины.
5. Оценить морфометрические параметры агрегатов черноземов типичных и их изменение в результате воздействия модельных мелководных потоков.

Объект исследования – пахотные горизонты черноземов типичных несмытого, слабо- и среднесмытого (Курская область). **Предмет исследования** – изменение свойств почвы в результате природных и модельных эрозионных процессов.

Научная новизна. Впервые для чернозема типичного верифицировано уравнение транспортирующей способности водных потоков малой глубины. При изучении эрозионных процессов впервые применены микроморфометрические исследования, позволившие получить сведения о морфометрических параметрах почвенных агрегатов и их изменении в результате размыва модельным мелководным склоновым потоком. Кроме того, использование микроморфологического анализа позволило расширить знания о свойствах пахотных горизонтов черноземов типичных разной степени смывости.

Теоретическая и практическая значимость работы. Проведенная верификация уравнения транспортирующей способности водных потоков малой глубины позволяет в дальнейшем использовать это уравнение для расчетов транспортирующей способности в современных прогнозных моделях водной эрозии. Выводы, полученные в работе, расширяют представления о влиянии мелководных потоков на особенности агрегатов почв разной степени смывости. Предложенная методика исследования морфометрических параметров агрегатов почв может быть использована в дальнейшем как для

изучения результатов эрозионных процессов, так и для оценки влияния способов агротехники на свойства пахотных горизонтов различных окультуренных почв.

Положения, выносимые на защиту:

1. Вспашка и эрозионные процессы ухудшают качество структуры почвы, что выражается в увеличении доли глыбистых агрегатов, уменьшении коэффициента структурности и критерия водопрочности по сравнению с нераспаханным аналогом. При этом с увеличением степени смытости пахотных черноземов типичных коэффициент структурности пахотного горизонта уменьшается, а водопрочность увеличивается, что связано с усилением цементирующей роли карбоната кальция. Эрозионные процессы оказывают негативное влияние на гумусное состояние пахотных черноземов типичных Курской области, что выражается в уменьшении содержания гумуса в почве с увеличением степени ее смытости.

2. Для черноземов типичных пахотных разной степени смытости верифицировано уравнение транспортирующей способности водных потоков малой глубины. В дальнейшем уравнение может быть верифицировано для других типов почв и применено для расчетов в моделях водной эрозии почв.

3. Изменение морфометрических показателей агрегатов эродированных пахотных черноземов типичных в эрозионных экспериментах обусловлено как степенью смытости исходной почвы, так и скоростью размывающих модельных мелководных потоков. При этом в изученном диапазоне скоростей потока (0,3–0,58 м/с) влияние степени смытости исходной почвы проявляется сильнее, чем влияние мелководных потоков.

Личный вклад автора заключается в анализе научной литературы по теме исследования, участии в полевых и лабораторных работах, проведении статистической обработки полученных экспериментальных и аналитических данных, обобщении и интерпретации полученных результатов, представлении результатов исследования на научных конференциях, подготовке научных статей по результатам исследования и настоящей рукописи.

Степень достоверности. Исследования проведены на современном оборудовании методами, широко применяющимися в области почвоведения. Полученные экспериментальные данные с учетом особенностей экспериментов и выборок обработаны статистическими методами с помощью программ STATISTICA и RStudio. Выводы достоверны при принятой доверительной вероятности $P = 0,95$.

Апробация результатов. Результаты работы изложены на 10 конференциях: VII съезд Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Всероссийская с международным участием научная конференция (Белгород,

2016 г.), «Почвоведение: горизонты будущего – 2017» (Москва, 2017 г.), XX Докучаевские молодежные чтения «Почва и устойчивое развитие государства» (Санкт-Петербург, 2017 г.), XXIV Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2017» (Москва, 2017 г.), Всероссийская с международным участием научная конференция «Черноземы Центральной России: генезис, эволюция и проблемы рационального использования» (Воронеж, 2017 г.), Вторая всероссийская открытая конференция «Почвенные и земельные ресурсы: состояние, оценка, использование» (Москва, 2017 г.), Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2018» (Москва, 2018 г.), Юбилейный семинар «Маккавеевские чтения» (Москва, 2018 г.), Четвертая Открытая конференция молодых ученых «Почвоведение: горизонты будущего. 2020» (Москва, 2020 г.), Международная научно-практическая конференция «Инновационно-технологические основы развития адаптивно-ландшафтного земледелия», посвященная 50-летию со дня основания ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии (Курск, 2020 г.).

Также результаты работы докладывались и обсуждались на заседаниях кафедры эрозии и охраны почв факультета почвоведения МГУ (2016–2020 гг.).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 13 научных работ, из них 4 статьи в рецензируемых журналах из списков Scopus, Web of Science, RSCI Web of science и дополнительного списка рецензируемых научных изданий для защиты в диссертационном совете МГУ из Перечня рекомендованных Минобрнауки России, 1 свидетельство о государственной регистрации базы данных и 8 статей в сборниках и тезисов докладов.

Объем и структура диссертации. Материалы работы изложены на 134 страницах, содержат 5 таблиц, 16 рисунков, 3 приложения на 15 страницах. Текст работы состоит из введения, обзора литературы (глава 1), описания объектов и методов исследования (глава 2), представления результатов исследования и их обсуждения (глава 3), выводов и заключения. Список литературы включает 262 источника, в том числе 100 – на иностранных языках.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность научным руководителям – Демидову Валерию Витальевичу и Лебедевой Марине Павловне – за неоценимую помощь, чуткое руководство и поддержку на всех этапах работы. Отдельную благодарность автор выражает Скворцовой Е.Б. за научные консультации в области морфометрического анализа почвы и Фастовцу И.А. за консультации и помощь в области статистического анализа данных. Автор выражает благодарность коллективам кафедры эрозии и охраны почв факультета почвоведения МГУ и лаборатории минералогии и микроморфологии почв ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт

им. В.В. Докучаева», в особенности Макарову О.А., Абдулхановой Д.Р., Полубневу А.А. и Лебедеву М.А. Семье, коллегам и близким, в частности Плотникову В.А., Крыхтиной Е.И., Романис Т.В., Котельниковой А.Д., Достоваловой Е.В. автор глубоко признателен за вдохновение и поддержку на всем протяжении работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Даны определения эрозии почв, водной эрозии почв и ее видов (Кузнецов, Глазунов, 2004). Перечислены известные в научной литературе причины взвешивания частиц наносов (Михайлова, 1966; Россинский, 1968; Ларионов с соавт., 2015), определения взвешенных и донных наносов (Чалов, 2016), типов их движения, описаны основные известные теории движения наносов (Маккавеев, 1963; Караушев, 1977; Li, Abrahams, 1997; Lee et al., 2006), основные характеристики склоновых водных потоков (Кузнецов, Глазунов, 2004). Приведены различные определения транспортирующей способности и дано объяснение отличия этого понятия от понятия расхода наносов (Разумихина, 1966; Факторович, 1970; Барышников, Попов, 1988; Бастраков, Ларионов, 1996; Кондратьев, 2008); сведения о разных формулах расхода наносов с указанием их основных параметров (Shvidchenko, 2000); рассмотрены гидрологические условия, при которых вместо формул расхода наносов допустимо применять формулы транспортирующей способности потоков (Алексеевский, Чалов, 1997). Описана степень изученности транспортирующей способности крупных водных потоков (Замарин, 1951; Гончаров, 1954; Караушев, 1960; Леви, 1968; Дебольский, Котков, 1977; Железняков, 1988) и разбрызгивания почвы дождевыми каплями (Ellison, 1944; Smith, Wischmeier, 1962; Poesen, Savat, 1981; Nearing et al., 1991). Изложена история изучения транспортирующей способности ручейковых потоков (Yalin, 1963; Nearing et al., 1989; Govers, 1992; Flanagan et al., 2007; Ларионов, Краснов, 1992; Гендугов с соавт., 2007). Приведены широко используемые формулы транспортирующей способности, имеющие различное физическое обоснование (Foster, Meyer, 1972; Ларионов с соавт., 2006; Григорьев, 2012). Сделан вывод о том, что в настоящее время основные работы в этой области ведутся в направлении верификации разработанных ранее моделей и формул применительно к натурным объектам.

Изложены основные результаты изучения микростроения естественных и антропогенно преобразованных черноземов, а также изменения микростроения черноземов в результате различных экспериментов (Поляков, Ярилова, 1978; Герасимова с соавт., 1992; Бганцов с соавт., 1988; Санжарова с соавт., 1988; Турсина, 1990; Чижикова с соавт., 2010). Показана актуальность задачи по

выявлению особенностей микростроения эродированных пахотных черноземов в сравнении с незэродированными. Приведены сведения об истории развития и особенностях микроморфометрических исследований почвы (Польский, 1955; Kubiěna, 1967; Парфенова, Ярилова, 1977; Mermut, Norton, 1992; Скворцова, 1999; Stoops, 2018). Описаны основные результаты проведенных разными учеными микроморфометрических исследований черноземов с применением почвенных шлифов (Mermut, Arnaud, 1983; Поляков, 1984; Скворцова, Санжарова, 2007). Отмечено, что в литературе пока нет данных о морфометрических параметрах почвенных агрегатов, транспортируемых модельными водными потоками.

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объекты исследования. Объектами исследования являются пахотные горизонты черноземов типичных среднесуглинистых несмытого, слабо- и среднесмытого (Классификация и диагностика почв СССР, 1977) – Haplic Chernozem (Loamic, Aric) (World Reference Base..., 2014). Отбор образцов производился в 2017 и 2018 гг. из разрезов двух почвенно-геоморфологических профилей на территории Опытного хозяйства ВНИИЗиЗПЭ на склоне южной экспозиции. Крутизна склона варьирует от 0,5 до 5,1°. Глубина вскипания почвы от соляной кислоты уменьшалась с увеличением степени смытости: от 90 см до 29 см для несмытого и среднесмытого черноземов соответственно. В качестве контрольного варианта был выбран чернозем типичный участка «Косимая степь» Центрально-Черноземного природного биосферного заповедника имени профессора В.В. Алехина (далее – ЦЧЗ). Образцы предоставлены О.Б. Роговой и Е.Ю. Милановским.

Методы исследования. **Определение степени смытости** и выделение границ чернозема типичного различной степени смытости проводилось путем заложения и описания почвенных разрезов и прикопок в различных элементах рельефа согласно Классификации и диагностике почв СССР (1977).

Определение водопрочности макроструктуры почвы и расчет коэффициента структурности (K) проводились в трехкратной повторности по методу Н.И. Саввинова (Вадюнина, Корчагина, 1986). Критерий водопрочности (A) агрегатов рассчитывался по методике Агрофизического института (Вадюнина, Корчагина, 1986). Для определения этих показателей использовали насыпные образцы верхнего 10-сантиметрового слоя пахотных горизонтов исследуемых почв.

Определение содержания гумуса в почвах первого профиля проводилось в трехкратной повторности по методу Никитина с колориметрическим окончанием по Орлову-Гриндель (Практикум по

агрохимии, 2001). Определение содержания гумуса в почвах второго профиля проводилось в трехкратной повторности в Испытательном лабораторном центре Почвенного института им. В.В. Докучаева по методу Тюриня в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91 Почвы..., 1992). Для определения содержания гумуса использовали насыпные образцы пахотных горизонтов исследуемых почв, отобранные послойно через каждые 10 см до глубины 30 см.

Эксперименты по моделированию ручейковых потоков проводились на большом эрозионном лотке (БЭЛ) с использованием насыпных образцов верхнего 10-сантиметрового слоя пахотных горизонтов исследуемых почв. Диапазоны скоростей потока: 0,31–0,58 м/с (чернозем участка косимой степи, ЦЧЗ); 0,26–0,64 м/с (несмытый чернозем); 0,26–0,65 м/с (слабо- и среднесмытый чернозем). Для каждого эксперимента подготавливали две навески почвы массой 1 кг, одну из которых в течение суток насыщали водой для достижения капиллярного увлажнения. В шероховатое русло потока (высота выступов шероховатости 0,35 мм) с разной скоростью подавалась вода, воздушно-сухие образцы подавали в русло потока при помощи дозатора и транспортера, капиллярно-увлажненные образцы смывали в поток со специального лоточка струей воды небольшого расхода. Как только весь образец поступал в поток, подачу воды в русло прекращали, продолжительность эксперимента фиксировали с помощью секундомера. Выносимые потоком агрегаты поступали в набор сит, установленных в баке на выходе из искусственного русла потока. Далее делали мокрое просеивание, фракции влекомых агрегатов высушивали до воздушно-сухого состояния и рассчитывали их средневзвешенный диаметр. Также рассчитывали мутность потока экспериментальную $\beta_{эсп}$ (кг/м³).

Верификация уравнения транспортирующей способности потока (Гендугов с соавт., 2007). В настоящее время эта модель является одной из немногих эрозионных моделей, параметры которых легко воспроизводимы в лабораторных условиях и поддаются измерению и вычислению для такого сложного объекта, как почва. Обозначив критическую скорость потока как V_k , а среднюю скорость потока как V и проведя математическое преобразование, получили формулу транспортирующей способности:

$$\beta = \frac{C}{(gH)^{1/\gamma}} (V^2 - V_k^2)^{1/\gamma},$$

где β – транспортирующая способность потока, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; H – глубина потока, м; V – средняя скорость потока, м/с; V_k – критическая скорость потока, м/с; C – эмпирический коэффициент, кг/м³; $1/\gamma$ – эмпирический показатель степени.

Для верификации уравнения транспортирующей способности строили графики зависимости $\ln \beta_{\text{эксн}}$ от $\ln((V^2 - V_k^2)/gH)$. Графики линейно аппроксимировали и по уравнению линейного тренда вида $y = kx + b$ для каждого графика находили эмпирический коэффициент C как антилогарифм свободного члена в уравнении линии тренда и эмпирический показатель степени $1/\gamma$ как показатель тангенса угла наклона линии тренда. Далее рассчитывали транспортирующую способность потока и определяли относительную ошибку расчета транспортирующей способности в сравнении с экспериментально определенной мутностью потока.

Микроморфологические и микроморфометрические исследования проводились со шлифами, изготовленными в Почвенном институте им. В.В. Докучаева. Съёмка шлифов проводилась на оптическом поляризационном микроскопе Olympus BX51 с цифровой фотокамерой Olympus DP26 (Olympus, Германия, приборы Центра коллективного пользования научным оборудованием «Функции и свойства почв и почвенного покрова» Почвенного института имени В.В. Докучаева). Описание почвенных шлифов из монолитов (размер 35x50 мм) проводилось по общепринятым методам (Парфенова, Ярилова, 1977; Stoops, 2003).

В микроморфометрических исследованиях сравнивали параметры агрегатов исследуемых почв до и после эрозионных экспериментов на БЭЛ. Для этого изготавливались почвенные шлифы из насыпных образцов агрегатов: а) фракций, которым соответствовал средневзвешенный диаметр агрегатов, переносимых модельным потоком минимальной, средней и максимальной из диапазона скоростей, устанавливаемых на БЭЛ (исходно капиллярно-увлажненные образцы); б) не участвовавших в экспериментах на БЭЛ агрегатов тех же размеров, что и фракции, отобранные после экспериментов на БЭЛ. Затем проводили съёмку шлифов, снимки бинаризовали полуавтоматическим методом с использованием ПО Adobe Photoshop CS5 при помощи инструмента Magnetic Lasso. Для получения морфометрических показателей агрегатов бинарные снимки обрабатывали в программе CTan (Bruker, Великобритания) с помощью функции 2d-анализа изображений.

В программе CTan рассчитывали следующие показатели:

$$FF = \frac{4 \times \pi \times A}{P_m^2},$$

где FF – фактор формы (характеризует степень отличия формы агрегата от окружности), A – площадь объекта, мм^2 , P_m – периметр объекта, мм ;

$$Rdn = \frac{4A}{\pi \times (d_{\text{max}})^2},$$

где Rdn – степень изометричности формы агрегата, A – площадь объекта, мм^2 , d_{max} – максимальный диаметр объекта, мм .

Коэффициент изрезанности поверхности агрегатов U (показывает неровность границы агрегатов) рассчитывали отдельно по формуле:

$$U = L / (\pi \times D^*),$$

где L – длина линии, ограничивающей объект, мм ; D^* – диаметр круга с площадью, эквивалентной площади объекта, мм (Amada et al., 2002).

Достоверность аппроксимации данных при верификации уравнения транспортирующей способности оценивали в программе Statistica 12 по коэффициенту корреляции Пирсона (для чернозема косимой степи – по критерию корреляции Спирмена ввиду малой выборки данных). Влияние факторов исходной степени смытости почвы и скорости модельного потока на изменение параметров агрегатов оценивали с помощью многофакторного дисперсионного анализа в программной среде RStudio. Коррекцию уровней значимости выполняли методом Y. Benjamini и D. Yekutieli (2001).

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

3.1. Анализ микростроения пахотных горизонтов эродированных черноземов типичных Курской области. Несмотря на присутствие в микроструктуре угловато- и округло-блоковых агрегатов, наблюдается существенная выраженность комковатой и зернистой структур (рисунок 1 А–В), что характерно для гумусового горизонта чернозема (Поляков, Ярилова, 1978; Герасимова с соавт., 1992). Поровое пространство хорошо развито во всех разновидностях изучаемого чернозема, преобладают поры-каналы и межагрегатные поры (Поляков, 1980). В верхних частях пахотных горизонтов несмытого и среднесмытого черноземов отмечено сильное спливание агрегатов, формирование крупных глыбистых отдельностей с широкими порами-трещинами между ними (рисунок 1 А, В). Вероятная причина – ежегодная вспашка, вызывающая деградацию почвенной структуры (Санжарова с соавт., 1988). В нижней части пахотного горизонта среднесмытого чернозема спливание мелких комковато-зернистых агрегатов в крупные угловато-блоковые объясняется припахиванием материала переходного горизонта АВ (Дубовик, 2017).

Гумусовое вещество представлено темными (до черного) гумусовыми сгустками (гумонами), как рассеянными (точечный гумус), так и соединенными мостиками (рисунок 1 Г–Е), в несмытом черноземе также представлен гумус в форме хлопьев. Отмечена закономерность: с увеличением степени смытости уменьшается содержание гумуса, размер гумонов и доля сгустков, связанных

мостиками, нарастает относительная доля рассеянных гумонов, что свидетельствует о деградации (диспергации) гумусовых сгустков. Это согласуется с данными других авторов (Дубовик, Дубовик, 2019). С увеличением степени смывости в составе органического вещества возрастает доля растительных остатков средней степени разложённости, что говорит об уменьшающейся интенсивности гумификации и преобладании более грубого гумуса (Герасимова с соавт., 1992). В несмытом черноземе растительные остатки встречаются единично.

В пахотном горизонте несмытого чернозема встречаются единичные ассимилированные агрегаты из глинистого материала горизонта АВ, имеющего раздельно-чешуйчатую оптическую ориентацию (рисунок 2 А, Г). В слабосмытом черноземе тонкодисперсная масса единичных ассимилированных агрегатов из нижележащего горизонта уже имеет признаки кристаллитовой ориентации, присущей карбонатам кальция в криптокристаллической форме (рисунок 2 Б, Д). В пахотном горизонте среднесмытого чернозема ассимилированные агрегаты тоже имеют признаки кристаллитовой оптической ориентации тонкодисперсной массы и встречаются чаще (около 10 штук на шлиф) (рисунок 2 В). Помимо этого, в слабосмытом (единично) и среднесмытом черноземах (более 10 штук на шлиф) отмечены зерна кальцита в основной почвенной массе, оставшиеся после ассимиляции агрегатов из горизонта АВ (рисунок 2 Е).

3.2. Агрегатный состав и водоустойчивость исследуемых почв и связь этих показателей с содержанием гумуса. Значения средневзвешенного диаметра $\bar{d}$ агрегатов по данным сухого просеивания поверхностных 10-сантиметровых слоев пахотных горизонтов черноземов типичных оказались больше, чем $\bar{d}$ агрегатов поверхностного 10-сантиметрового слоя чернозема косимой степи. На $\bar{d}$ агрегатов оказала влияние относительная массовая доля глыбистых агрегатов (иногда она доходила до 50 % массы рассеиваемого образца – рисунок 3 А), поэтому структурное состояние почвы следует оценивать по $\bar{d}$ водоустойчивых агрегатов и коэффициенту структурности (K). Для пахотных почв значение K было существенно меньше, чем для почвы косимой степи, отмечена тенденция к его уменьшению с увеличением степени смывости (таблица 1). По данным мокрого просеивания воздушно-сухих образцов $\bar{d}$ водопрочных агрегатов чернозема косимой степи составил 2,3 мм, для пахотных почв его значение составляло 0,3–0,4 мм. Эти значения сопоставимы с результатами, полученными Е.В. Дубовик (2008) на территории этого же опытного хозяйства. При мокром просеивании капиллярно-увлажненных образцов $\bar{d}$ водоустойчивых агрегатов был выше, чем при мокром

просеивании сухих образцов (таблица 1, рисунок 3 В). Это свидетельствует об увеличении водоустойчивости агрегатов при их предварительном увлажнении, что отмечали ранее и другие авторы (Govers et al., 1990; Bradford, Foster, 1996; Defersha, Melesse, 2012).

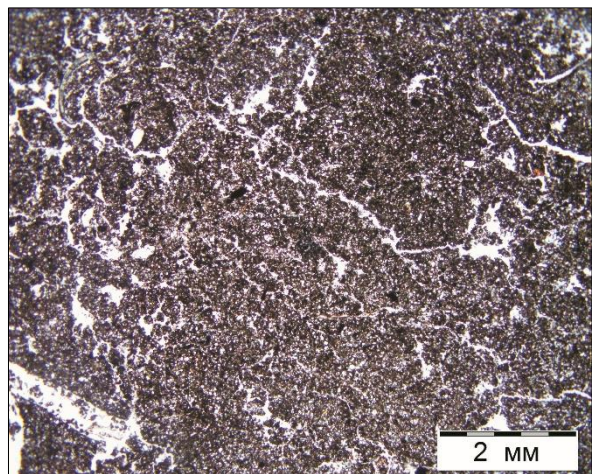
При мокром просеивании как воздушно-сухих, так и капиллярно-увлажненных образцов в агрегатном составе пахотных почв по сравнению с контролем резко повышалась доля мелких агрегатов (2–1, 1–0,5 и 0,5–0,25 мм), а также микроагрегатов ($< 0,25$ мм). На рисунке 3 Б видно, что при мокром просеивании сухих образцов пахотных черноземов практически все агрегаты крупнее 2 мм разрушаются, а в составе водоустойчивых агрегатов преобладают фракции $< 0,25$ и 0,25–0,5 мм. Это является признаком ухудшения структуры антропогенно измененных черноземов (Ахтырцев, Лепилин, 2001).

В то же время критерий водопрочности с увеличением степени смытости повышается (таблица 1). Подобное явление описано для выщелоченных черноземов – критерий водопрочности агрегатов пахотных горизонтов увеличивался с ростом интенсивности их сельскохозяйственного использования (Шульга, 2004). Поскольку в нашем случае интенсивность использования пахотных почв одинакова, можно заключить, что на водоустойчивость агрегатов эродированных черноземов типичных также оказывает влияние припахивание в пахотный горизонт материала нижележащего горизонта, содержащего карбонат кальция.

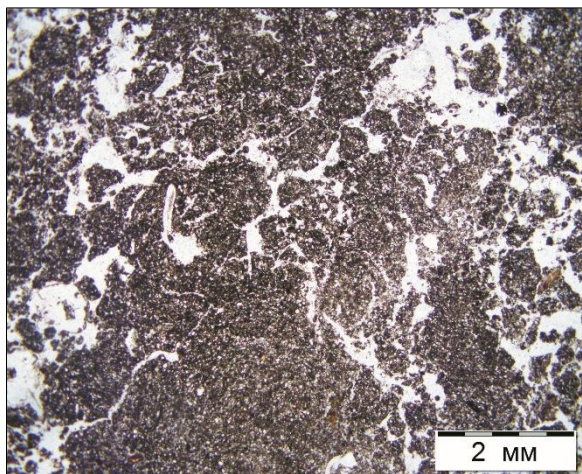
С увеличением степени смытости содержание гумуса в слое почвы 0–30 см уменьшалось с 5,00 % в несмытой до 4,36 % в среднесмытой почве. В контрольном варианте содержание гумуса составило 7,18 %. В связи с повышенным содержанием фракции > 10 мм связь между содержанием гумуса и средневзвешенным диаметром агрегатов не прослеживается.

Отмечено, что чернозем косимой степи характеризуется наибольшим содержанием гумуса, наилучшими агрегатным составом и водопрочностью агрегатов. Черноземы типичные пахотные характеризуются пониженным содержанием гумуса и меньшей водопрочностью по сравнению с контролем. Схожие результаты получены и другими авторами при исследовании целинных и пахотных черноземов типичных Курской области (Мамонтов с соавт., 2016), Тамбовской области (Евдокимова, Тишкина, 1999).

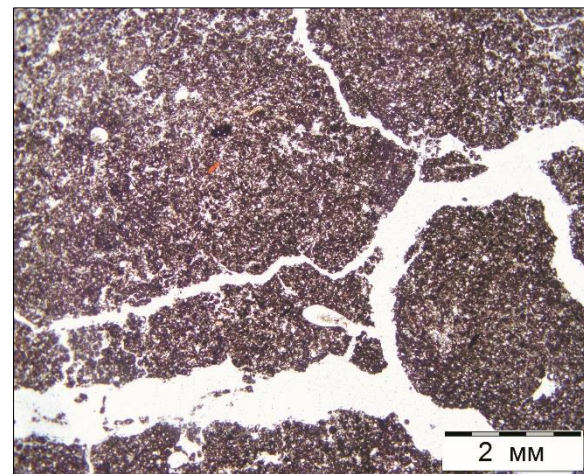
3.3. Изменение диаметра влекомых агрегатов в зависимости от скорости потока. Проведенный анализ изменения диаметра влекомых потоком агрегатов пахотных черноземов типичных, поступающих в русло в воздушно-сухом состоянии, показал, что с увеличением скорости водного потока диаметр транспортируемых агрегатов возрастает очень слабо. В то же время при поступлении в русло почвы в капиллярно-увлажненном состоянии



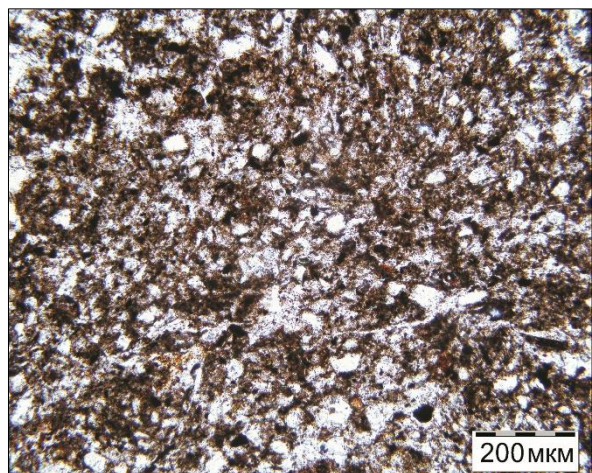
А



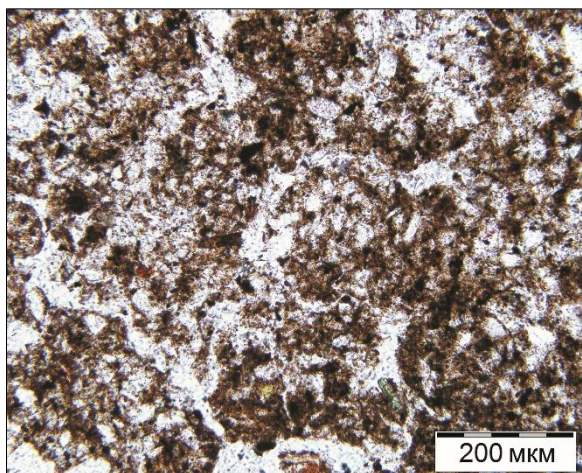
Б



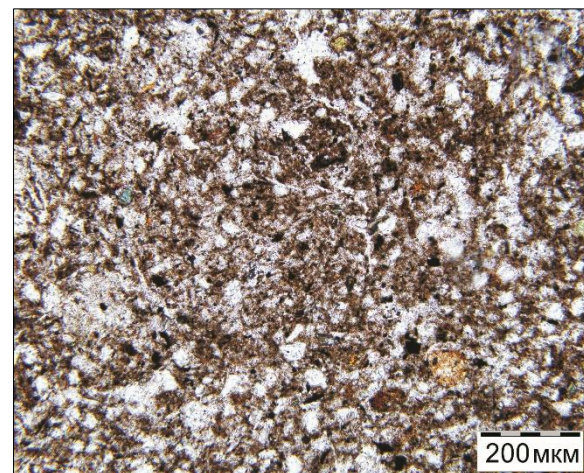
В



Г

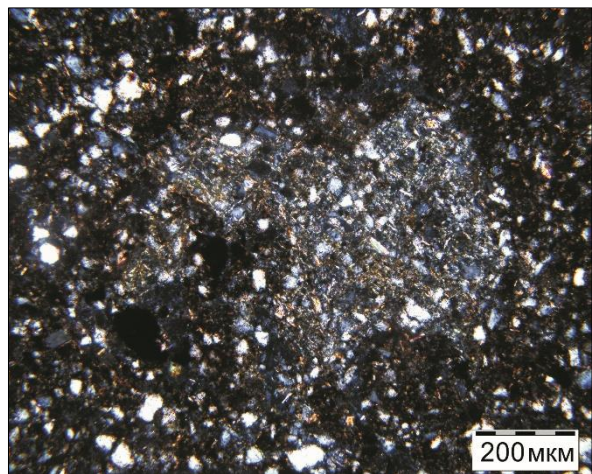


Д

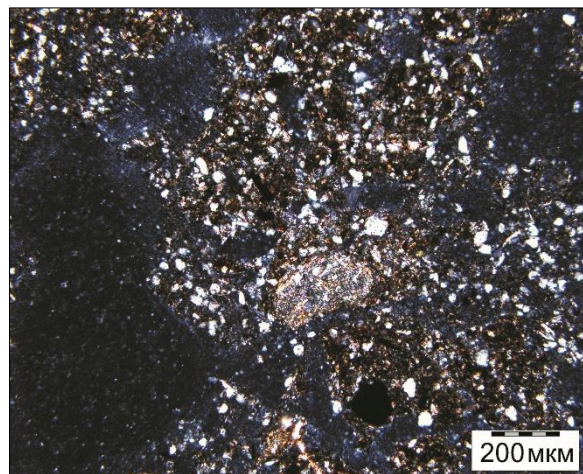


Е

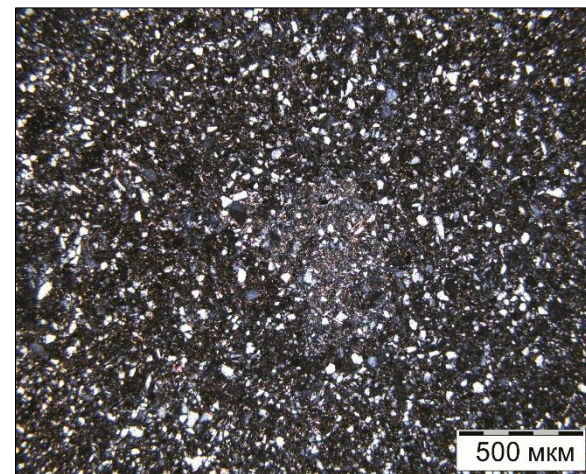
Рисунок 1 – Микростроение пахотных горизонтов черноземов типичных различной степени смытости (Курская область, 2017 год): А, Г – несмытый чернозем, глубина 7–12 см; Б, Д – слабосмытый чернозем, глубина 6–11 см; В, Е – среднесмытый чернозем, глубина 6–11 см. А, Б, В – микроструктура, Г, Д, Е – тонкодисперсное органическое вещество. Снимки выполнены в проходящем свете без анализатора



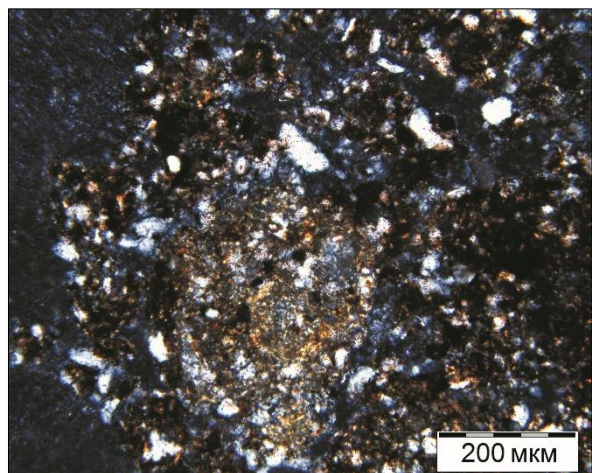
А



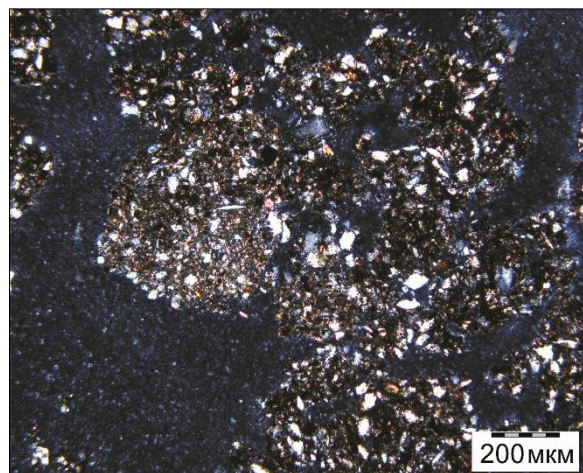
Б



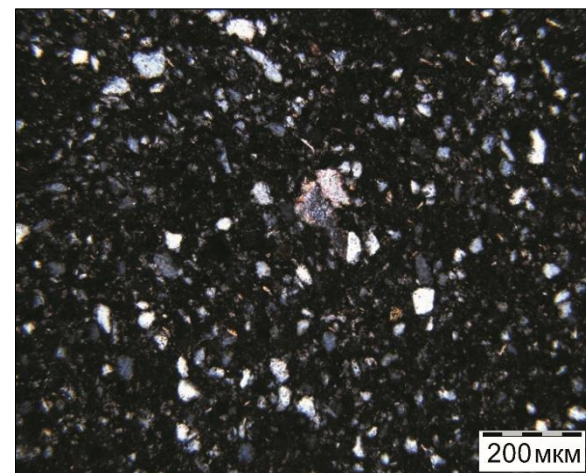
В



Г



Д



Е

Рисунок 2 – Микростроение пахотных горизонтов черноземов типичных разной степени смытости (Курская область, 2017 год). Ассимилированные агрегаты, занесенные из нижележащих горизонтов: А, Г – несмытый чернозем (7–12 и 36–41 см соответственно); Б, Д – слабосмытый чернозем (6–11 и 20–25 см соответственно); В – среднесмытый чернозем (6–11 см). Е – спаритовое зерно с признаками выветривания, среднесмытый чернозем (15–20 см). Снимки выполнены в проходящем свете с анализатором

Таблица 1 – Показатели структуры, водоустойчивости, содержание гумуса в черноземах типичных (Курская область)

Вариант изучаемой почвы	Средневзвешенный диаметр агрегатов $\bar{d}$ в зависимости от вида фракционирования, мм			Коэффициент структурности K , %	Критерий водопрочности A , %	Среднее содержание гумуса в слое 0–30 см, %
	Сухое	Мокрое				
	сухой почвы	сухой почвы	капиллярно-увлажненной почвы			
Чернозем	3,3	2,3	3,0	11,1	1,94	7,18
Несмытый чернозем	4,1	0,3	1,4	2,6	1,50	5,00
Слабосмытый чернозем	3,7	0,4	3,0	2,9	2,40	4,72
Среднесмытый чернозем	4,9	0,4	2,6	1,9	2,63	4,36

Примечание – значения $\bar{d}$ приводятся в мм для удобства их сравнения между собой; чернозем – чернозем типичный участка «Косимая степь» (ЦЧЗ); данные о содержании гумуса в горизонте А чернозема типичного косимой степи предоставлены отделом химии и физико-химии почв Почвенного института им. В.В. Докучаева

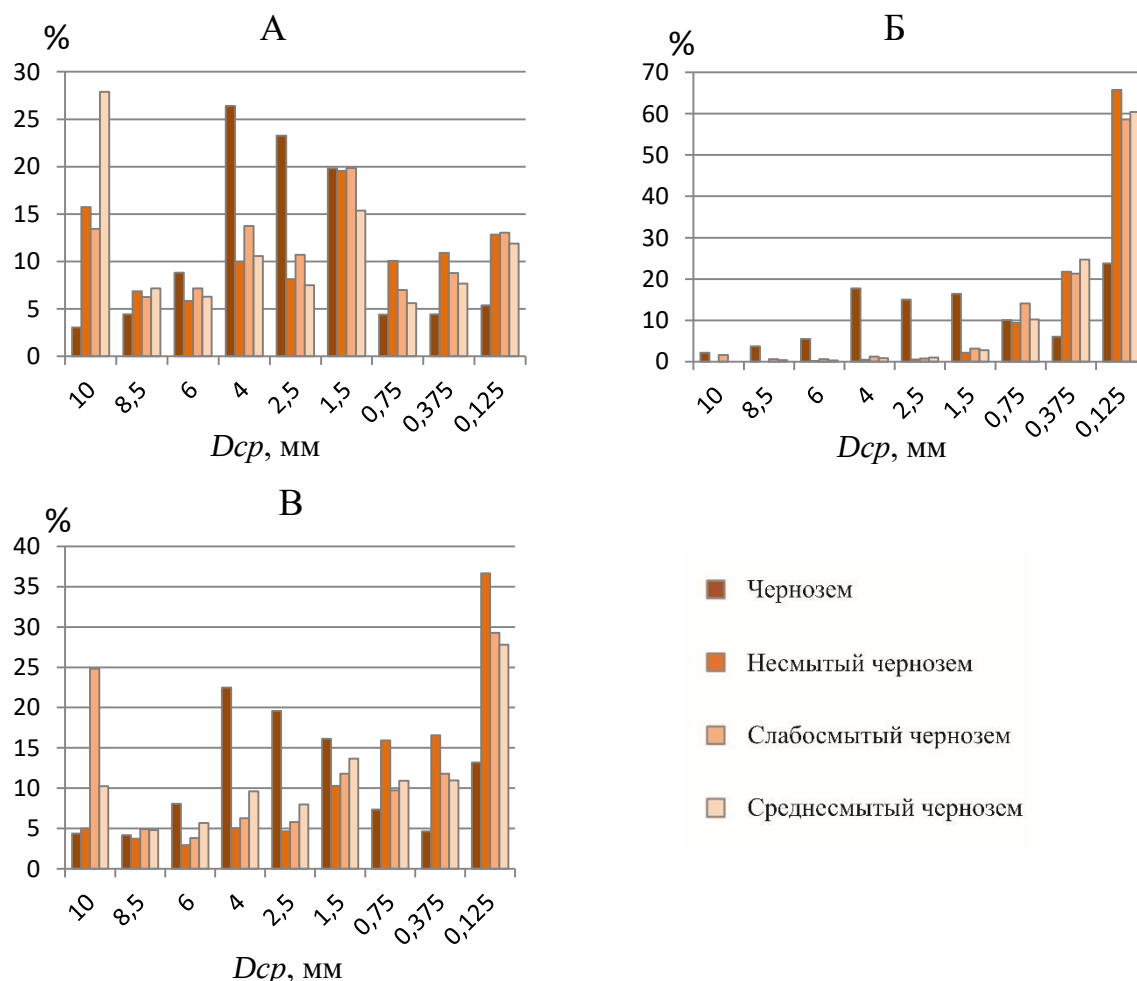


Рисунок 3 – Агрегатный состав черноземов типичных (Курская область): А – сухое просеивание сухой почвы; Б – мокрое просеивание сухой почвы; В – мокрое просеивание капиллярно-увлажненной почвы; % – доля фракции определенного размера в агрегатном составе, D_{cp} – средний диаметр фракции агрегатов. Примечание – чернозем – чернозем участка «Косимая степь», ЦЧЗ

средневзвешенный диаметр влекомых агрегатов заметно увеличивается (в некоторых случаях на порядок) с возрастанием скорости водного потока от минимальной к максимальной (рисунок 4).

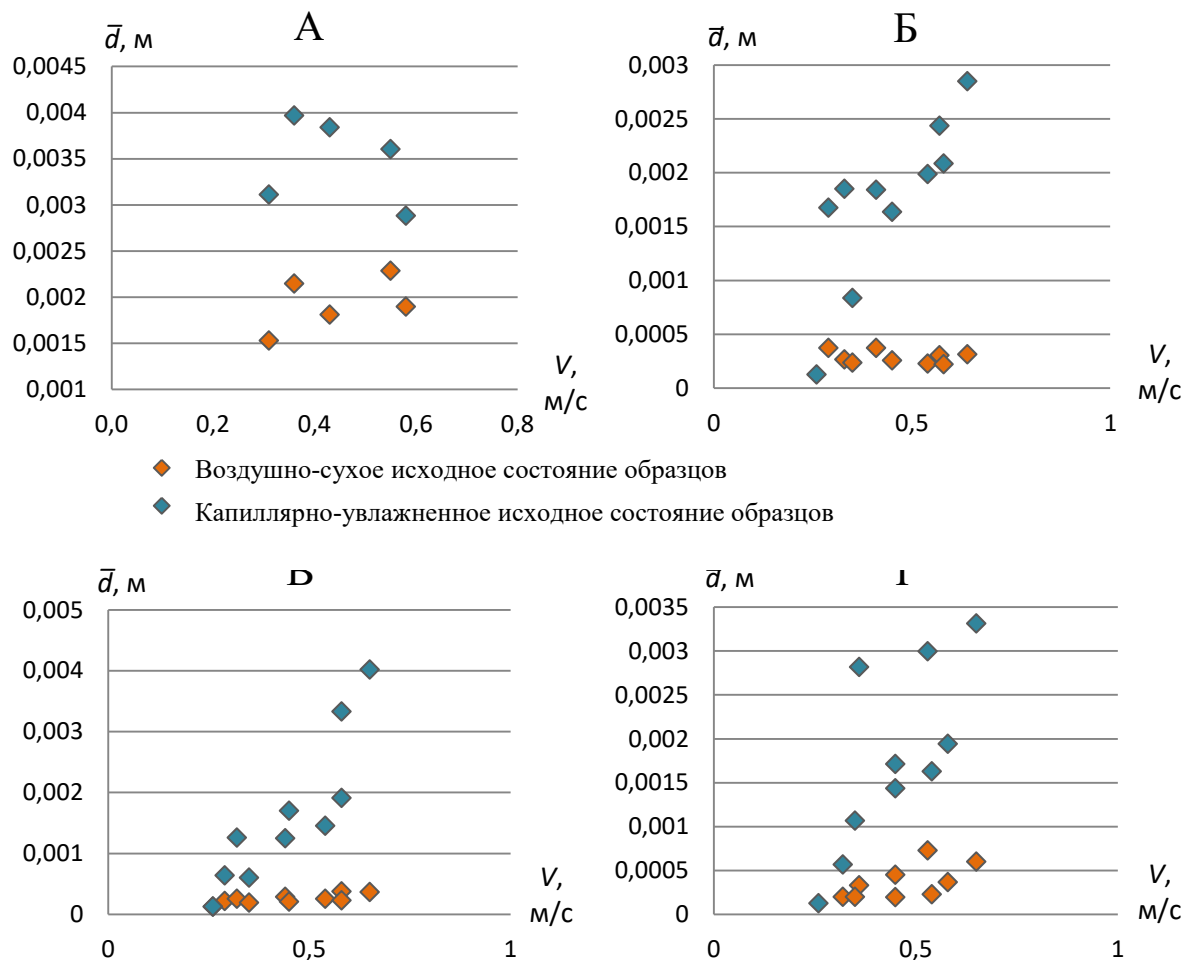


Рисунок 4 – Изменение средневзвешенных диаметров влекомых агрегатов в зависимости от скорости потока малой глубины: А – чернозем участка «Косимая степь», ЦЧЗ; Б, В, Г – пахотные черноземы типичные несмытый, слабо- и среднесмытый соответственно

Такая закономерность объясняется несколькими причинами. При попадании в воду сухой почвы происходит взрывное вытеснение воздуха из агрегатов, что приводит к их разрушению (Шеин, 2005), тогда как предварительное их увлажнение повышает противозерозионную устойчивость почвы (Кузнецов, 1981; Govers et al, 1990; Ларионов с соавт., 2014). В разделе 3.1 приведены результаты исследования агрегатного состава изучаемых черноземов, которые демонстрируют их невысокую водоустойчивость при исходном сухом состоянии и существенное увеличение водоустойчивости при предварительном увлажнении образцов.

3.4. Верификация уравнения транспортирующей способности потоков малой глубины. Коэффициенты линейной регрессии R при аппроксимации зависимостей $\ln \beta_{эксн}$ от $\ln((V^2 - V_k^2)/gH)$ оказались достаточно

высоки для изученных пахотных почв (от 0,74 для слабосмытой воздушно-сухой почвы до 0,92 для среднесмытой капиллярно-увлажненной почвы), что говорит об удовлетворительной достоверности выполненной аппроксимации (таблица 2). При сопоставлении расчетных значений β с экспериментальными данными по мутности потока относительная ошибка для пахотных черноземов типичных оказалась низкой и соответствующей диапазону ошибок, наблюдающихся в подобных исследованиях (Гендугов с соавт., 2007): от 12,8 % для слабосмытого чернозема в воздушно-сухом исходном состоянии до 16,9 % для несмытого чернозема в капиллярно-увлажненном исходном состоянии.

Таблица 2 – Результаты верификации уравнения транспортирующей способности водных потоков малой глубины на примере черноземов типичных (Курская область)

Исходное состояние образцов	R	C	$1/\gamma$	$ P $, %
Чернозем участка «Косимая степь», ЦЧЗ				
Воздушно-сухое	0,87	36,03	-0,52	52,7
Капиллярно-увлажненное	0,50	22,61	-0,03	52,6
Чернозем несмытый				
Воздушно-сухое	0,90	12,53	0,46	13,0
Капиллярно-увлажненное	0,86	12,78	0,46	16,9
Чернозем слабосмытый				
Воздушно-сухое	0,74	13,73	0,25	12,8
Капиллярно-увлажненное	0,84	10,27	0,67	16,2
Чернозем среднесмытый				
Воздушно-сухое	0,81	11,57	0,58	16,2
Капиллярно-увлажненное	0,92	8,20	0,86	14,6

Примечание – R – коэффициент корреляции; C – эмпирический коэффициент; $1/\gamma$ – эмпирический показатель степени; $|P|$ – относительная ошибка по модулю; воздушно-сухое, капиллярно-увлажненное – исходное состояние образцов

Для чернозема косимой степи коэффициенты корреляции R Пирсона были равны 0,50 (для исходно воздушно-сухих образцов) и 0,87 (для исходно капиллярно-увлажненных образцов). Также были рассчитаны непараметрические коэффициенты корреляции R Спирмена, показывающие не только силу, но и направленность связи между $\ln\beta_{эксн}$ и $\ln((V^2 - V_k^2)/gH)$. Для серии экспериментов с воздушно-сухой почвой R Спирмена оказался равен -0,9 и являлся значимым, что показывает тесную отрицательную связь $\ln\beta_{эксн}$ и $\ln((V^2 - V_k^2)/gH)$. В случае с предварительно капиллярно-увлажненной почвой оказалось, что R Спирмена равен -0,7 и является незначимым. То есть можно утверждать, что для чернозема косимой степи верификацию уравнения транспортирующей способности выполнить не удалось.

Таким образом, на примере пахотных черноземов типичных разной степени смытости нами было показано, что для расчета транспортирующей способности потоков малой глубины, действующих на эти почвы, успешно можно применять уравнение транспортирующей способности, разработанное на кафедре эрозии и охраны почв факультета почвоведения МГУ с применением гидравлического подхода (Гендугов с соавт., 2007). В дальнейшем это уравнение может применяться для расчетов в таких широко используемых эрозионных моделях как WEPP (Flanagan et al., 2001) и WaTEM/SEDEM (Van Oost et al., 2000).

3.5. Морфометрические параметры агрегатов черноземов типичных и их изменение в результате воздействия модельных мелководных потоков. Данные многофакторного дисперсионного анализа (таблица 3) показывают, что на изменение фактора формы агрегатов и коэффициента изрезанности их поверхности влияет как степень смытости почвы, так и скорость, при которой образцы размываются потоком, причем один фактор усиливает влияние другого. На изометричность же агрегатов воздействует только степень смытости почвы, а при добавлении фактора скорости ее влияние усиливается. Статистически значимого воздействия скорости потока на степень изометричности агрегатов без учета фактора степени смытости исходной почвы не обнаружено.

Таблица 3 – Результаты многофакторного дисперсионного анализа значений фактора формы (FF), степени изометричности (Rdn) и коэффициента изрезанности поверхности (U) агрегатов черноземов типичных Курской области

	SS	Степени свободы	MS	F	p
<i>FF</i>					
Смытость	0,1242	3	0,0414	4,05	0,007254
Скорость	0,1127	3	0,0376	3,68	0,012091
Смытость×скорость	0,6066	9	0,0674	6,60	0,000000
<i>Rdn</i>					
Смытость	0,1602	3	0,0534	4,97	0,002079
Скорость	0,0585	3	0,0195	1,81	0,143400
Смытость×скорость	0,4663	9	0,0518	4,82	0,000003
<i>U</i>					
Смытость	0,3122	3	0,1041	4,23	0,005685
Скорость	0,2268	3	0,0756	3,07	0,027281
Смытость×скорость	1,3352	9	0,1484	6,03	0,000000

Примечание – SS – сумма квадратов; MS – средний квадрат; F – F-критерий; p – уровень значимости. Красным цветом отмечены строки, для которых $p < \alpha$

На рисунке 5 А видно, что чернозем косимой степи и среднесмытый пахотный чернозем имеют одинаковый вид кривых изменений фактора формы

агрегатов, вызванных воздействием мелководного потока. В то же время несмытый и слабосмытый пахотные черноземы демонстрируют другой характер изменений. При воздействии потока с минимальной скоростью на образцы чернозема косимой степи и среднесмытого пахотного чернозема влекомые агрегаты более изометричны, чем до воздействия потока. Однако при увеличении скорости потока до значений $\approx 0,4$ м/с изометричность агрегатов существенно уменьшается по сравнению с изометричностью при минимальной скорости, а затем при дальнейшем увеличении скорости вновь возрастает до близких к исходным (до размыва на БЭЛ) значений FF .

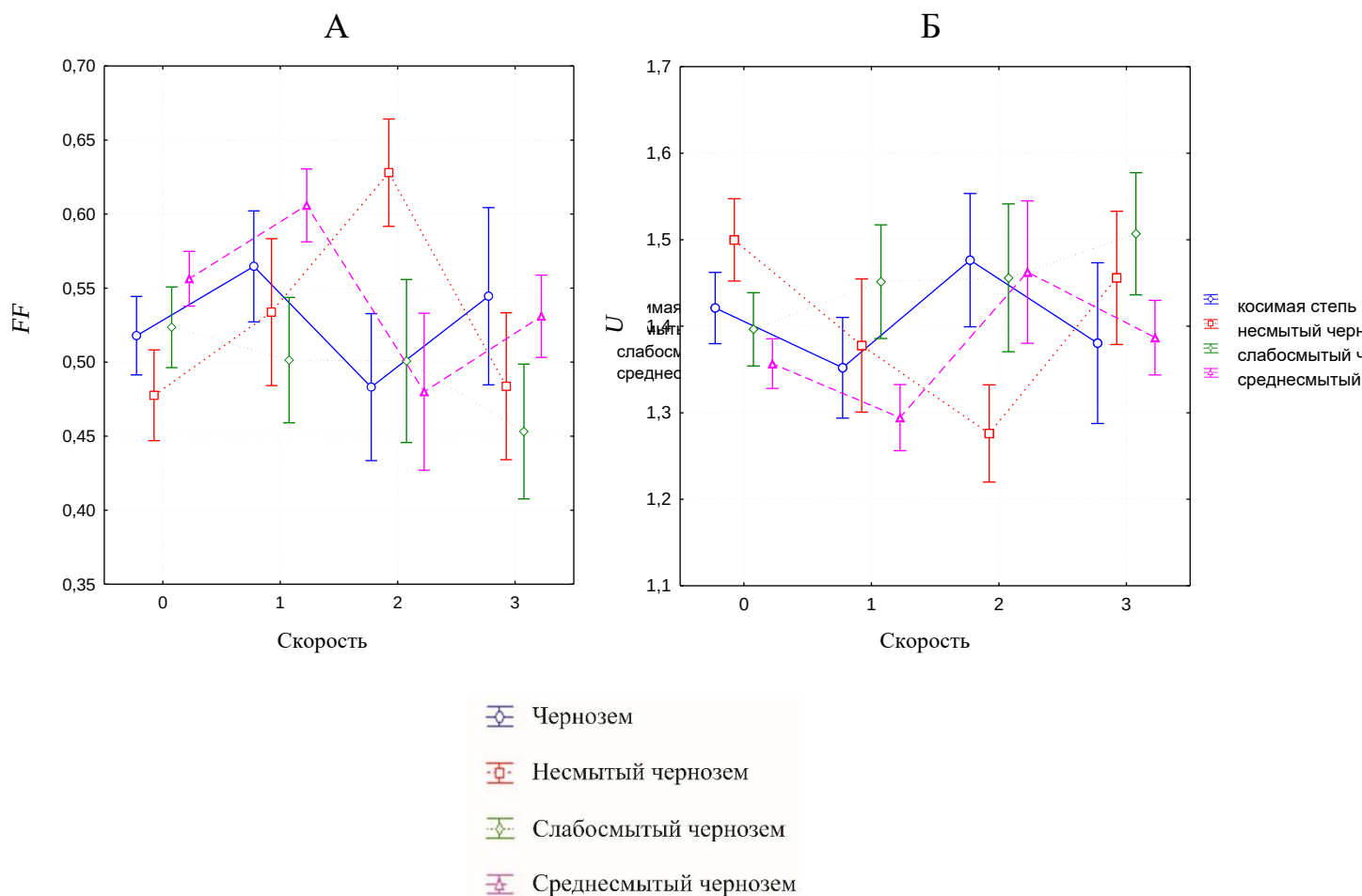


Рисунок 5 – Изменение средних значений: А – фактора формы (FF); Б – коэффициента изрезанности поверхности (U) агрегатов черноземов типичных (Курская область) с увеличением скорости модельного мелководного потока. Обозначения скорости: 0 – контроль до размыва (нет скорости), 1 – минимальная, 2 – средняя, 3 – максимальная. Вертикальные столбцы равны 0,95 доверительных интервалов. Примечание – чернозем – чернозем участка «Косимая степь», ЦЧЗ

Закономерности изменения коэффициента изрезанности поверхности агрегатов изученных почв в зависимости от скорости мелководного потока (рисунок 5 Б) обратны описанным выше закономерностям изменения фактора формы (рисунок 5 А). При воздействии потока с минимальной скоростью на образцы чернозема косимой степи и среднесмытого пахотного чернозема

влекомые агрегаты оказываются менее изрезанными, чем агрегаты такого же диаметра до размыва. Однако при увеличении скорости потока до значений $\approx 0,4$ м/с изрезанность агрегатов существенно возрастает, а затем при дальнейшем увеличении скорости вновь падает до значений, близких к исходным, до размыва.

На изометричность агрегатов по данным дисперсионного анализа большее влияние оказывает смывость почвы, поэтому график построен в координатах Rdn – Смывость (рисунок 6). Можно отметить, что при минимальной и максимальной скоростях потока влияние смывости имеет одинаковые закономерности, при отсутствии размыва на БЭЛ влияние степени смывости выражено слабее, но имеет очертания, схожие с графиками изменения Rdn при минимальной и максимальной скоростях. При размыве на БЭЛ с минимальной и максимальной скоростями модельных потоков изометричность почвенных агрегатов уменьшается при переходе от чернозема косимой степи к слабосмытому пахотному чернозему, а затем вновь увеличивается при переходе к среднесмытому чернозему.

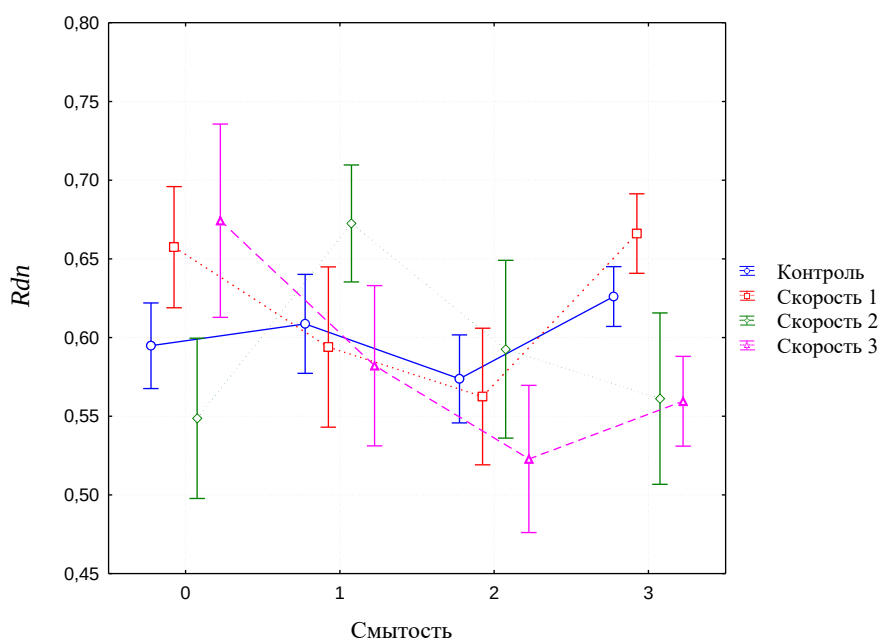


Рисунок 6 – Изменение средних значений степени изометричности (Rdn) агрегатов черноземов типичных (Курская область) с увеличением степени смывости исходной почвы. Обозначения смывости: 0 – чернозем участка «Косимая степь», ЦЧЗ; 1, 2, 3 – несмытый, слабосмытый, среднесмытый пахотные черноземы соответственно. Обозначения скорости: контроль – до размыва (нет скорости), скорость 1 – минимальная, скорость 2 – средняя, скорость 3 – максимальная. Вертикальные столбцы равны 0,95 доверительных интервалов

Таким образом, несмотря на то, что по данным дисперсионного анализа и исходная степень смывости почвы, и скорость размыва ее мелководным потоком оказывают значимое влияние на изменение морфометрических параметров агрегатов, в действительности характер влияния изученных

факторов гораздо сложнее. В изученном диапазоне скоростей потока (0,3–0,58 м/с) влияние мелководных потоков на морфометрию агрегатов проявляется слабее, чем влияние степени исходной смытости исходной почвы. Это выражается в том, что именно в зависимости от степени смытости почвы по-разному проявляется влияние скорости мелководного потока на морфометрические параметры почвенных агрегатов. Также стоит отметить, что р-уровень значимости различий по фактору скорости существенно выше, чем по фактору смытости для фактора формы агрегатов и коэффициента изрезанности поверхности, а в случае степени изометричности по фактору скорости вообще не обнаружено значимых различий.

ВЫВОДЫ

1. Агрегатный состав как показатель качества структуры пахотных черноземов типичных различной степени смытости следует оценивать по средневзвешенному диаметру водопрочных агрегатов и коэффициенту структурности. В ряду изученных почв от несмытых до среднесмытых черноземов типичных степень смытости по-разному проявляется в свойствах пахотных горизонтов: а) наиболее низким содержанием гумуса характеризуется среднесмытый чернозем; б) все изученные почвы, подверженные регулярной вспашке, независимо от степени смытости, имеют низкую водоустойчивость агрегатов и среднее значение коэффициента структурности.

2. В результате сельскохозяйственного освоения и водной эрозии заметно ухудшение микроструктуры черноземов типичных, проявляющееся в укрупнении структурных отдельностей почвы, увеличении доли пор-трещин. Также с увеличением степени смытости на микроуровне происходит уменьшение содержания и сокращение разнообразия форм гумуса в тонкодисперсной массе пахотных горизонтов. За счет припахивания переходного горизонта АВ в пахотных горизонтах увеличивается содержание почвенных фрагментов, обогащенных карбонатом кальция.

3. С увеличением скорости водного потока средневзвешенный диаметр транспортируемых агрегатов пахотных черноземов типичных при исходном воздушно-сухом состоянии возрастает очень слабо. При поступлении в русло исходно капиллярно-увлажненной почвы средневзвешенный диаметр влекомых агрегатов заметно увеличивается с возрастанием скорости водного потока. Эти явления связаны с повышением водоустойчивости агрегатов при предварительном увлажнении.

4. Проведена верификация уравнения транспортирующей способности водных потоков малой глубины применительно к чернозему типичному разной степени смытости. Сопоставление полученных экспериментально и

рассчитанных по уравнению значений мутности показало удовлетворительное соответствие – средняя относительная ошибка расчета не превышает 17 %.

5. Фактор формы, степень изометричности, коэффициент шероховатости поверхности агрегатов черноземов типичных разной степени смытости зависят от размеров агрегатов: чем меньше агрегаты, тем более они округлы, изометричны и менее изрезанны, и наоборот. Влияние на морфометрические показатели агрегатов черноземов типичных разной степени смытости оказывает как степень смытости исходной почвы, так и скорость размывающих мелководных потоков. При этом в изученном диапазоне скоростей потока (0,3–0,58 м/с) влияние степени смытости исходной почвы проявляется сильнее, чем влияние мелководных потоков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На примере эродированных черноземов типичных Курской области с применением физического и химического методов было выявлено влияние транспортирующей способности склоновых мелководных потоков разной скорости и степени смытости черноземов на следующие свойства их пахотных горизонтов: коэффициент структурности, водопрочность агрегатов, гумусное состояние, средневзвешенный диаметр агрегатов, влекомых потоками.

Использование микроморфологического метода позволило более подробно изучить качественные признаки ухудшения структуры и гумусного состояния пахотных горизонтов черноземов типичных в результате воздействия эрозионных процессов. При изучении шлифов из монолитов пахотных горизонтов черноземов типичных Курской области было выявлено, что с увеличением степени смытости в пахотных горизонтах возрастает доля ассимилированных окаربонатенных агрегатов за счет припахивания нижней части горизонта, переходного к карбонатно-аккумулятивному. Это явление обуславливает повышение водоустойчивости структуры изученных черноземов с увеличением степени смытости.

Успешная верификация уравнения транспортирующей способности водных потоков малой глубины показала перспективы дальнейшего изучения транспортирующей способности мелководных потоков в приложении к другим типам почв, вовлеченным в сельскохозяйственный оборот. Дальнейшие разработки в этой области позволят применять параметр транспортирующей способности при комплексном моделировании эрозионных процессов.

Морфометрическое изучение почвенных агрегатов является перспективным направлением изучения антропогенной трансформации почвы. Применение микроморфометрического метода позволило выявить влияние исходной степени смытости черноземов типичных и воздействия мелководных

склоновых потоков в лабораторном эксперименте на морфометрические параметры агрегатов пахотных горизонтов.

Научные статьи, опубликованные в журналах из списков Scopus, WoS, RSCI, а также в изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 03.02.13 – Почвоведение

1. Лебедева М.П., Куст П.Г., Лебедев М.А., **Плотникова О.О.**, Романис Т.В. Микростроение основных типов почв Европейской территории России / Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2018620714. – Заявл. 07.12.2017, опублик. 17.05.2018. – 1 с.

2. **Плотникова О.О.**, Демидов В.В., Лебедева М.П. Действие мелководных потоков на поверхностные горизонты чернозема типичного различной степени смывости // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. – 2018. – № 91. – С. 85–109. – DOI: 10.19047/0136-1694-2018-91-85-109 – IF РИНЦ 2018 = 0,811

3. **Plotnikova O.O.**, Lebedeva M.P., Demidov V.V., Karpova D.V. Comparison of micromorphometric characteristics of aggregates from noneroded and moderately eroded typical chernozem in a laboratory experiment // Eurasian Soil Science. – 2019. – V. 52. – № 10. – P. 1258–1265. – DOI: 10.1134/S1064229319100090 – IF SJR 2019 = 0,53

4. **Плотникова О.О.**, Демидов В.В. Прогнозирование величин транспорта чернозема типичного водными потоками малой глубины // Проблемы агрохимии и экологии. – 2020. – № 1. – С. 55–61. – DOI: 10.26178/AE.2020.2019.4.012 – IF РИНЦ 2018 = 0,303

5. **Плотникова О.О.**, Романис Т.В., Куст П.Г. Сравнение методов цифрового анализа изображений для морфометрической характеристики почвенных агрегатов в шлифах // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. – 2020. – № 104. – С. 199–222. – DOI: 10.19047/0136-1694-2020-104-199-222 – IF РИНЦ 2018 = 0,811

Иные публикации

6. Демидов В.В., **Плотникова О.О.** Роль мелководных потоков в эрозионном транспорте почвенного материала // Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности страны: тезисы докладов VII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Всероссийской с международным участием научной конференции. – Часть II. – Т. 2 из Часть II. – 2016. – Белгород: Издательский дом Белгород. – С. 421–422.

7. **Плотникова О.О.** Закономерности процессов переноса и отложения почвенного материала потоками малой глубины (на примере чернозема типичного Курской области) // Коллективная монография Системы

интенсификации земледелия как основа инновационной модернизации аграрного производства. – 2016. – Суздаль: ФГБНУ ВНИИСХ. – С. 190–194.

8. **Плотникова О.О.,** Демидов В.В., Лебедева М.П. Действие мелководных потоков на поверхностные горизонты чернозема типичного различной степени смытости // Черноземы Центральной России: генезис, эволюция и проблемы рационального использования: сборник материалов научной конференции, посвященной 80-летию кафедры почвоведения и управления земельными ресурсами в 100-летней истории ВГУ. – 2017. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр Научная книга. – С. 528–531.

9. **Плотникова О.О.** Характеристика некоторых свойств поверхностных горизонтов чернозема типичного различной степени смытости после воздействия на них водных потоков малой глубины // Материалы международной научной конференции XX Докучаевские молодежные чтения Почва и устойчивое развитие государства. – 2017. – Санкт-Петербург. – С. 263–264.

10. **Плотникова О.О.,** Демидов В.В., Лебедева М.П. Влияние транспорта почвенного материала мелководными потоками на микроморфологические свойства поверхностных горизонтов чернозема типичного // Сборник трудов Международной молодежной научной конференции Проблемы деградации и охраны почв. – РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева Москва, 2017. – С. 107–109.

11. Демидов В.В., **Плотникова О.О.,** Лебедева М.П. Моделирование процессов переноса и отложения почвенного материала водными потоками малой глубины // Маккавеевские чтения-2018. Сборник материалов. – 2018. – М.: Географический факультет МГУ Москва, МГУ. – С. 24–36.

12. Демидов В.В., **Плотникова О.О.** Моделирование транспортирующей способности потоков малой глубины (на примере чернозема типичного разной степени смытости) // Сборник докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию со дня основания ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии Инновационно-технологические основы развития адаптивно-ландшафтного земледелия, Курск, 9-11 сентября, 2020. – 2020. – Курск: ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр». – С. 43–47.

13. Демидов В.В., **Плотникова О.О.** Влияние мелководных потоков на изменение агрегатного состава эродированного чернозема типичного // Деградация земель и опустынивание: проблемы устойчивого природопользования и адаптации: Материалы Международной научно-практической конференции. Москва, ИГ РАН, ноябрь 2020 – март 2021. – Москва: МАКС Пресс. 2020. – С. 198–203.