

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи



БОЛДЫРЕВА ВЕРОНИКА ЭДУАРДОВНА

**ПРИНЦИПЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ
ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ЧЕРНОЗЕМОВ ПО
МАТЕРИАЛАМ ПОЧВЕННЫХ ДАТА-ЦЕНТРОВ РОСТОВСКОЙ
ОБЛАСТИ**

1.5.19. Почвоведение (биологические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Ростов-на-Дону – 2024

Работа выполнена на кафедре почвоведения и оценки земельных ресурсов
Академии биологии и биотехнологии имени Д.И. Ивановского
Южного федерального университета

Научный руководитель: **Безуглова Ольга Степановна,**
доктор биологических наук, профессор,
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Южный федеральный университет», Академия
биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского,
кафедра почвоведения и оценки земельных
ресурсов, профессор

Официальные оппоненты: **Савин Игорь Юрьевич,**
доктор сельскохозяйственных наук, федеральное
государственное бюджетное научное учреждение
ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева»
отдел генезиса, географии, классификации и
цифровой картографии почв, заведующий, главный
научный сотрудник

Биарсланов Ахмед Бийсолтанович,
кандидат биологических наук, федеральное
государственное бюджетное учреждение науки
«Дагестанский федеральный исследовательский
центр РАН», заместитель директора

Защита диссертации состоится 23 мая 2024 года в 15:00 на заседании диссертационного совета ЮФУ801.01.01 по биологическим наукам на базе Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского Южного федерального университета по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки 194/1, к. 712.

С диссертацией можно ознакомиться в Зональной научной библиотеке им. Ю.А. Жданова Южного федерального университета по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Р. Зорге, 21Ж и на сайте Южного федерального университета <https://hub.sfedu.ru/diss/show/1325197/>

Автореферат разослан «__» _____ 2024 г.

Отзыв на автореферат в 2-х экз. (с указанием даты, полностью ФИО, учёной степени со специальностью, звания, организации, подразделения, должности, адреса, телефона, e-mail), заверенный печатью организации, просим направлять по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 194/1, к. 804, ученому секретарю диссертационного совета ЮФУ801.01.01 Тимошенко А.Н., а также в формате pdf на e-mail: atimoshenko@sfedu.ru.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Тимошенко Алёна Николаевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Базы данных (БД) состава и свойств почв используются в работе организаций разного направления в ряде регионов Российской Федерации, начиная от уровня хозяйств и административных районов, до создания Почвенно-географической базы данных (ПГБД) России и единой БД международного сообщества (Шоба и др. 2011; Рожков, 2014; Голозубов и др., 2015; Столбовой, Молчанов, 2015; Куликова, Куликов, 2018; Литвинов, 2018). Их информация применяется для решения задач агрохимического, агроэкологического мониторинга, мелиоративного почвоведения, для исследования антропогенного влияния и ведения реестра имеющихся сведений о различных почвенных свойствах, в том числе данных по гранулометрическому составу. БД помогают структурировать большие объемы разнородной информации – от классификационно-значимых свойств и признаков, до агрохимических картограмм, карт агропроизводственных групп, идентификации эрозионно-опасных земель. Отсюда вытекает актуальность и важность принципов составления, пополнения, структурирования и интерпретации БД, в том числе, и может даже прежде всего, в отношении такого сложного и интегрального показателя почв, как их гранулометрический состав.

Устойчивость гранулометрического состава, как «скелета почвы», его интегральный (матричный) характер обуславливают важную роль этого показателя в мониторинговых исследованиях, при решении многих инженерных задач: мелиоративных, инженерно-геологических и инженерно-экологических. Наличие большого массива таких данных предполагает возможность изучения состава и состояния почв с большей достоверностью, проведения исследований любого количества параметров в их взаимовлиянии одновременно.

Цель работы – интерпретация данных гранулометрического состава черноземов по материалам почвенных дата-центров Ростовской области.

Задачи исследования:

1. Провести анализ методик определения гранулометрического состава с целью стандартизации сбора, хранения и обмена данными в региональном почвенном дата-центре.

2. Провести инвентаризацию, оцифровку и валидацию данных о гранулометрическом составе черноземов, используя актуальные данные и архивные материалы средне- и крупномасштабного почвенного обследования Ростовской области (РО).

3. Провести диагностику гранулометрического состава черноземов с применением методов цифровой почвенной картографии на основе анализа и обобщения разновременных данных почвенных дата-центров РО с использованием предлагаемой системы принципов интерпретации.

Объекты и методы исследования. Объектом исследований являются результаты определения гранулометрического состава черноземов обыкновенных, полученные лично автором, а также материалы, накопленные к настоящему времени из многочисленных архивных источников и агрегированные в региональную базу данных состава и свойств почв, входящую в состав ПГБД России. Методологическую основу работы составляет гармонизация и структурирование данных гранулометрического состава с применением системного подхода, статистической обработки и метода экспертной оценки.

Пространственно-статистический анализ результатов гранулометрического состава, оценки их качества и дальнейшей возможности использования в мониторинговых исследованиях выполнен с использованием отчетов почвенных обследований хозяйств за 1977–1995 гг. Использовали также почвенные карты (М : 1:10000 – 1:25000) хозяйств области за период 1955–1995 гг., отражающие 73 % территории РО.

С использованием полевого, классического пипет-метода (два способа подготовки образцов к анализу), ареометрического и метода лазерной дифракции (ЛД) изучено влияния способа подготовки почвенных образцов и количественного учета фракций элементарных почвенных частиц (ЭПЧ) на результаты определения

гранулометрического состава чернозема обыкновенного карбонатного.

Научная новизна исследований. Впервые для черноземов обыкновенных карбонатных РО выполнен сравнительный анализ данных гранулометрического состава по четырем вышеперечисленным методам с целью разработки стандартов сбора, хранения и обмена информации о физических свойствах почв в региональном почвенном дата-центре (РПДЦ). Доказано, что результаты, получаемые полевым и пипет-методом имеют сходимость в пределах текстурного класса.

Для использования ареометрического метода (ГОСТ 12536-2014) в почвоведении нами модифицирован способ подготовки почвы к анализу: предложено увеличить количество пептизатора (пирофосфата натрия) в 12 раз.

Разработана система принципов для интерпретации больших массивов данных на примере гранулометрического состава чернозёмов обыкновенных РО. На основе системы этих принципов с привлечением разнородных почвенно-картографических материалов РПДЦ на большом массиве данных гранулометрического состава впервые:

- проведена инвентаризация имеющейся разрозненной архивной почвенной информации о гранулометрическом составе почв РО, в процессе которой установлено, что 56% данных представлено черноземами обыкновенными и южными, в соотношении 53,6 и 46,4% соответственно;
- установлены закономерности содержания физической глины в границах почвенных разновидностей как для черноземов обыкновенных РО в целом, так и для черноземов обыкновенных карбонатных (североприазовских): показано, что для содержания физической глины в черноземах разного гранулометрического состава в целом для области, и отдельно по почвенным районам наблюдается тенденция к увеличению количества образцов у границы классов суглинков и глин – 60%;
- рассчитан среднестатистический гранулометрический состав общий (без разделения на разновидности) и отдельно по каждому текстурному классу (почвенной разновидности). Установлено, что независимо от почвенной

разновидности преобладающими являются две фракции – крупно-пылеватая и илистая. Вклад фракций в физическую глину составляет 17-27-56 % для средней, мелкой пыли и ила, соответственно. С утяжелением гранулометрического класса уменьшается вклад пылеватых частиц в пользу ила;

- доказано наличие корреляционной связи между гранулометрическим составом и содержанием гигроскопической влаги (ГВ) для черноземов обыкновенных.

Положения, выносимые на защиту:

1. Получение объективной информации по гранулометрическому составу черноземов обыкновенных возможно только при использовании метода пипетки, как с пирофосфатной подготовкой образцов к анализу, так и с кислотнo-щелочной. Интерпретация с использованием классификации Н. А. Качинского позволяет отнести исследуемые образцы в один текстурный класс, и согласуется с результатами полевого определения и ареометрического метода при условии модификации последнего на этапе подготовки почвы к анализу. Результаты, полученные методом лазерной дифракции, также имеют ценность, обеспечивая полноту данных, но в настоящий момент их использование в почвоведении затруднительно из-за отсутствия соответствующих классификационных шкал.

2. По содержанию физической глины в наиболее распространенных разновидностях черноземов обыкновенных (тяжелосуглинистых и легкосуглинистых) наблюдается тенденция к увеличению количества образцов у верхней границы суглинков и нижней границы глин, что вероятно характеризует стремление системы к равновесному (устойчивому) состоянию, когда содержание физической глины составляет 60%. Независимо от почвенной разновидности преобладающими являются две фракции – крупно-пылеватая и илистая. Внутри физической глины с утяжелением гранулометрического состава уменьшается вклад пылеватых частиц в пользу ила.

3. Совокупность предложенных принципов интерпретации больших массивов данных, апробированных на примере гранулометрического состава черноземов обыкновенных РО, обеспечивает всесторонность, полноту и объективность информации, заложенной в БД, и эффективность её использования

в практических целях. Эти принципы представляют собой систему последовательных действий: «Логико-терминологический анализ → Контекстность данных → Проверка и подтверждение данных → Полнота информации → Систематизация и обобщение (получение информации более высокого порядка)».

Теоретическая значимость. Теоретическая значимость диссертационного исследования заключается в разработке принципов интерпретации больших объемов данных применительно к гранулометрическому составу черноземных почв РО. В их основе лежит *логико-терминологический подход*, обеспечивающий объективность анализа и верификации результатов. Обоснована необходимость учета *контекстности данных*, поскольку на этапе получения и накопления данные проходят через субъективные и объективные фильтры, отражающиеся на выборке даже при самых строгих стандартизированных методах определения. Принципиальна также обязательность *проверки и подтверждения данных* на предварительных этапах составления баз данных, так как наличие ошибок может впоследствии привести к неправильной интерпретации информации. Качественное диагностирование и получение достоверных результатов возможно только по достижении определённой *полноты данных*, что может обеспечить работа со всеми возможными источниками информации при анализировании проблемы. *Систематизация и обобщение* позволяют получить информацию более высокого порядка.

Практическая значимость. Апробировано использование базы данных в части информации по гранулометрическому составу черноземов обыкновенных РО для корректировочного почвенного обследования, что способствует повышению эффективности работ при экономии людских и материальных ресурсов. Разработанные принципы и полученные в ходе их проверки результаты применяются в процессе производства почвенных экспертиз.

Произведен сравнительный анализ методов определения гранулометрического состава почв, и даны рекомендации по способу подготовки почвы к ареометрическому анализу (ГОСТ 12536–2014) с целью минимизации

различий с пипет-методом.

Результаты выполненных исследований используются при чтении курсов «Физика почв», «Судебно-почвоведческая экспертиза», и онлайн курса «Геоинформационные системы в сельском хозяйстве». Материалы по среднестатистическому гранулометрическому составу используются для верификации данных, полученных в процессе учебной и научной деятельности.

Апробация результатов исследований. Материалы диссертационной работы были представлены на международных и всероссийских конференциях: Международный симпозиум «Soil Science & Plant Nutrition», Турция, 2021; Эволюция почв и развитие научных представлений в почвоведении, Барнаул, 16–21 августа 2022; VIII съезд Общества почвоведов им. В.В. Докучаева, Сыктывкар, 2022; «Рациональное землепользование: оптимизация земледелия и растениеводства», Курск, 2021; «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего», Санкт-Петербург, 2021; «Роль вузовской науки в развитии агропромышленного комплекса», Нижний Новгород, 2021; «Ломоносов», Москва, 2011, 2013, 2020; «Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса», Ростов-на-Дону, 2020; «Фундаментальные концепции физики почв: развитие, современные приложения и перспективы», Москва, 2019; Республиканская научная конференция, Узбекистан, Фергана, 2019; «Никитинские чтения», Пермь, 2019; «Современное состояние черноземов», Ростов-на-Дону, 2013, 2018; «Докучаевские молодежные чтения», Санкт-Петербург, 2013; VI съезд общества почвоведов им. В.В. Докучаева, Петрозаводск, 2012.

Публикации. По результатам исследований опубликовано 27 научных работ, включая 3 статьи в изданиях, входящих в базы данных международных индексов научного цитирования Scopus, 5 работ входит в Перечни рецензируемых научных изданий ЮФУ и ВАК, 1 работа входит в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК РФ, и 4 свидетельства о регистрации на программные продукты и базы данных.

Личный вклад в работу. Заключается в формировании целей и задач исследования, участии в теоретической работе по созданию регионального дата-

центра, а также обработке и подготовке материалов для его формирования – инвентаризация, векторизация и семантический анализ данных. Автором интерпретированы полученные результаты, сформированы выводы и перспективы использования почвенно-географических данных. Диссертация является результатом многолетних исследований (2011–2023).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, выводов и списка литературы. Работа содержит 170 страниц текста, 35 таблиц и 44 рисунка. Список литературы содержит 175 источников, из них 44 на иностранных языках.

Финансовая поддержка исследования. Исследования проводились при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках госзадания (Южный федеральный университет, проект № 0852-2020-0029), мегагранта для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых Министерства науки и высшего образования РФ «Биореставрация загрязненных почвенных экосистем», соглашение № 075-15-2022-1122, 2022-2024 гг.; а также по ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» (МГУ им. М. В. Ломоносова, проект АААА-А20-120010990033-4): «Технология интеграции природно-почвенной информации центров Агрохимической службы в распределенную Информационную систему «Почвенно-географическая база данных России» для оперативного управления земельными ресурсами на региональном и федеральном уровнях» (2019–2020 гг.).

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность за помощь в работе, консультации и замечания научному руководителю, д.б.н. О. С. Безугловой; особую признательность автор выражает доценту И. В. Морозову за обсуждения, консультации, существенные разъяснения и комментарии. Автор искренне признателен Ю. А. Литвинову за множество ценных замечаний и постоянное внимание к работе, а также всем сотрудникам кафедры почвоведения и земельных ресурсов Южного федерального университета за поддержку на всех этапах выполнения работы.

Бакалаврам, магистрам и аспирантам за участие в подготовке и оцифровке архивных материалов. Соавторам по созданию баз данных и программного обеспечения И.О. Алябиной, О.М. Голозубову, Ю.А. Литвинову, Е.Н. Минаевой, А.В. Пулину, О.С. Безугловой, О.Г. Назаренко, И.В. Морозову, Т.М. Минкиной, Е.М. Цвылеву, Н.В. Кайдаловой, А.А. Меженкову, Д.О. Голозубову, А.А. Полещук.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Литература по истории почвенных обследований территории РО свидетельствует, что начиная с работ В. В. Докучаева, Л. И. Прасолова, С. А. Захарова, упор делался на генетические и картографические исследования. Рассмотрены также состояние и степень изученности алгоритмов работы с почвенными базами данных. Проведен анализ научных исследований о специфичности работы с большими массивами данных и геоинформационными системами.

2. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На территории РО, расположенной на юге Европейской России в зоне Южно-Русской равнины, прослеживается контакт двух почвенно-географических фаций – очень теплой Южно-Европейской и теплой Восточно-Европейской. На контакте зон происходит формирование различных почв и топографических уровней в зависимости от их взаимовлияния и расположения (Захаров, 1946). Черноземы и каштановые почвы доминируют в почвенном покрове РО – 62% и 23%, соответственно.

В работе использовались материалы почвенных обследований крупного и среднего масштаба: почвенных карт и пояснительных очерков к ним. На базе ФГБУ ГЦАС «Ростовский» и дата-центра кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов ЮФУ собран большой массив архивных материалов почвенных обследований РО (600 карт по 43 районам). Использовалась информация о физических и морфологических свойствах почвы, а также сопутствующие данные – указание глубины отбора образца или/и почвенного горизонта, а также

контекстные данные – место отбора, описание метода лабораторного анализа.

Оцифровка и валидация материалов почвенного обследования РО велась согласно разработанным методическим указаниям МГУ в рамках проектах ПГБД России.

В работе использовали методы морфометрического (изучение цифровой модели высот с применением ГИС технологий) и пространственного анализов (оверлей <https://desktop.arcgis.com/>). Гранулометрический состав определяли полевым и лабораторными методами: пипетки с пирофосфатным способом подготовки почвенных образцов к анализу и кислотно-щелочным (модификация Долгова-Личмановой) (Вадюнина, Корчагина, 1986); ареометрическим по международному (ISO 11277:2009) и межгосударственному (ГОСТ 12536-2014) стандартам; лазерной дифракции (блок мокрого диспергирования "Analysette 22" модель NanoTec (ISO 13320-1:1999)). Гигроскопическую влажность определяли методом высушивания и взвешивания (Вадюнина, Корчагина, 1986).

3. ВЫБОР МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА

Цель этого этапа работы – оценка влияния различных методов определения гранулометрического состава на решение классификационных задач (табл. 1).

Анализировали верхний горизонт (0–30 см) чернозема обыкновенного карбонатного (североприазовского), поскольку именно по этой части профиля определяется принадлежность к той или иной почвенной разновидности (Захаров, 1940). Реперный разрез был заложен на территории ООПТ федерального значения Ботанический сад Южного федерального университета.

Сравнительный анализ полученных данных показал, что результаты лабораторных испытаний одних и тех же почвенных образцов зависят как от способа подготовки почвенных образцов, так и от способа количественного учета частиц. В качестве контрольного метода сравнения использован метод пипетки с пирофосфатным способом подготовки почвенных образцов к анализу, широко применяемый в почвоведении с 1970-х г., в том числе, при выполнении почвенных

обследований в институтах системы Гипрозем, и представленных в Почвенно-географической базе данных.

Идентификация разновидностей почвы полевым и пирофосфатным (метод пипетки) способами определения гранулометрического состава дают сходные результаты. Ареометрический метод при условии его модификации на этапе подготовки почвы к анализу также показал сходные результаты.

Таблица 1 – Сравнение результатов определения гранулометрического состава чернозема обыкновенного карбонатного с различными подготовками и методом учета частиц

Метод подготовки	Метод учета частиц	Содержание ФГ (< 0.01), %		Гранулометрический состав (классификация)
		Абсол.	Относ.	
Смачивание водой	Полевое определение метод шнура	кольцо с трещинами 45–60	±15	Тяжелый суглинок (Вадюнина, Корчагина, 1986)
Пирофосфатная подготовка (метод Долгова-Личмановой, ГОСТ 12536-79) – принят за контрольный	Метод пипетки	52,56	0	Тяжелый суглинок (Качинский, 1965)
Кислотно-щелочной (метод Н.А. Качинского)		55,34	+5,15	Тяжелый суглинок (Качинский, 1965)
Подготовка по ГОСТ 12536-2014	Ареометрический метод	31,7	-39,77	Средний суглинок (Качинский, 1965)
Подготовка по ГОСТ 12536-2014 с увеличением кол-ва пептизатора до 60 мл		49,2	-6,52	Тяжелый суглинок (Качинский, 1965)
Подготовка по ISO 11277:2009		28	-46,8	Легкий суглинок (Качинский, 1965); Пылеватый суглинок (USDA)
Сухой образец, просеянный через сито 1 мм + обработка ультразвуком	Метод лазерной дифракции ISO 13320-1:1999	48,36	-8,12	Тяжелый суглинок (Качинский, 1965)
Пирофосфатная подготовка (метод Долгова-Личмановой, ГОСТ 12536-79)		61,6	+17,04	Глина легкая (Качинский, 1965); Глинисто-пылеватый суглинок (USDA)

Результаты определения гранулометрического состава почвы методом ЛД в значительной степени отличаются от данных, получаемых другими методами. Наибольшую сходимость с контрольным методом дали результаты анализа сухого образца с ультразвуковой обработкой, а классическая подготовка образца к анализу приводит к кажущемуся утяжелению гранулометрического состава.

Результаты исследования демонстрируют сложность и возможные трудности при формировании ПГБД и последующем внесении атрибутивной информации о гранулометрическом составе, полученной с использованием разных способов подготовки и методов количественного учета. При этом фактически одна и та же почва, может быть классифицирована в зависимости от выбранного метода как разновидность от песка рыхлого до глины легкой, изложенное подтверждает, что контекст получения данных играет важную роль.

4. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕРИАЛОВ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПОЧВЕННЫХ ДАТА-ЦЕНТРОВ

4.1. Принципы работы с большими объемами данных

Актуальность разработки принципов диагностики физических свойств почв с использованием данных регионального дата-центра обусловлена большим массивом накопленных данных, тенденцией к переходу на цифровые технологии, созданием репозиторий данных и применением искусственного интеллекта.

Для того чтобы использовать данные РПДЦ для всевозможных расчётов, требующих наличия результатов гранулометрического состава, исследование взаимосвязей физических и физико-механических свойств почвы, а также для задач почвенно-экологических и почвенно-грунтовых изысканий необходимо выстроить алгоритм действий и провести экспертную оценку их состава и качества. Иерархическая система работы с большими объемами данных на примере массива результатов гранулометрического состава чернозёмов обыкновенных РО включает Логико-терминологический анализ → Контекстность данных → Проверка и подтверждение данных → Полнота информации → Систематизация и обобщение

(получение информации более высокого порядка).

4.2. Инвентаризация материалов почвенного обследования Ростовской области

Инвентаризация 1827 почвенных разрезов, по которым в РПДЦ представлены результаты определения гранулометрического состава, показала, что черноземы представлены 1029 разрезами (обыкновенные и южные, в соотношении 53,64% и 46,36% соответственно). На втором месте по представленности находится тип каштановых почв – 241 разрез, на третьем – солонцы автоморфные (180 разрезов), также обнаружено, что 15 почвенных разрезов не имеют информации по типу почвы. Нами были оцифрованы, внесены в базу все имеющиеся архивные данные о почвенных разрезах РО, затем объединены с картографической информацией, выгружены в виде таблицы Excel и далее исследованы результаты определения гранулометрического состава черноземов РО. Результатом работы стал список разрезов со всеми данными.

Степень векторизации карт РО и степень представленности разрезами с данными гранулометрического состава показаны на рисунках 1 и 2.

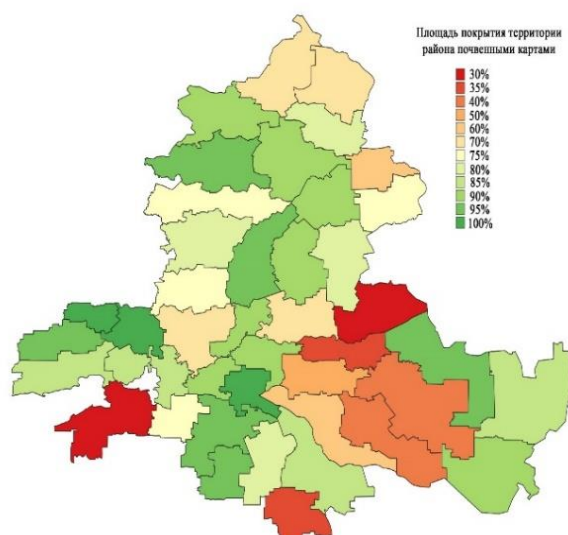


Рисунок 1 – Степень векторизации почвенных карт территории РО

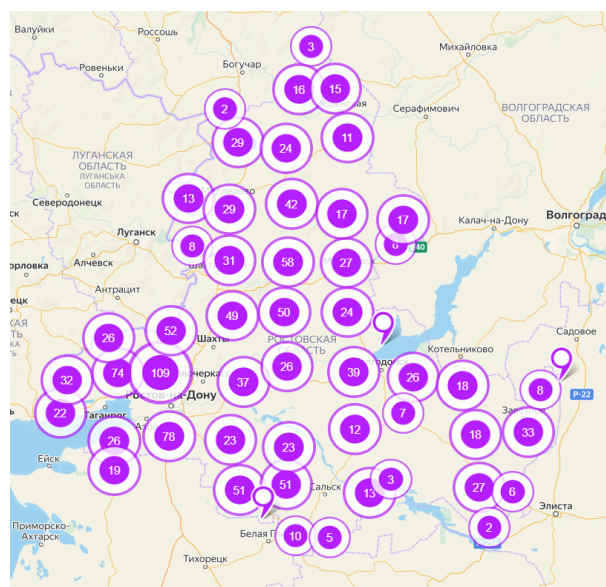


Рисунок 2 – Степень представленности разрезами с данными гранулометрического состава.

Перед началом работы нами была проведена «очистка» данных (Wadouh,

2021). Для внесенных почвенных данных выполнялось пространственное пересечение с цифровой крупномасштабной почвенной картой РО с целью выявления расхождений в наименованиях почв. В случае выявления расхождений выполнялась корректировка классификационных наименований почвенных профилей. Весь массив данных был разделен на почвенные районы согласно имеющейся в базе данных карты районирования РО (Гаврилюк, 1961).

В РПДЦ наиболее широко представлены Северо-Приазовский и Азово-Кубанский (Южный) почвенные районы – по 230, 165 разрезов соответственно. Также в процессе инвентаризации была обнаружена тенденция увеличения количества образцов с содержанием физической глины на границе гранулометрических классов суглинков и глин – 60%, как по черноземам обыкновенным РО в целом, так и по отдельным почвенным районам, что отвечает равновесному состоянию этих почв.

91% черноземов обыкновенных карбонатных сформированы на лессовидных (65%) и желто-бурых (26%) глинах и суглинках, что передается почвенной массе доминированием суммы крупно- и среднепылевой фракций 0,05–0,005 мм, не превышающим 50%.

4.3. Гранулометрический состав черноземов обыкновенных Ростовской области

Гранулометрический состав черноземов обыкновенных РО (обычных и карбонатных) характеризуется почти полным отсутствием фракции песка крупнее 0,25 мм, количество этих частиц в среднем не превышает 0,5%. Мелкий песок крупностью 0,25–0,05 мм содержится также в незначительном количестве – обычно ниже 10%. Преобладающими являются две фракции: крупно-пылеватая (0,05–0,01 мм), содержание которой в среднем около 30%, с максимумом 45% и минимумом 8%. Среднее содержание илистых частиц диаметром менее 0,001 мм составляет для черноземов обыкновенных 35%, размах колебаний находится в границах 52–13%. Среднее содержание физической глины по РО равно 63%, границы варьирования этого показателя лежат в пределах 81–32%. Для горизонта С общие закономерности сохраняются, а среднестатистическое содержание физической

глины – 64%.

Вычисление среднестатистического состава по разновидностям показало, что в целом для черноземов обыкновенных РО соотношение фракций внутри разновидностей сохраняется: максимальное количество частиц сосредотачивается во фракциях крупной пыли и ила. Для почв среднесуглинистых ситуация меняется: преобладают фракции мелкого песка и крупной пыли, что согласуется с литературными данными. При рассмотрении общего ГМС по почвенным районам отмеченные тенденции в распределении ЭПЧ в целом сохраняются (рис. 3, 4).

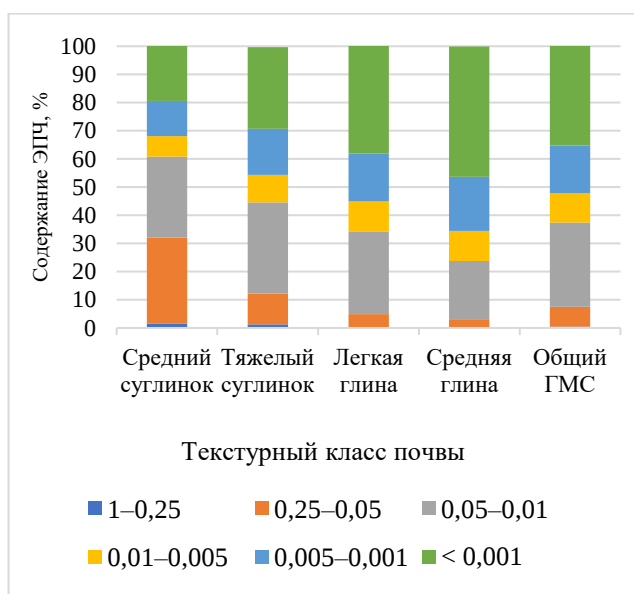


Рисунок 3 – Изменение количества фракций в разных текстурных классах верхних горизонтов черноземов обыкновенных в среднем для РО.

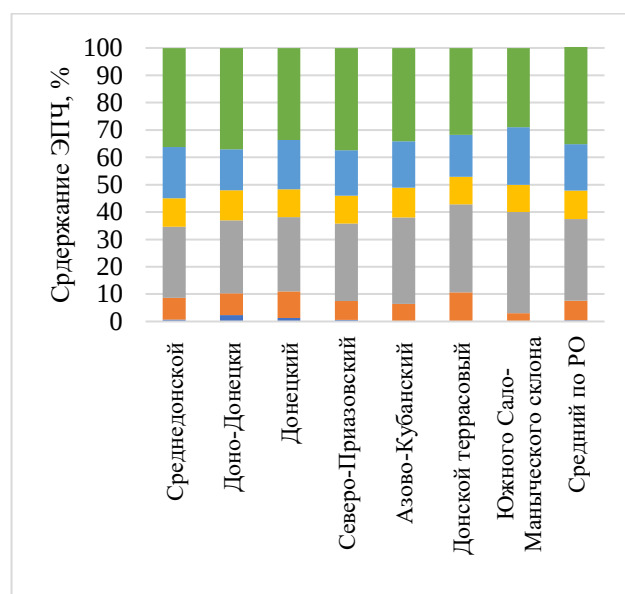


Рисунок 4 – Гранулометрический состав по верхним горизонтам черноземов обыкновенных карбонатных РО по почвенным районам

Сравнительный анализ содержания физической глины в горизонтах А и С по почвенным районам показал, что хотя максимальные и минимальные значения отличаются, медианные значения находятся в одном диапазоне 63–65 и 67–65%, для верхних и нижних горизонтов соответственно. На примере черноземов обыкновенных карбонатных Северо-Приазовского района установлено: сохраняется соотношение фракций внутри разновидностей – максимальное количество частиц сосредоточено во фракциях крупной пыли и ила. Средние значения физической глины по разновидностям составляют для тяжелых суглинков – $56,5 \pm 3,88\%$, для легких глин – $66,64 \pm 3,99\%$, для средних глин – $77,00 \pm 1,70\%$. Соотношение по содержанию

физической глины по профилю практически не меняется (рис.5).

Анализ вклада фракций в физическую глину показал следующее соотношение в процентах средней, мелкой пыли и ила 17–27–56 для верхних горизонтов черноземов обыкновенных РО, и 16–26–58 – для нижних. Если рассматривать почвенные разновидности по отдельности, то вклад каждой фракции изменяется с утяжелением класса. Вклад ила увеличивается, средней и мелкой пыли – уменьшается, такая закономерность сохраняется для всех рассмотренных почвенных районов РО.

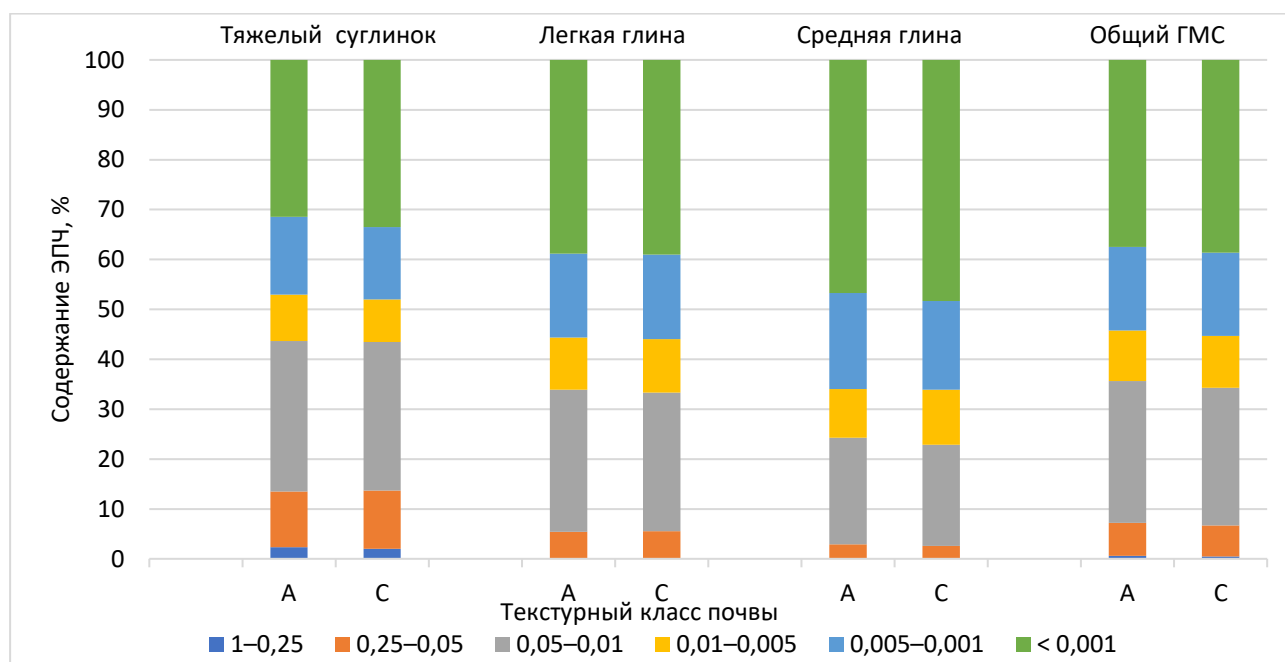


Рисунок 5 – Сравнительный анализ гранулометрического состава черноземов разных текстурных классов Северо-Приазовского почвенного района (согласно данным Регионального почвенного дата-центра)

4.4. Статистическая обработка данных гранулометрического состава почв Ростовской области

Распределение по содержанию физической глины в черноземах обыкновенных РО можно характеризовать как приближенное к нормальному. Среднее арифметическое, мода и медианы, входят в один класс, что тоже свидетельствует об относительной нормальности распределения: эти показатели равны 63–64–64% и 65–63–65% для А и С, соответственно. Также это подтверждается законом «трёх сигм» (Лакин, 1990). Эмпирическое и

теоретическое распределение показано на рисунке 6.

Из этого следует что оценивать выборку почвенных данных можно при помощи параметрических критериев. Однако как отмечают ученые, работающие с большими объемами данных о почве, и конкретно с гранулометрическим составом, даже если ряд подчиняется закону нормального распределения, применительно к такой системе, как почва, предпочтительнее использовать непараметрические критерии, так как даже в случае небольших отличий распределений признака от нормального вида они в этой ситуации оказываются часто более значимыми (Polakowski, 2021; Malone, Searle, 2021). Статистическая обработка результатов содержания фракций ила и физической глины показала, что выборка однородна, так как все значения при разделении на различные группы сравнения меньше 33%.

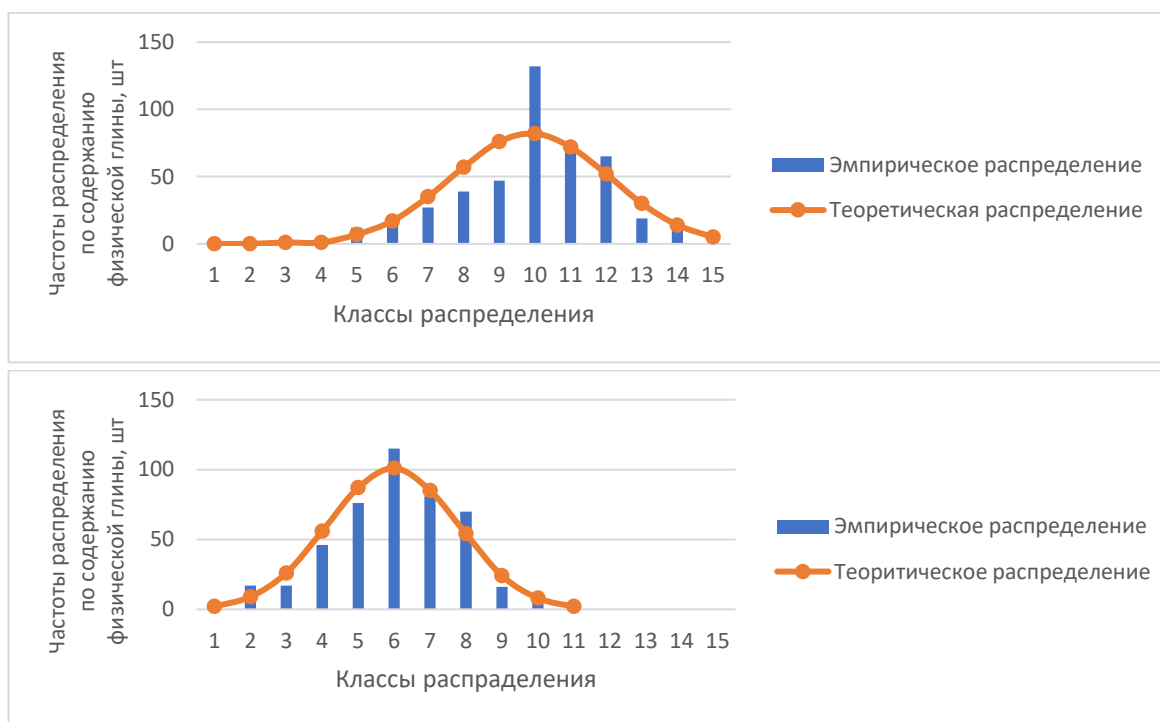


Рисунок 6 – Распределение содержания физической глины в черноземах обыкновенных РО, горизонты А и С.

Коэффициент вариации содержания физической глины верхних горизонтов черноземов обыкновенных РО без разделения на почвенные разновидности по РО имеет значение 11% – вариация характеризуется как средняя, при разделении по текстурным классам изменяется и составляет 13% для средних суглинков и 7–2% (незначительная вариация), причем с утяжелением класса снижается. Для

горизонта С коэффициент вариации физической глины не превышает 10%.

Коэффициент вариации содержания ила в верхних горизонтах черноземов обыкновенных РО без разделения на почвенные разновидности по РО имеет значение 21% – вариация характеризуется как значительная, при разделении по текстурным классам изменяется от значительной до средней, причем с утяжелением класса также снижается. Для горизонта С коэффициент вариации ила не превышает 16%.

Таким образом, степень вариации статистической выборки по физической глине в черноземах обыкновенных РО можно охарактеризовать как незначительную, а по илистой фракции как умеренную, при этом степень вариации нижних горизонтов более однородна. При сравнении почвенных районов между собой и с данными по области различия незначительны.

Данные содержания гигроскопической влаги также были обработаны методами математической статистики (табл. 2). Они показали большой разброс значений в черноземах обыкновенных, поэтому пользоваться этими данными надо с осторожностью.

Был проведен корреляционный анализ (табл. 2) содержания физической глины и гигроскопической влаги с применением параметрических и непараметрического (коэффициент Спирмана) критериев. Оценка достоверности корреляции коэффициентов на уровне значимости 5% показала, что во всех случаях корреляция достоверная. Видно, что непараметрический коэффициент в некоторых случаях оказывался выше.

Для показателей по Азово-Кубанскому (Южному) району характерна более высокая вариативность. На основании данных РПДЦ для РО были выявлены ожидаемые связи между содержанием физической глины и содержанием гигроскопической влаги $W_{гв}$ в горизонте А ($r=0,49$ и $r_s=0,50$), для Северо-Приазовского района коэффициент корреляции немного выше ($r=0,55$ и $r_s=0,61$). Однако ожидаемую функциональную связь между данными показателями не удалось получить, потому что коэффициент вариации для содержания

гигроскопической влаги оценивается как значительный, и его не следует использовать как достоверную величину (константу).

Таблица 2 – Данные корреляционного и вариационно-статистического анализов гранулометрического состава и гигроскопической влаги в верхних горизонтах черноземов обыкновенных

Регион исследований	Гранулометр и-ческая фракция	$\bar{x}$, %	V, %	n	W _{ГВ}		r ГВ/ФГ	
					$\bar{x}$, %	V, %	r	r _s
Матвеево- Курганский район	Ил (<0,001)	34,8	11,1	30	6,4	16,2	0,43	0,48
	ФГ (<0,01)	65,0	8,3					
Северо-Приазовский район	Ил (<0,001)	37,5	18,3	179	5,7	19,8	0,55	0,61
	ФГ (<0,01)	64,3	10,3					
Азово-Кубанский (Южный) район	Ил (<0,001)	34,2	22,6	159	5,0	20,3	0,34	0,42
	ФГ (<0,01)	62,0	12,0					
Ростовская область	Ил (<0,001)	35,7	20,8	380	5,4	20,1	0,49	0,50
	ФГ (<0,01)	63,0	11,5					

4.5. Применение информации о гранулометрических свойствах почвы в задачах почвенно-экологических и почвенно-грунтовых изысканий

Одна из возможных перспектив использования РПДЦ – помощь в проведении корректировочного почвенного обследования (точечного). Для этого в БД есть все необходимые исследования и инструменты. Так, на этапе инвентаризации установлено, что по гранулометрическому составу для верхних горизонтов черноземов обыкновенных РО существует 21,6% записей, у которых не совпадает морфологическое описание почвенной разновидности и количественное определение, для нижних горизонтов этот показатель еще выше – 33,7%. Наличие таких записей с координатной привязкой позволяет создать списки тех почвенных контуров или хозяйств, в которых необходимо провести корректировочные обследования, вместо сплошного картографического. Такой корректировочный этап поможет верифицировать ошибки, организовать работу, провести территориальные корректировки, существенно сократив людские и материальные

затраты.

Анализ судебной практики показывает, что данные РПДЦ позволяют изучить историю участка, почвенного выдела, ландшафта, зафиксировать изменения свойств по этапам экспертного исследования. Это позволяет проводить сравнительный анализ актуальной информации с данными базы, и формировать выводы по изменению условий в истории участка, наличию или отсутствию деградации.

Верификация результатов актуальна для научно-исследовательских работ, и база данных в перспективе является незаменимым инструментом, для этих целей. Так, в работе (Безуглова и др., 2021) показано, что результаты определения гранулометрического состава черноземов, помещенные в БД, могут при их осреднении служить и для диагностики почв сложного генезиса, когда принадлежность почвы к тому или иному типу вызывает вопросы.

ВЫВОДЫ

1. Результаты определения разновидности черноземов обыкновенных карбонатных по их гранулометрическому составу полевым методом имеют сходимость с пипет-методом в пределах текстурного класса. Метод пипетки при разных способах подготовки к анализу (кислотно-щелочном и пирофосфатном) для верхнего слоя (0–30 см) почв дает результаты, позволяющие определить гранулометрический состав как один текстурный класс.

2. Разработана модификация ареометрического метода (ГОСТ 12536-2014) в части подготовки почвенных образцов к анализу. Для сходимости с результатами пипет-метода в соотношении «почва-пептизатор» предлагается увеличить количество пирофосфата натрия в 12 раз.

3. Инвентаризация разрозненной архивной почвенной информации о гранулометрическом составе почв РО показала, что из 1824 разрезов с информацией о гранулометрическом составе 56% данных представлены черноземами обыкновенными и южными, в соотношении 53,6 и 46,4% соответственно. Описание

верхних горизонтов почвенных разрезов в 21,6% случаев не совпадет с данными лабораторного определения, для нижних – 33,7%.

4. Среди чернозёмов обыкновенных РО преобладают тяжелосуглинистая и легкоглинистая разновидности. Наблюдается тенденция к увеличению количества образцов у верхней границы суглинков и нижней границы глин, что вероятно характеризует стремление системы к равновесному (устойчивому) состоянию, когда содержание физической глины составляет 60%.

5. Среднестатистический состав чернозёмов обыкновенных по верхним и нижним горизонтам, как по отдельным почвенным районам, так и по всей РО в целом, характеризуется как легкоглинистый с двумя максимумами – во фракциях крупной пыли и ила, со среднестатистическим содержанием физической глины 63% для верхних горизонтов, и 64,6% – для нижних. Среднестатистическое содержание физической глины в верхних горизонтах чернозёмов для тяжелых суглинков – 55,0%; легких глин – 65,9%; средних глин – 76,2%. Для материнской породы (гор. С) содержание физической глины распределилось следующим образом: для тяжелых суглинков – 56,4%; легких глин – 66,2%; средних глин – 77,1%. Коэффициент вариации для содержания физической глины в горизонте С не превышает 10%.

6. Установлено, что в черноземах обыкновенных карбонатных Северного Приазовья содержание крупно-пылевой фракции составляет $29 \pm 5\%$, а «лёссовой» фракции – $39 \pm 6\%$, за которую нами принята сумма фракций крупной и средней пыли (0,05–0,005 мм), наследуемой от материнских пород.

7. Анализ и обобщение данных с целью получения информации более высокого порядка обеспечивается разработанной системой принципов интерпретации материалов РПДЦ: Логико-терминологический анализ → Контекстность данных → Проверка и подтверждение данных → Полнота информации → Систематизация и обобщение (получение информации более высокого порядка). Исключение какого-либо блока из предлагаемой системы приведет к нарушению логических построений и ошибкам интерпретации полученных результатов.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, входящих в базы данных международных индексов научного цитирования Scopus и/или Web of Science

1. Генетические особенности почв на элювии плотных пород Донецкого кряжа / О. С. Безуглова, В. Э. Болдырева, С. Н. Горбов, Ю. А. Литвинов // Почвоведение. – 2023. – № 10. – С. 1205-1215. Переводная версия: Genetic Features of Soils on Hard Rocks of the Donetsk Ridge / O. S. Bezuglova, V. E. Boldyreva, S. N. Gorbov, Yu. A. Litvinov // Eurasian Soil Science. – 2023. – Vol. 56, No 10. – P. 1371-1380. – DOI 10.1134/S1064229323601415.
2. Interpretation of the results of particle-size distribution determination using various soil texture classifications / O. S. Bezuglova, V. E. Boldyreva, E. N. Minaeva, I. V. Morozov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 862. – Art. No. 012018. – DOI 10.1088/1755-1315/862/1/012018.
3. Origin of the gypsum-bearing horizon of Calcic Chernozems in the South of Russia / O. S. Bezuglova, E. N. Minaeva, I. V. Morozov, S. S. Mandzhieva, V. D. Rajput, V. E. Boldyreva // Ecology, Environment and Conservation, – 2021. – Vol. 27. – №1. – P. 514-520. – Режим доступа: <http://www.envirobiotechjournals.com/EEC/v27i121/EEC-71-without%20email.pdf>

Статьи в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий ЮФУ и ВАК

4. Безуглова, О.С. Интерпретация результатов гранулометрического анализа почвы в разных школах почвоведения / О. С. Безуглова, В. Э. Болдырева, И. В. Морозов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2022. – № 2 (214). – С. 36-46. – DOI 10.18522/1026-2237-2022-2-36-46
5. Болдырева, В. Э. Интерпретация данных гранулометрического состава черноземов по материалам Почвенных дата-центров / В. Э. Болдырева, И. В. Морозов, О. С. Безуглова // АгроЭкоИнфо. – 2022. – № 2 (50). – DOI 10.51419/202122233. – Режим доступа: https://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/2/st_233.pdf
6. Сравнительный анализ методов определения гранулометрического состава почв Северного Приазовья / Болдырева В. Э., Безуглова О. С., Меженков А. А., Литвинов Ю. А., Морозов И. В. // АгроЭкоИнфо. – 2022. – № 1(49). – DOI 10.51419/202121126. – Режим доступа: <https://doi.org/10.51419/202121126>.
7. Значение систематизации результатов гранулометрического состава по данным регионального почвенного дата-центра в изучении особенностей черноземов обыкновенных Северного Приазовья / Болдырева В. Э., Безуглова О. С. Морозов И. В. // АгроЭкоИнфо: – 2022. – № 2. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/2/st_231.pdf.

Статьи в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий ЮФУ

8. Болдырева, В. Э. Особенности гранулометрического состава черноземов

обыкновенных карбонатных Северного Приазовья / В. Э. Болдырева, О. С. Безуглова, И. В. Морозов [и др.] // Живые и биокосные системы. – 2022. – № 39. – DOI 10.18522/2308-9709-2022-39-3

9. Шкуропадская К. В., Пшеничная А. А., Болдырева В. Э., Морозов И. В., Сравнительный анализ методов определения гранулометрического состава почв // Живые и биокосные системы. 2019. № 30; URL: <https://jbks.ru/archive/issue-30/article-6>.

10. Болдырева В.Э., Шкуропадская К.В., Морозов И.В Опыт использования метода лазерной дифракции для определения гранулометрического состава порошковых сред // Живые и биокосные системы. 2015. № 12. С. 7.

Статьи в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК

11. Болдырева, В. Э. К вопросу об определении гранулометрического состава почв с использованием метода лазерной дифракции / В. Э. Болдырева, О. С. Безуглова, И. В. Морозов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2019. – № 1(33). – С. 184-194. – DOI 10.31774/2222-1816-2019-1-184-194.

Электронные ресурсы

1. Алябина И.О., Болдырева В. Э., Голозубов О.М., Литвинов Ю.А., Минаева Е.Н., Пулин А.В. База данных «Цифровая среднемасштабная почвенная карта Московского региона» Свидетельство регистрации № 2020621226 от 15 июля 2020 г.

2. Безуглова О.С., Назаренко О.Г., Голозубов О.М., Морозов И.В., Минкина Т.М., Цвылев Е.М., Кайдалова Н.В., Литвинов Ю.А., Минаева Е.Н., Болдырева В.Э., Меженков А.А. Свидетельство о регистрации базы данных «Цифровой реестр почв Ростовской области». №24552 от 9.07.2020.

3. Безуглова О.С., Назаренко О.Г., Голозубов О.М., Голозубов Д.О., Минкина Т.М., Цвылев Е.М., Кайдалова Н.В., Литвинов Ю.А., Минаева Е.Н., Болдырева В.Э., Меженков А.А. Свидетельство о регистрации веб-приложения «Почвенная карта Ростовской области» №24536 от 21.06.2020.

4. Безуглова О.С., Голозубов О.М., Литвинов Ю.А., Болдырева В.Э., Минаева Е.Н., Меженков А.А., Сухарев А.А. Свидетельство о регистрации программного комплекса «Атлас почв Ростовской области v.2.» №23806 от 9.10.2018.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ СОКРАЩЕНИЙ

БД – база данных

ГВ – гигроскопическая влага

ГИС – геоинформационные системы

ГМС – гранулометрический состав

ЛД – лазерная дифракция

ООПТ – особо охраняемая природная территория

ПГБД – Почвенно-географическая база данных

РО – Ростовская область

РПДЦ – Региональный почвенный дата-центр

ФГБУ ГЦАС – Федеральное государственное бюджетное учреждение государственный центр агрохимической службы

ЭПЧ – элементарные почвенные частицы