

УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2026-128-50-84



Ссылки для цитирования:

Апарин Б.Ф., Моргач Ю.Р., Сухачева Е.Ю., Кузьмина А.А., Лазарева М.А., Мингареева Е.В., Федорова М.Е. Изменения типоморфных характеристик чернозема южного при сельскохозяйственном использовании // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2026. Вып. 128. С. 50-84. DOI: 10.19047/0136-1694-2026-128-50-84

Cite this article as:

Aparin B.F., Morgach Yu.R., Sukhacheva E.Yu., Kuzmina A.A., Lazareva N.A., Mingareeva E.V., Fedorova M.E., Changes in typomorphic characteristics of southern chernozem during agricultural use, Dokuchaev Soil Bulletin, 2026, V. 128, pp. 50-84, DOI: 10.19047/0136-1694-2026-128-50-84

Благодарность:

Работа выполнена в рамках НИР № 0439-2024-0001.

Acknowledgments:

The studies were carried out as part of research work No. 0439-2024-0001.

Изменения типоморфных характеристик чернозема южного при сельскохозяйственном использовании

© 2026 г. Б. Ф. Апарин^{1,2*}, Ю. Р. Моргач¹, Е. Ю. Сухачева^{1,2},
А. А. Кузьмина¹, М. А. Лазарева¹, Е. В. Мингареева¹,
М. Е. Федорова¹

¹Центральный музей почвоведения им. В. В. Докучаева – филиал ФГБНУ
ФИЦ “Почвенный институт им. В. В. Докучаева”, Россия,
197375, Санкт-Петербург, Биржевой проезд, дом 6,
^{*}<https://orcid.org/0000-0001-6012-0168>, e-mail: soilmuseum@bk.ru.

²Санкт-Петербургский государственный университет,
199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., дом 7–9.

Поступила в редакцию 01.08.2025, после доработки 18.11.2025,
принята к публикации 29.04.2026

Резюме: Настоящая работа посвящена изучению изменений типоморфных характеристик черноземов южных Волгоградской области на территории бывшего стационара АН СССР “Белые пруды”.

Исследования выполнены по трансекте, пересекающей с запада на восток два сельскохозяйственных поля, находящихся между тремя лентами Государственной лесополосы “Пенза–Каменск”. Для анализа динамики почвенных характеристик использовались образцы, отобранные в 1950 г., и в тех же местах спустя 70 лет, отобранные в 2021 г. Комплексные исследования проводились по следующим характеристикам: плотности сложения, агрегатный состав, pH, содержание гумуса, карбонатов, солей, обменных оснований. Выявлено, что длительное сельскохозяйственное использование не привело к значительным изменениям морфологического строения, гранулометрического состава, а также гумусового и солевых профилей исследуемых современных почв. Показано, что за изучаемый период с 1950 г. до 2021 г. наблюдается повышение плотности почвы и прослеживается тенденция к подкислению верхней части почвенного профиля и, напротив, к подщелачиванию его нижней части. Для выявления факторов изменения типоморфных характеристик были проанализированы данные многолетних наблюдений (100-летний период) за климатическими показателями. Выявлена сложная взаимосвязь между осадками и влагозапасами в почвах. Ретроспективный анализ показал высокую устойчивость к длительному сельскохозяйственному использованию профилеобразующего процесса, что объясняется малой изменчивостью климатической нормы почвообразования за последние 120 лет, глубоким залеганием грунтовых вод, равнинным рельефом местности и наличием лесных насаждений. При сохранении текущих тенденций количества и сезонной динамики осадков значительных изменений в почвенных свойствах не прогнозируется.

Ключевые слова: индикаторы; потенциальное плодородие; климатический потенциал; полигон почвенно-экологического мониторинга; ретроспективный мониторинг.

Changes in typomorphic characteristics of southern chernozem during agricultural use

© 2026 B. F. Aparin^{1,2*}, Yu. R. Morgach¹, E. Yu. Sukhacheva^{1,2},
A. A. Kuzmina¹, N. A. Lazareva¹, E. V. Mingareeva¹,
M. E. Fedorova¹

¹Central Soil Museum by V.V. Dokuchaev – Branch of the Federal Research Centre “V.V. Dokuchaev Soil Science Institute”,

6 Birzhevoy proezd, Saint Petersburg 197375, Russian Federation,
*<https://orcid.org/0000-0001-6012-0168>, e-mail: soilmuseum@bk.ru.

²Saint Petersburg State University,
Building 7–9 Universitetskaya Embankment,
Saint Petersburg 199034, Russian Federation.

Received 01.08.2025, Revised 18.11.2025, Accepted 29.04.2026

Abstract: This work is devoted to the study of changes in the typomorphic characteristics of the chernozems of the southern Volgograd region on the territory of the former landfill of the USSR Academy of Sciences “Belye prudy”. The studies were carried out along a transect crossing two agricultural fields from west to east, located between three ribbons of the “Penza-Kamensk” State Forest Belt. For the analysis of medium-term dynamics of soil characteristics, samples taken in 1950 and in the same places after 70 years, taken in 2021, were used. Complex studies were carried out according to the following characteristics: density of addition, aggregate composition, pH, content of humus, carbonates, salts, exchange bases. It was revealed that long-term agricultural use did not lead to significant changes in the morphological structure, particle size distribution, as well as humus and salt profiles of the studied modern soils. Studies in 2021 showed an increase in soil density, and in modern soils there is a tendency to acidify the upper part of the soil profile and, on the contrary, to alkalize its lower part. To identify factors of change in typomorphic characteristics, data from long-term observations (100 years) of climatic indicators were analyzed. A complex relationship has been identified between precipitation and moisture reserves in soils. A retrospective analysis showed high resistance to long-term agricultural use of the profile-forming process, which is explained by the constant climatic norm of soil formation, deep occurrence of groundwater, flat terrain, the presence of forest plantations and favorable climatic conditions. If the current trends in the amount and seasonal dynamics of precipitation continue, no significant changes in soil properties are predicted.

Keywords: indicators; potential fertility; climatic potential; soil-ecological monitoring polygon; retrospective monitoring.

ВВЕДЕНИЕ

Общепризнано, что длительному сельскохозяйственному использованию черноземов сопутствует ряд негативных изменений в составе и свойствах почв. В основном происходит уменьшение содержания гумуса, особенно в первые годы освоения, ухудшается структурное состояние почвы и развиваются эрозионные

процессы (Иванов, Лебедева, 2013; Кирюшин, 1996; Крупеников, 2008; Семенов, Когут, 2015; Холодов и др., 2019; Чевердин и др., 2015; Щеглов, 1995; Щербаков, 2000). Исследований в этой области много. Как правило, акцент в таких исследованиях делается на анализ изменений ограниченного числа почвенных параметров ($S_{орг.}$, pH, NPK, плотность сложения и др.) в пахотном слое на опытных полях. Их слабым местом является отсутствие четких временных интервалов изменений почвы и точной географической привязки объектов проведения мониторинга, а также недостаточная проработка методической базы подобных исследований. Комплексные работы на производственных участках единичны (Агроэкологическое состояние..., 1996; Афанасьева, 1980; Абакумов и др., 2009; Гурин и др., 2012; Приходько и др., 2024). Крайне редко проводится сопряженный анализ изменения климата за оцениваемый промежуток времени, что не позволяет оценить, насколько выявленные изменения отдельных свойств связаны с типоморфным процессом почвообразования или с отдельными элементарными почвенными процессами. Разрозненные данные о пространственно-временной изменчивости разных типов черноземов ограничивают возможности прогнозов последствий потепления климата и антропогенного воздействия на свойства почвы и своевременного принятия управленческих решений по сохранению плодородия.

Между тем именно типоморфные характеристики почв отражают структуру профилеобразующего процесса в конкретный момент времени, и, таким образом, являются индикаторами потенциального плодородия почв (Апарин, Сухачева, 2009).

Целью работы является исследование характера изменений типоморфных характеристик агрочернозема южного и факторов, определяющих их за последние 70 лет.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследование черноземов южных при сельскохозяйственном использовании проводилось в Волгоградской области на почвенно-геоморфологическом профиле (трансекте), заложенном на территории бывшего стационара АН СССР “Белые пруды” (Афанасьева, 1966; Афанасьева, 1980). Стационар был организован для

изучения лесорастительного потенциала почв на участке государственной лесополосы (ГЛП) “Пенза-Каменск”.

Стационар расположен на плоском участке дренированного водораздела р. Бузулук и р. Хопер. Характерными чертами климата территории являются продолжительное жаркое лето и холодная малоснежная зима с частыми оттепелями, а также резкий дефицит влаги в начале вегетационного периода, поздней весной и ранним летом (Сажин и др., 2017). Средняя испаряемость за теплый период близка к 800 мм при среднегодовой сумме осадков равной 437 мм, что обуславливает низкие значения коэффициента увлажнения – 0.57–0.58. (Афанасьева, 1980; Национальный атлас..., 2004). Сумма активных температур в среднем составляет 2 725 °С, а гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) колеблется от 0.5 до 1, что характерно для зоны засушливого земледелия (Карманов, Булгаков, 2012).

ГЛП была заложена в 1949 г. на старопашотных землях, на тот момент уже используемых в земледелии около 150 лет. Освоение земель началось в этом регионе в XVII в. Изначально применялась переложная система земледелия с чередованием: пшеница – рожь – залежь. В начале 30-х годов XX в. ее сменила традиционная трехпольная система. Современные севообороты района исследований – это зерно-паро-пропашные культуры с подсолнечником. Из зерновых преобладает озимая пшеница (Беляков, 2019). В последние годы также высевают рапс, гречиху, нут.

ГЛП в районе исследований представляет собой три параллельные ленты лесонасаждений (дубово-ясеновые) шириной по 60 м с расстоянием между ними в 300 м, занятых пашнями. В центре каждой лесополосы под двухлетними насаждениями Е.А. Афанасьевой в 1950 г. были заложены разрезы (210, 209, 211) и отобраны образцы до глубины 300 см. Расстояние между крайними разрезами составляет 720 м, а соседними 360 м. Образцы в воздушно-сухом состоянии хранились в стеклянных сосудах в фондах Центрального музея почвоведения им. В.В. Докучаева. Они входят в состав Биоресурсной коллекции почвенных монолитов и образцов музея, предназначенных для осуществления почвенно-экологического мониторинга (Мингареева, Захарова, 2024). Спустя 70 лет на пахотных почвах между лесополосами были за-

ложены разрезы (3.21 и 5.21) вне зоны непосредственного влияния лесонасаждения (рис. 1). Расстояние между этими разрезами также 360 м.

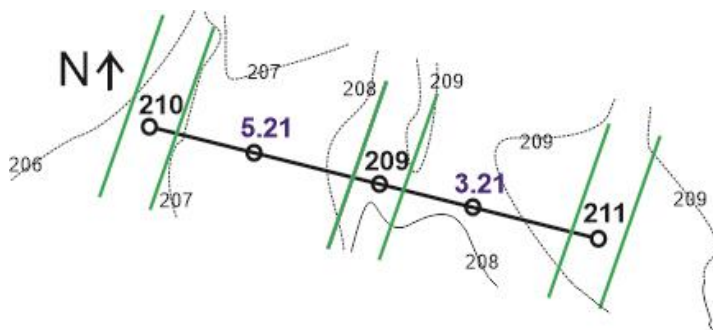


Рис. 1. Схема расположения разрезов по трансекте.
Fig. 1. Soil pits layout along the transect.

Аналитические исследования образцов почв 1950 и 2021 гг. проводились в соответствии с общепринятыми методами (Соколов, 1975; Воробьева, 2006; Растворова, 1983): гранулометрический состав (Воробьева, 2006) и агрегатный состав (метод сухого просеивания), реакция почвенного раствора (Растворова и др., 1995), содержание карбонатов (Растворова, 1983), плотность сложения (Растворова, 1983) и углерод органических соединений ($C_{орг.}$) (Воробьева, 2006) с последующим пересчетом на гумус.

Засоление почв оценивалось методом водной вытяжки 1 : 5 (Химический анализ..., 1998). Сумма токсичных солей ($\Sigma_{токс}$) рассчитывалась согласно принципам, изложенным в книге “Засоленные почвы России” (2006), определение химизма засоления – по ключу- определителю (Научные основы..., 2013). Оценка степени засоленности горизонта проводилась по суммарному содержанию токсичных солей в зависимости от химизма засоления (Егоров и др., 1977).

Сравнение почв разных сроков отбора проводилось по следующей схеме. Вначале давалась характеристика почв отдельно по годам, затем сравнивались характеристики почв разных сроков отбора.

В основу исследований положены представления о взаимосвязи типоморфных показателей почв, находящихся в климаксном состоянии, и об их отклонении, как индикаторов изменения факторов почвообразования (климата и растительности). За типоморфные признаки приняты: морфогенетические, физические и химические профили почв, сформировавшиеся в течение длительного процесса развития почвы при постоянной климатической норме почвообразования и зональном типе растительности (Апарин, Сухачева, 2019). В понятие типоморфных профилей почв в совокупности включается характеристика послойного изменения показателей и тип их изменчивости.

Для сравнения с характеристиками современных пахотных почв (р. 5.21 и р. 3.21) данные по почвам 1950 г. отбора образцов (р. 210, р. 209, р. 211) были приняты за исходные, так как в 1950 г. возраст лесопосадок не превышал 2 лет, и саженцы не могли оказать существенного влияния на почвы. Данные разреза 5.21 сравнивались с усредненными значениями характеристик разрезов 210 и 209, а разрез 3.21 – с усредненными показателями разрезов 209 и 211 (рис. 1).

В качестве основания для использования усредненных данных проводилась проверка различий между почвами 1950 г. отбора (р. 209, р. 210, р. 211) для слоев 0–30 и 0–260 см с помощью непараметрических критериев: U-критерий Манна–Уитни и H-критерий Краскела–Уоллиса. U-критерий позволяет сравнивать две независимые выборки, а H-критерий предназначен для проверки равенства медиан нескольких выборок и является обобщением U-критерия Манна–Уитни. Расчеты проводились на электронном портале: <https://www.statskingdom.com/>.

Расчет проводился по данным гранулометрического (фракции <0.001 и <0.01 мм) и агрегатного (по преобладающим фракциям >10 , $5-3$, $3-1$ мм, а также по суммарному содержанию фракций <1 мм) состава, так как данные свойства наиболее устойчивые. Расчет U-критерия Манна–Уитни не выявил разницы между содержанием фракций гранулометрического и агрегатного составов в парах р. 209–р. 210 и р. 209–р. 211 для глубин 0–30 и 0–260 см. H-критерий Краскела–Уоллиса показал, что существует незначительная разница в содержании рассматриваемых фракций грану-

лометрического и агрегатного составов между тремя почвами. Это дает основание для сравнения усредненных данных по почвам 1950 г. отбора с современными почвами.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Морфологическое строение

Исследуемые почвы сформировались на лёссовидных пылеватых глинах мощностью более 10 м и имеют типичное для агро-черноземов строение профиля: PU-AU-AB-CAT-C_{ca}.

По данным Е.А. Афанасьевой (Афанасьева, 1980), в 1950 г. почвы имели следующие характеристики морфологического строения: мощность гумусового горизонта в почвах трансекты варьировала от 75 до 80 см; нижняя граница горизонта – языковатая; верхняя граница вскипания проходила на глубине 25–30 см, а максимум карбонатов был приурочен к глубине 80–90 см. Новообразования на этой глубине были представлены белоглазкой и рассеянными карбонатами, а глубже 90 см – только карбонатами, находящимися в рассеянном состоянии. В описании почв 1950 г. отмечалось, что новообразования гипса морфологически не были выражены. Уровень грунтовых вод был ниже 7 м.

За 70 лет принципиальных изменений в морфологическом строении агрочерноземов не произошло. Некоторое варьирование мощности гумусового горизонта (до 10 см) может быть связано с пространственной неоднородностью. Отмечено обилие гумусовых кутан в средней части профиля (30–80 см). Ниже их количество резко уменьшается. На глубине 170 см выделяются мелкие кристаллы гипса.

Гранулометрический состав

Почвы всех исследованных разрезов (210, 209, 211, 5.21, 3.21) сформированы на однородной почвообразующей породе тяжелого гранулометрического состава. Среднее содержание физической глины (<0.01 мм) в образцах породы составило 73% (диапазон 71–73%), а илистой фракции (<0.001 мм) – 39% (диапазон 37–42%).

В верхней части профилей почв (слой 0–50 см) содержание фракций физической глины и ила меньше, чем в почвообразую-

шей породе, как в образцах 1950 г., так и 2021 г. (в среднем на 7%).

В почвах р. 210, р. 209, р. 211 в пахотном слое (0–20 см) четко выражено уменьшение доли фракции физической глины с запада на восток. В современной почве р. 5.21 (расположенной между западной и центральной лесополосами) содержание фракций физической глины в слое 0–20 см практически не отличается от почвообразующей породы, а по сравнению с усредненными данными почв р. 210 – р. 209 наблюдается более высокое ее содержание.

Агрегатный состав

В агрочерноземах 1950 г. отбора в слое 0–50 см преобладающими агрегатами так же, как и в почвообразующей породе, являются две фракции >10 и 3–1 мм. Их содержание в профиле изменяется в диапазоне 7–39% и 15–40% соответственно и носит асимметричный характер распределения по слоям (при увеличении одной фракции уменьшается содержание другой) в р. 210 и р. 209 и симметричный – в р.211. На глубине 30–40 и 40–50 см возрастает количество агрегатов 5–3 мм (до 18.7%). В почвах отмечается высокое содержание агрегатов <1 мм на глубине 0–20 см. Их суммарное количество в р. 210 и р. 211 превышает 41.5%, а в почве р. 209 – 20.5%.

По характеру изменения содержания фракций 1–0.25 и <0.25 мм профили агрочерноземов можно разделить по границе 40 см на 2 части. Верхняя часть – это область широкого варьирования содержания агрегатов 1–0.25 и <0.25 мм. В нижней части диапазон содержания фракций значительно сужается (рис. 2).

В современных образцах (р. 5.21 и р. 3.21) также преобладают фракции >10 и 3–1 мм при увеличении доли фракций 10–7 и 5–3 мм на глубине 10–30 см. Наибольшие изменения произошли в содержании микроагрегатов (<1 мм). Их количество значительно уменьшилось (<11%), слабо изменяясь по профилю. Исключением является слой 0–10 см в р. 3.21, где содержание микроагрегатов составляет 19.2% (рис. 2).

В почвах 1950 г. отбора образцов коэффициент структурности ($K_{стр.}$) свидетельствует о хорошем (1.1–1.4) и отличном агре-

гатном состоянии почв (1.7–5.9). В современной почве р. 5.21 структурное состояние незначительно ухудшилось в слое 0–20 см, а ниже практически не изменилось ($K_{стр.}$ 0.8–3.7). В р. 3.21 структурное состояние значительно улучшилось ($K_{стр.}$ 3.0–11.1) (рис. 3). На графике четко прослеживается деление профиля почв на две части по глубине 30–40 см.

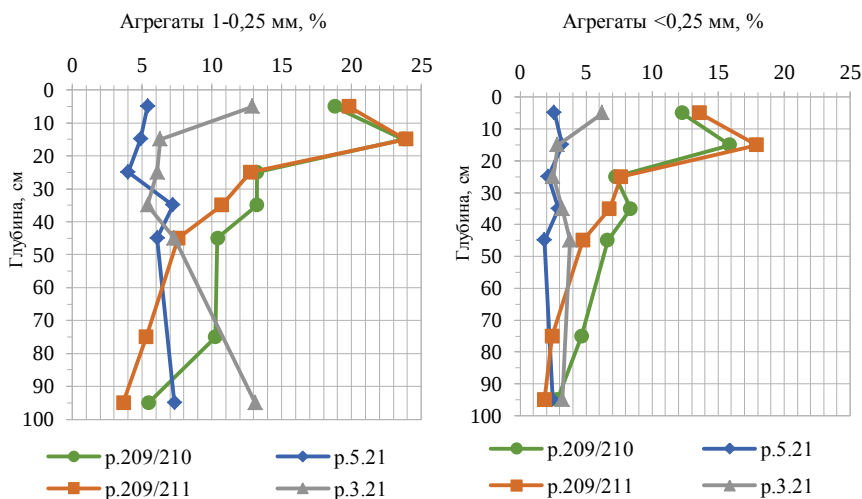


Рис. 2. Содержание микроагрегатов в профиле почв.

Fig. 2. The content of microaggregates in the profile of soils.

Плотность

По данным Е.А. Афанасьевой (Афанасьева, 1980), средние значения плотности сложения почв равномерно увеличиваются с 1.0 до 1.6 г/см³ в 1950 г. в верхних 100 см. Прогрессивное разуплотнение в профиле почв наблюдается с 60 см. Иной характер профильного распределения плотности наблюдается в современной почве. На глубине 10 см плотность резко возрастает до 1.50 г/см³. На глубине 40 см разница в плотности сложения между почвами разных сроков отбора становится минимальной и составляет 1.35 г/см³. Аналогичный ход изменения плотности сложения по глубине профиля отмечается в р. 5.21 (Гурин и др., 2012).

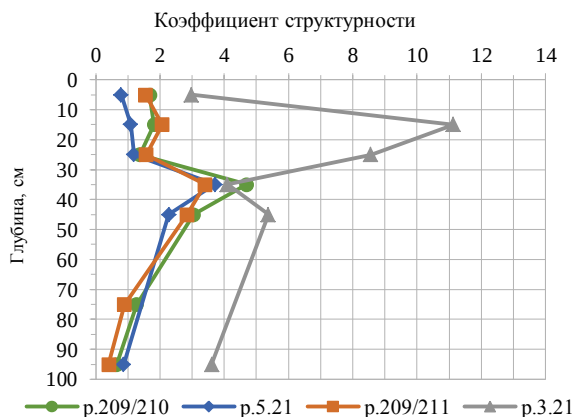


Рис. 3. Коэффициент структурности почв.

Fig. 3. Coefficient of soil structure.

Содержание гумуса

Мощность гумусового профиля, за нижнюю границу которого принято содержание гумуса 2% (Афанасьева, 1980; Пономарева, Плотникова, 1974), находится в диапазоне 60–65 см. По характеру изменения содержания гумуса по глубине агрочерноземы относятся к типу профиля убывающий малогумусный среднеглубокий (Апарин и др., 2024).

Гумусовый профиль почв 2021 г. отбора образцов идентичен профилю 1950 г. (рис. 4). Сравнительный анализ содержания гумуса по глубине в почвах разных сроков отбора образцов показал, что глубина усредненных профилей практически не изменилась. Отмечено незначительное уменьшение мощности гумусового профиля разреза 3.21. Четко выраженных закономерностей изменения содержания гумуса в слое 20–40 см по глубине разных сроков отбора образцов не наблюдается. В слое 0–10 см содержание гумуса практически одинаково во всех образцах. Можно отметить более значительное уменьшение содержания гумуса в слое 10–20 см по сравнению с почвами 1950 г. отбора образцов.

Содержание гумуса в верхней части корнеобитаемого слоя (0–30 см), где сосредоточена основная масса корней культурных

растений, изменяется в интервале 4.0–5.2%, равномерно уменьшаясь по слоям.

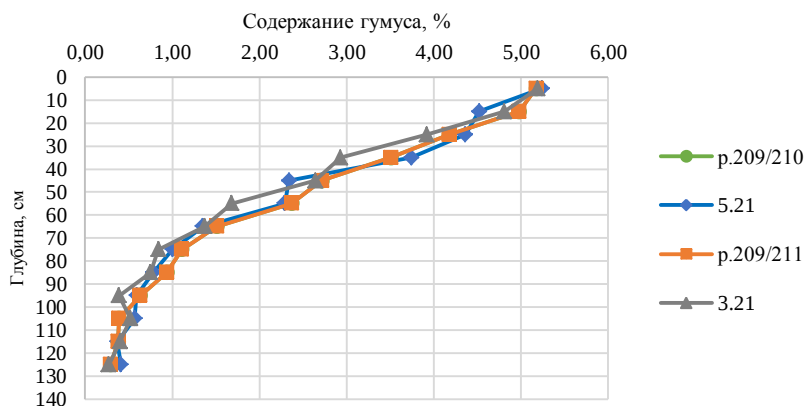


Рис. 4. Динамика содержания гумуса в почвах.

Fig. 4. Dynamics of humus content in soils.

В современный период на данной территории ввиду высокого сельскохозяйственного освоения отсутствуют участки с целинными черноземами, поэтому для сравнения был взят чернозем целинного участка полигона почвенно-экологического мониторинга “Козловский” однотипный по факторам почвообразования (Апарин и др., 2024). Запасы гумуса в слое 0–20 см практически одинаковы: для целинной – 139.8 т/га, а по усредненным данным трех разрезов 1950 г. при плотности 1.3 г/см^3 – 131.9 т/га.

Реакция среды

График изменения реакции среды исследованных почв в 1950 г. можно разделить на 2 части (рис. 5). В верхней части (0–60 см) pH варьирует в диапазоне 6.8–8Я.3, причем в разрезах 210 и 211 наблюдается небольшое подкисление в слое 10–20 см и заметное подщелачивание в слое 30–50 см в разрезах 209 и 210.

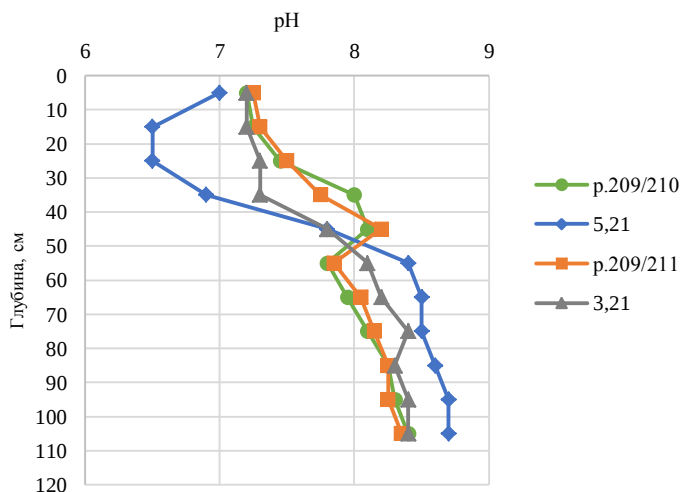


Рис. 5. Кислотно-щелочной профиль почв (диапазон pH 6–7.5 – оптимум для пшеницы).

Fig. 5. Soil pH profile (pH range 6–7.5 – optimal for wheat).

В нижней части профиля (глубже 60 см) во всех разрезах заметно постепенное повышение pH. В целом кислотно-щелочной профиль 1950 г. отбора образцов имеет S-образный характер с четко выраженным максимумом pH на глубине 40–50 см. Наблюдается тенденция снижения в пахотном слое величины pH.

Реакция среды в образцах почв 2021 г. отбора, при сохранении S-образной формы профиля pH, существенно различается (рис. 5). По сравнению с 1950 г. наблюдается снижение границы pH со значением 7,3 на 20 см. С глубины 50 см значения pH увеличиваются. Наибольший диапазон изменений pH наблюдается в почве разреза 5.21 (рис. 5).

Карбонаты

Карбонатные новообразования во всех разрезах появляются с глубины 20–30 см, однако по характеру изменения в содержании карбонатов все профили разделяются на 2 части на отметке 60–70 см (рис. 6). В верхней части до 50 см изменения содержания

карбонатов носят линейный характер, прогрессивно увеличиваясь с глубиной. Далее с глубины 70 см характер изменения содержания карбонатов существенно различается по сравнению с образцами 1950 г.

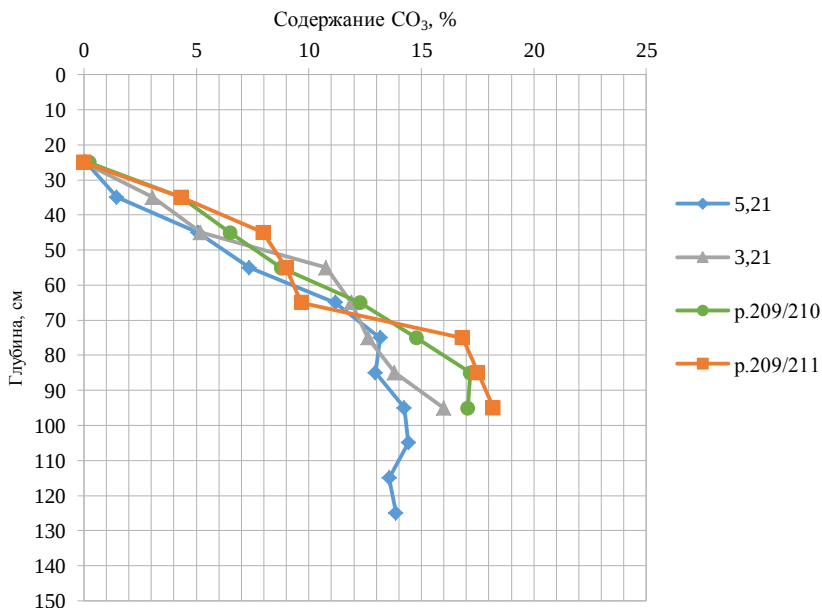


Рис. 6. Содержание карбонатов в почвах.

Fig. 6. Carbonate content in soils.

По содержанию карбонатов в образцах 1950 г. хорошо выражены максимумы на глубине 80 см. В современных почвах содержание карбонатов уменьшается с 8–9% до 5.5–6% и отсутствует зона их аккумуляции.

Обменные основания

Сумма обменных оснований в исследуемых агрочерноземах 1950 г. отбора образцов изменяется в диапазоне 30.4–36.2 смоль/кг в слое 0–50 см, что соответствует литературным данным (Дегтярева, 1979). Характер изменения содержания обменных основа-

ний по глубине прогрессивно-аккумулятивный (рис. 7). Разница в их количестве составляет меньше 3 единиц. Спустя 70 лет содержание обменных оснований осталось в том же диапазоне, за исключением р. 3.21, в котором на глубине 0–10 см обменных оснований на 2 единицы больше. Характер профильного распределения обменных оснований в р. 5.21 не изменился, а в р. 3.21 стал регрессивно-аккумулятивный.

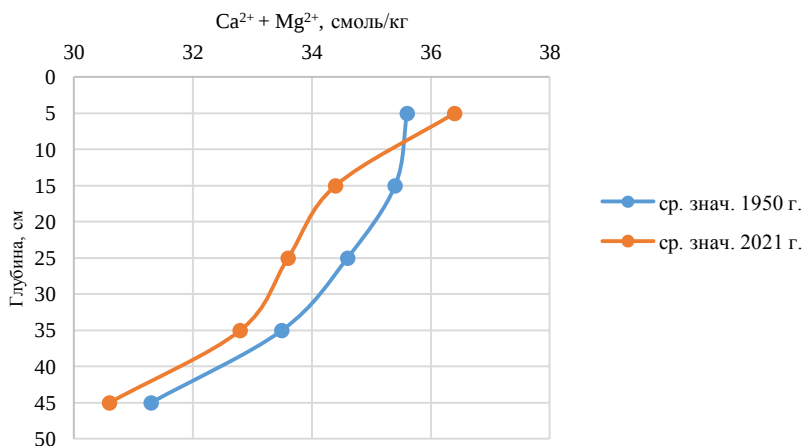


Рис. 7. Средние значения суммы обменных оснований в почвах.

Fig. 7. Average values of the sum of exchange bases in soils.

Легкорастворимые соли

Все профили агрочерноземов в 1950 г. (р. 209, 210, 211) можно разделить на четыре зоны по содержанию и характеру распределения легкорастворимых солей (рис. 8). Первая часть (0–80 (100) см) характеризуется отсутствием или очень низким засолением ($\Sigma_{\text{токс}} \leq 0.03\%$). Вторая часть (80 (100) – 140 (170) см) отличается слабым содовым засолением ($\Sigma_{\text{токс}} \leq 0.14\%$). По глубине залегания первого от поверхности засоленного горизонта почвы характеризуются как глубокосолончаковатые (Егоров и др., 1977).

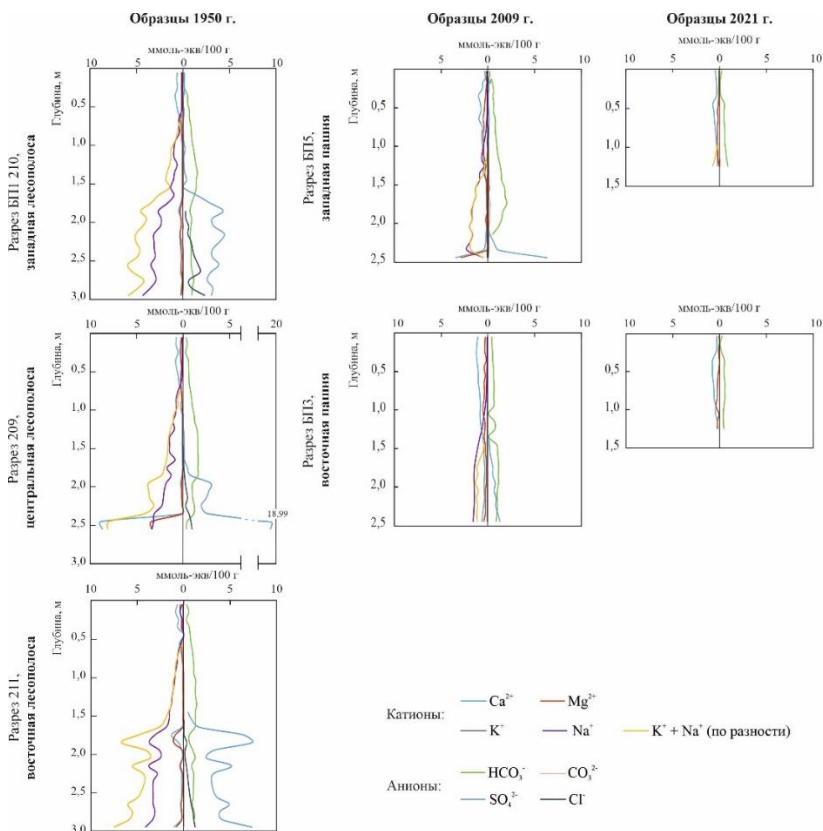


Рис. 8. Солевые профили почв разных сроков отбора образцов.

Fig. 8. Salinity profiles of soils at different sampling periods.

В пределах этих двух частей различия в химизме не существенны. В слое ниже глубины 140 (170 см) степень засоления преимущественно средняя, химизм засоления сменяется на содово-сульфатный и сульфатный с участием соды ($\Sigma_{\text{токс}} \leq 0.38\%$). В большинстве образцов доля токсичной щелочности не превышает 20% от суммы анионов. В разрезах 211 и 210 с глубины 220 (270) см выделяется четвертый слой. Химизм засоления в нем хлоридно-сульфатный с участием соды ($\Sigma_{\text{токс}} \leq 0.37\%$), степень

засоления средняя. В разрезе 209 на этой глубине отмечено сильное сульфатное засоление ($\Sigma_{\text{токс}} = 1.05\text{--}1.06\%$).

В современных почвах солевые профили изучались в 2009 и 2021 гг. Исследования 2009 г. показали, что суммарное количество солей в толще до 2.5 м уменьшилось. В слое 130–220 см наблюдается содовое засоление ($\Sigma_{\text{токс}} = 0.07\text{--}0.19\%$). В слое 220–240 см химизм солей меняется на сульфатно- содовый, сумма токсичных солей близка к порогу токсичности ($\Sigma_{\text{токс}} = 0.15\text{--}0.16\%$). В слое 240–250 см содержание сульфатов хотя и резко возрастает, но засоление слабое ($\Sigma_{\text{токс}} = 0.21\%$). Почва на восточной пашне (р. 3.21) не засолена.

В 2021 г. содержание легкорастворимых солей еще более уменьшилось по сравнению с 2009 г. Почвы обоих разрезов являются незасоленными в верхнем метровом слое. На глубине 110–130 см в р. 5.21 содержание ЛРС превышает порог токсичности ($\Sigma_{\text{токс}} = 0.05\text{--}0.06\%$, засоление содовое). В р. 3.21 содержание солей до глубины 1.3 м незначительно ($\Sigma_{\text{токс}} \leq 0.02\%$).

Анализ изменений типоморфных характеристик агрочерноземов

Материалы исследований выявили разноплановое среднесрочное изменение типоморфных характеристик черноземов южных при сельскохозяйственном использовании.

Выявлено, что в слое 0–10 см практически нет изменений (рис. 4–6). За последние 70 лет в морфологическом строении почв не произошло существенных изменений. Незначительные колебания мощности гумусовых горизонтов можно объяснить отсутствием четких критериев выделения нижней границы при сильной языковатости. В профиле сохранились важные диагностические признаки естественных почв – кутаны и белоглазка. Индикаторов подъема уровня грунтовых вод (капиллярная кайма) в почвах не обнаружено.

Достоверных различий в гранулометрическом составе рассмотренных образцов почв также не установлено. Можно говорить о тенденции к увеличению содержания пылеватых частиц в пахотных почвах межполосных пространств ГЛП. Это может быть связано с ослаблением несущей способности ветра центральными

и восточными лесополосами и осаждением мелких частиц. Косвенным подтверждением этого может быть наличие ^{137}Cs в поверхностных слоях современных пахотных и лесных почв на трансекте (Апарин и др., 2017).

Структура пахотного горизонта, по сравнению с вариантом под степной растительностью, нарушена. В агрегатном составе появляется глыбистость на первом уровне. Наиболее существенным изменением является уменьшение содержания в пахотном горизонте микроагрегатов (< 1.0 мм). Возможной причиной этого является применение в настоящее время поверхностной обработки почвы вместо плужной. Вместе с тем уменьшение доли микроагрегатов ниже пахотного горизонта говорит о том, что процесс перерепарганизации агрегатного состава во времени более сложен, и его нельзя свести только к влиянию механической обработки почвы (Апарин, Мингареева, 2024).

Исследования выявили заметное уплотнение почвы в 2021 г., кроме слоя 0–10 см, что является следствием обработки почвы тяжелой сельскохозяйственной техникой. В то же время это противоречит значениям коэффициентов структурности почвы, который находился в оптимальном интервале в разные периоды исследования. Данный вопрос нуждается в дополнительном исследовании.

Тип гумусового профиля (убывающий малогумусный среднеглубокий) за 70 лет не изменился. При этом в средней части профиля выявлено небольшое изменение в содержании гумуса (рис. 9). По данным распределения содержания гумуса в профилях почв 1950 г. (среднее по р. 209, 210, 211), в пределах верхнего полуметра снижение происходит равномерно и описывается линейным уравнением вида: $y = -6.141x + 5.6612$ (коэффициент детерминации $R^2 = 0.98$). В средней части профиля ход уменьшения содержания гумуса приобретает нелинейный характер. Наиболее точно оно описывается степенной функцией вида: $y = 0.5241x^{-2.57}$, $R^2 = 0.98$.

Профильное распределение гумуса в пахотных почвах в 2021 г. (среднее по р. 5.21, 3.21) подчиняется схожим закономерностям (рис. 9). В слое 0–55 см уменьшение содержания гумуса с глубиной описывается линейной зависимостью, а глубже измене-

ние описывается степенной функцией.

Сравнение линий аппроксимации демонстрирует незначительные отличия между гумусовыми профилями в 1950 и 2021 гг. Наблюдается средняя нелинейная взаимосвязь между содержанием гумуса и значениями суммы обменных оснований. С уменьшением содержания гумуса уменьшаются значения суммы обменных оснований.

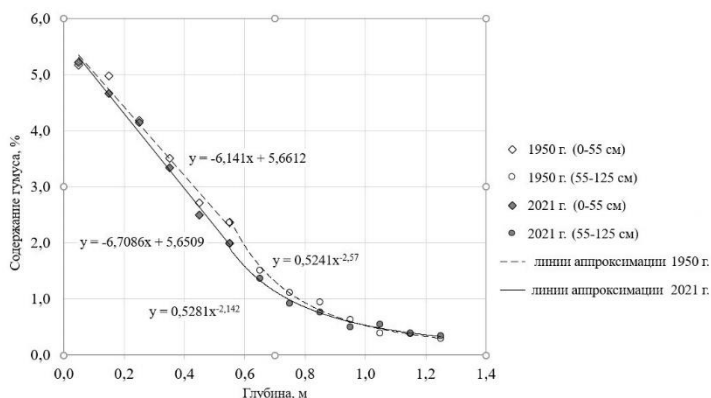


Рис. 9. Изменение содержания гумуса с глубиной в пахотных почвах (усредненные значения).

Fig. 9. Changes in humus content with depth in arable soils (averaged values).

Кислотно-щелочной профиль почвы 2021 г., по сравнению с 1950 г., существенно изменился при сохранении двучленного строения. В верхней части профиля (0–40 см) реакция среды сместилась со щелочной в более кислый диапазон в р. 5.21 и ближе к нейтральным значениям в р. 3.21. Напротив, в нижней части профиля произошло заметное увеличение рН (до 0.5 единиц). Подкисление почвы возможно связано с внесением физиологически кислых удобрений.

Профильное изменение содержания карбонатов можно приближенно описать возрастающей логарифмической функцией (рис. 10). В 1950 г. уравнение зависимости имеет вид:

$y = 14.291\ln(x) + 18.567$, коэффициент детерминации $R^2 = 0.97$. В 2021 г. изменения характеризуются уравнением: $y = 12.025\ln(x) + 15.838$, $R^2 = 0.98$. Сравнение линий трендов показывает более значительный рост содержания карбонатов с глубиной в 1950 г. по сравнению с 2021 г.

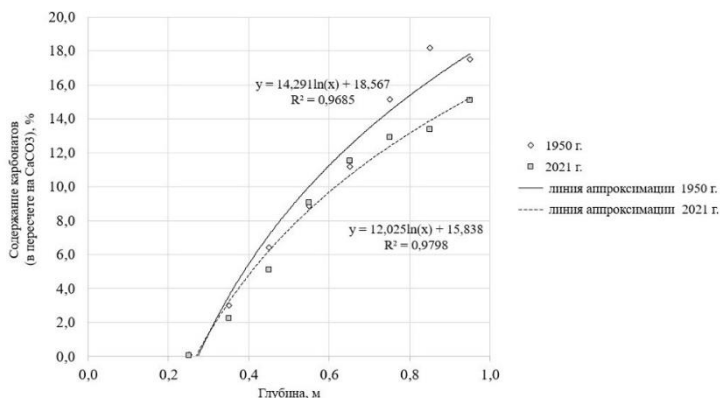


Рис. 10. Изменение среднего содержания карбонатов с глубиной по данным 1950 и 2021 гг. Аппроксимация функцией вида $y = a \cdot \ln(x) + b$, где y – содержание карбонатов (в пересчете на CaCO_3 , %), x – глубина отбора образца (м).

Fig. 10. Change in the content of carbonates with depth according to 1950 and 2021. Approximation by function of $y = a \cdot \ln(x) + b$, where y is the carbonate content (calculated on CaCO_3 , %), x is the sample depth (m).

Анализ кислотно-щелочного и карбонатного профилей показал, что снижению содержания карбонатов в верхней части профиля сопутствует снижение величины pH. В нижней части профиля такой связи нет, напротив, содержание карбонатов уменьшается, а величина pH возрастает. Вероятно, более щелочная реакция в нижней части профиля связана со слабым содовым засолением.

Характерной особенностью солевого профиля всех почв в различные периоды наблюдений является постепенное возраста-

ние содержания легкорастворимых солей с глубиной при их общем незначительном количестве в верхней 1.5- метровой толще. Глубже химизм засоления преимущественно содовый. В глубоких слоях в составе солей доминируют сульфаты. Наблюдается четкая тенденция к выщелачиванию солей за 70- летний период сельскохозяйственного использования.

Анализ факторов изменения типоморфных характеристик почв за 70 лет

Для выявления причин среднесрочных изменений типоморфных характеристик агрочерноземов был проведен анализ факторов, которые могли оказать значимое воздействие на почвы. Все факторы среднесрочного изменения типоморфных характеристик разделены на 2 группы: антропогенные и естественные (климатические). Прежде всего были проанализированы тренды климатических показателей как одна из возможных причин временной изменчивости типоморфных характеристик почв. Их анализ важен в двух аспектах. Во-первых, с ними связана климатическая норма почвообразования и, следовательно, потенциальное плодородие почв, а также водный и тепловой режимы почв, обуславливающие актуальное плодородие (Апарин, 1997). Во-вторых, анализ трендов служит основанием для выявления долгосрочных изменений климатических показателей и позволяет делать прогноз типоморфных характеристик на ближайшее будущее.

С этой целью был проведен анализ рядов многолетней изменчивости среднегодовых температур воздуха и годовых сумм осадков за период с 1900 по 2022 гг. по данным метеостанции Рудня, ближайшей к “Белым прудам” (Погода и климат..., <http://www.pogodaiklimat.ru/history/34262.htm>). Многолетние среднегодовые показатели температуры воздуха составили 6.37 ± 0.22 °C (коэффициент вариации 19.3%), а сумма осадков – 437 ± 15 мм (коэффициент вариации 19.4%). Рассмотренные ряды были поделены на два периода: первый, предшествующий началу исследований (до 1950-го г.) и второй период с 1950 по 2022 гг. (рис. 11). В рассматриваемых периодах наблюдаются циклические колебания как средних годовых температур воздуха, так и годо-

вых сумм осадков, определяющие погодные условия в вегетационный период.

До 1950-го г. в циклах колебания температуры воздуха преобладали серии с отрицательными отклонениями – 58%, тогда как серии с положительными отклонениями составляли лишь 9%.

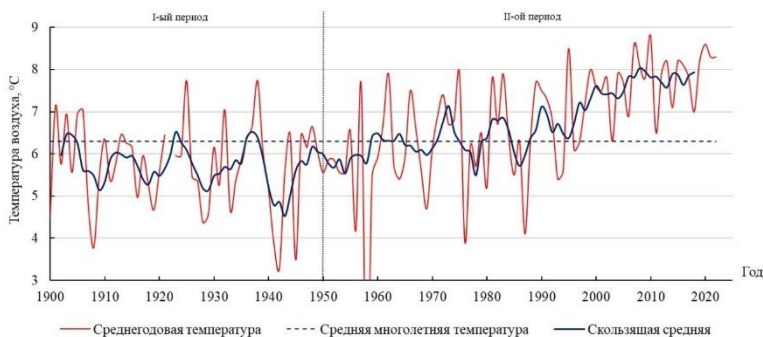


Рис. 11. Многолетняя изменчивость средней годовой температуры воздуха за период с 1900 г. по 2022 г. по данным метеостанции Рудня.

Fig. 11. Multiyear variability of mean annual air temperature for the period from 1900 to 2022 according to the data of Rudnya meteorological station.

Такие данные позволяют охарактеризовать этот период как условно холодный. Среднее отклонение от многолетней среднегодовой температуры воздуха в 1900–1950 гг. составило 0.89 ± 0.22 °С. С 1950-го г. начинается и продолжается в настоящее время условно теплый период с преобладанием серий с положительными отклонениями (60.6%). Среднее отклонение от многолетней среднегодовой температуры воздуха в 1950–2022 гг. составило 1.13 ± 0.22 °С. Четко выделяется в представленном ряду (рис. 11) серия лет с положительными отклонениями, начавшаяся в 1995-ом г. За последние 28 лет наблюдений не было зафиксировано падения температуры ниже многолетней средней как в холодное, так и в теплое полугодие.

В ряду изменчивости годовых сумм осадков (рис. 12) также могут быть выделены короткие серии с продолжительностью

1–3 года, которые объединяются в циклы с длительностью от 2 до 7 лет с преобладанием 4-летних. С 1900 по 2022 гг. количество циклов с отрицательными отклонениями составило 48.31%, с положительными – 41.53%. Смена сухих и влажных лет происходит постоянно (со средней периодичностью в 2–4 года). В ряду многолетней изменчивости осадков продолжительные периоды с преобладанием положительных или отрицательных отклонений не выражены.

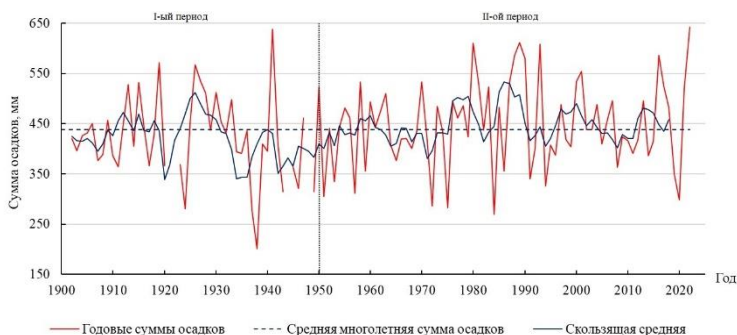


Рис. 12. Многолетняя изменчивость годовой суммы осадков за период с 1900 г. по 2022 г. по данным метеостанции Рудня.

Fig. 12. Multiyear variability of annual precipitation for the period from 1900 to 2022 according to the data of Rudnya meteorological station.

В формировании типоморфных характеристик почв определяющее значение имеет климатическая норма почвообразования (Апарин, Сухачева, 2019). Исследуемый период, начиная с 1901 г., может быть разделен на 4 климатические нормы. За стандартную климатическую норму принимаются средние климатические показатели за 30-летний период (Руководящие указания..., 2017).

Как следует из таблицы 1, профилеобразующий процесс с 1900 по 1950 гг. протекал практически при неизменной климатической норме температуры воздуха. Период после 1950-го года в большей степени характеризуется двумя последними тридцатилетиями, для которых отмечается постепенное возрастание климатической нормы температуры воздуха (табл. 1). Наиболее значи-

тельный рост температур отмечен в январе и феврале (на 2.7 °С и 3.8 °С по сравнению с началом периода исследований). В вегетационный период рост температуры незначительный.

Таблица 1. Среднемесячные и среднегодовые температуры воздуха (°С) по 30-летиям

Table 1. Average monthly and average annual air temperatures (°C) for 30-year periods

Период	январ.	фев.	март	апр.	май	июнь	июль
1901–1930	-9.4	-10.5	-4.3	6.6	14.7	18.8	19.7
1931–1960	-10.4	-10.6	-4.4	7.2	14.7	18.7	19.7
1961–1990	-9.5	-9.2	-2.9	8.3	15.9	19.8	21.6
1991–2020	-6.7	-6.7	-0.9	8.8	15.9	19.9	22.0
Период	авг.	сен.	окт.	нояб.	дек.	год	
1901–1930	18.7	12.6	5.5	-1.0	-7.0	5.8	
1931–1960	19.2	13.1	6.0	-1.8	-6.9	5.7	
1961–1990	19.9	13.7	6.0	-0.6	-6.1	6.4	
1991–2020	20.7	14.1	7.4	0.3	-5.0	7.5	

Климатическая норма среднегодовых сумм осадков (табл. 2) за весь период наблюдений изменяется в узком диапазоне. Наибольших изменений достигают суммы осадков для зимних месяцев.

Данные наблюдения Е.А. Афанасьевой показали, что прямой связи между динамикой продуктивных влагозапасов почвы с осадками текущего вегетационного периода нет. Оценка процессов, определяющих частоту, глубину и период промачивания почв, должна осуществляться с учетом осадков предшествующего вегетационного периода и цикличности их изменения. Для оценки связи осадков, выпадающих в течение года, с динамикой почвенной влаги были проанализированы данные об изменении элементов баланса почвенной влаги на пашне за 3 года, полученные на

станции «Белые пруды» в 1950–1952 гг. (Афанасьева, 1980) (табл. 3).

Таблица 2. Среднемесячные и среднегодовые суммы осадков (мм) по 30-летиям

Table 2. Average monthly and average annual precipitation (mm) for 30-year periods

Период	январь	фев.	март	апр.	май	июнь	июль
1901–1930	29	21	23	20	21	37	28
1931–1960	28	23	20	28	35	44	42
1961–1990	39	25	25	29	36	50	47
1991–2020	41	26	31	32	32	42	31
Период	авг.	сентяб.	окт.	нояб.	декаб.	год	
1901–1930	20	37	31	40	42	439	
1931–1960	42	33	36	32	31	407	
1961–1990	43	41	31	44	42	457	
1991–2020	24	40	30	39	40	438	

Период наблюдений за водным балансом попадает в короткий 3-летний цикл, в котором 1950 г. может быть охарактеризован как влажный, так как годовая сумма осадков в этот год превысила многолетнюю среднюю на 84 мм. Следующий 1951 г. был сухим (годовая сумма осадков ниже многолетней средней на 105 мм), а 1952 г. – нейтральным (годовая сумма осадков близка к многолетней средней).

Анализ данных таблицы 3 показал, что наибольший весенний влагозапас наблюдался в 1951 г. после предшествующего влажного 1950 г. – весенний влагозапас в слое 0–50 см превысил НВ практически на 25%. Это, вероятно, связано с обильными позднелетними осадками и наименьшим за период наблюдений осенним дефицитом влаги, зафиксированным в 1950 г. Вегетационный сезон 1951 г. был относительно засушливым, что проявилось в значительных расходах влаги из почвенного влагозапаса. Позднелетние осадки в 1951 г. также не были обильными, и это

предопределило низкие значения весеннего влагозапаса в последний год наблюдений. Значения осеннего дефицита влаги в 1952 г. превысили таковые во все предшествующие годы наблюдений, несмотря на то что в летние месяцы наблюдались относительно обильные осадки. Засушливость вегетационного сезона и низкие значения коэффициента увлажнения приводят к тому, что осадки, выпадающие с мая по август, расходуются исключительно на транспирацию растений и, как правило, не проникают в почву глубже 50 см (Афанасьева, 1980).

Таблица 3. Осадки и элементы баланса влаги (мм) в слое почвы 0–50 см (по Афанасьевой, 1980)

Table 3. Precipitation and moisture balance elements (mm) in the soil layer 0–50 cm (according to Afanasyeva, 1980)

Год	ПЗВ	ВЗВ	ОЗВ	РВЗ	РВС	ОДВ	НВ	ВЗ
1950	81	175	103	72	343	72	175	80
1951	17	220	95	125	205	80		
1952	80	175	84	91	316	91		
Год	Осадки май–август		Осадки сентябрь–ноябрь			Годовая сумма осадков		
1950	212		180			522		
1951	148		83			305		
1952	263		91			441		

Примечание. ПЗВ – весеннее приращение запаса влаги, ВЗВ – весенний запас влаги, ОЗВ – осенний запас влаги, РВЗ – расход влаги из почвенного запаса, РВС – суммарный расход влаги, ОДВ – осенний дефицит влаги, НВ – наименьшая влагоемкость, ВЗ – влажность завядания.

Note. ПЗВ – spring increase in moisture reserve, ВЗВ – spring moisture reserve, ОЗВ – autumn moisture reserve, РВЗ – moisture consumption from the soil reserve, РВС – total moisture consumption, ОДВ – autumn moisture deficit, НВ – lowest moisture capacity, ВЗ – curl moisture.

Таким образом, осадки активного периода вегетации растений не вносят вклад в пополнение почвенных влагозапасов и могут быть определены как малоэффективные при оценке глубины промачивания почвы. Наиболее значимыми осадками, вносящими значительный вклад в пополнение весенних влагозапасов, являются осенние осадки (сентябрь – ноябрь), которые восполняют дефицит влаги, образующийся в конце предшествующего вегетационного сезона.

Климатическая норма осадков осеннего периода за последние 70 лет мало изменилась (табл. 2). Сохраняется четкая тенденция к частым сменам коротких серий – сухих и влажных.

Исходя из этих данных, можно предположить, что в ближайшем будущем изменения элементов баланса почвенной влаги будут соответствовать тенденциям, отмеченным Е.А. Афанасьевой в 1950–1952 гг. (Афанасьева, 1980). Можно ожидать, что в весенний период будет происходить максимальное промачивание почв, вынос карбонатов и легкорастворимых солей и других продуктов почвообразования до нижних горизонтов профиля. Наиболее частому промачиванию подвергается лишь самый верхний слой почвы, что и подтверждается материалами исследований.

Таким образом, анализ 120-летнего периода наблюдения за метеоэлементами (осадки и температура воздуха) выявил устойчивость климатической нормы, что стало главным фактором слабого изменения типоморфных характеристик, оставшихся в пределах параметров типа южного чернозема.

Среди антропогенных факторов временной изменчивости типоморфных характеристик выделены прямые и косвенные. К прямым были отнесены: регулярная механическая обработка почвы, изъятие из биологического круговорота вещества части растениеводческой продукции, внесение физиологически кислых химических удобрений. С последними связано подкисление почв, выявленное по данным исследования образцов 2021 г. отбора.

Косвенное антропогенное воздействие на почвы проявилось после создания ГЛП “Пенза-Каменск”. Произошло изменение гидрологического режима водораздельных территорий и ослабление дефляции под влиянием искусственного лесонасаждения (Афанасьева, 1980).

Длительное сельскохозяйственное использование не привело к преобразованию гумусово-аккумулятивного (черноземного) профилеобразующего процесса. В течение последующих 70 лет характер и степень прямого антропогенного воздействия существенно не изменились. С созданием полезащитных лесонасаждений и по мере роста деревьев возрастающее влияние на почвы стали оказывать лесополосы. К 2021 г. лесонасаждения достигли зрелости и, очевидно, максимального экологического эффекта по защите агроэкосистемы: ослабление воздействия на почву восточных ветров (суховеев), и за счет этого уменьшение испаряемости, увеличилось поступление влаги в почвы за счет снегозадержания. С этим связано более частое и глубокое промачивание почв. Индикатором этого явилось уменьшение за 70 лет содержание легкорастворимых солей в профиле и уменьшение содержания карбонатов.

Почвенно-зоологические исследования на трансекте выявили низкое видовое разнообразие и невысокую среднюю плотность макропедофауны (18.5 экз./м^2) в пахотных почвах по сравнению с лесными почвами. Оказалось, что основу почвенного населения пахотных почв составляют фитофаги, среди которых преобладают насекомые (Пятин, 2024). В связи с этим можно предполагать, что лесополосы, ставшие важным элементом агроэкосистем, будут фактором увеличения естественного биоразнообразия макропедофауны и его сохранения.

ВЫВОДЫ

Данные ретроспективного мониторинга, базирующиеся на точной пространственно-временной привязке образцов агрочерноземов, показали высокую устойчивость гумусово-аккумулятивного процесса почвообразования к длительному сельскохозяйственному использованию. Условиями для этого являются неизменность климатической нормы почвообразования, плоскоравнинный рельеф дренированного водораздела, почвозащитная роль искусственных лесонасаждений. Также следует отметить отсутствие негативных форм воздействия сельскохозяйственной деятельности на почвы. При сохранении характера колебаний годовых сумм осадков и температуры в пределах климати-

ческой нормы в ближайшие годы не произойдет существенных сдвигов в типоморфных характеристиках южных черноземов, используемых в сельскохозяйственном производстве, а, следовательно, его потенциального плодородия.

Исследования подтвердили, что типоморфные характеристики (морфогенетический, физический, химический профиль) являются хорошими индикаторами профилообразующего процесса. Принимая во внимание наличие обширных материалов комплексных исследований временной изменчивости агрочерноземов на бывшем стационаре АН СССР “Белые пруды” можно рекомендовать его использовать в качестве полигона долгосрочного почвенно-экологического мониторинга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абакумов Е.В., Апарин Б.Ф., Лапенис А., Косаки Т. Изменение органического вещества типичного чернозема за 30 лет на основе изучения почвенного монолита // Вестник СПбГУ. Сер. 3. Вып. 2. 2009. С. 113–123.
2. Агрохимические методы исследования почв / под ред. А.В. Соколова. М.: Наука, 1975. 656 с.
3. Агроэкологическое состояние черноземов ЦЧО / под ред. А.П. Щербакова, И.И. Васенева. Курск, 1996. 380 с.
4. Апарин Б.Ф. Эволюционные модели плодородия почв. СПб.: Издательство Санкт-Петербургского университета, 1997. 292 с.
5. Апарин Б.Ф., Мингареева Е.В. Среднесрочные изменения агрегатного состава чернозема южного под влиянием лесонасаждений государственной лесополосы Пенза-Каменск // Известия Нижегородского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 1 (73). С. 31–42.
6. Апарин Б.Ф., Мингареева Е.В., Санжарова Н.И., Сухачева Е.Ю. Содержание радионуклидов (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs) в черноземах Волгоградской области разных сроков отбора образцов // Почвоведение. 2017. № 12. С. 1457–1467.
7. Апарин Б.Ф., Сухачева Е.Ю. Изменение ресурсного потенциала почв при разных уровнях антропогенного воздействия и глобального изменения климата // Современные проблемы изучения почвенных и земельных ресурсов: Сборник докладов Третьей Всероссийской открытой конференции. М.: Почвенный институт имени В.В. Докучаева, 2019. С. 225–231.

8. *Апарин Б.Ф., Сухачева Е.Ю.* Эволюция почв и почвенного покрова мелиорированных земель. СПб: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2009. 265 с.
9. *Афанасьева Е.А.* Водно-солевой режим обыкновенных и южных черноземов юго-востока Европейской части СССР. М.: Наука, 1980. 216 с.
10. *Афанасьева Е.А.* Черноземы среднерусской возвышенности. М.: Наука, 1966. 224 с.
11. *Апарин Б.Ф., Сухачева Е.Ю., Захарова М.К.* Влияние массивного полезайтнго лесонасаждения на содержание и запасы гумуса в черноземах // Почвоведение. 2024. № 12. С. 1785–1799. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X24120087>.
12. *Беляков А.М.* Резервы роста производства зерна в Волгоградской области // Научно-агрономический журнал. 2019. № 2 (105). С. 27–29.
13. *Воробьева Л.А.* Теория и практика химического анализа почв. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
14. *Гурин П.Д., Апарин Б.Ф., Сухачева Е.Ю.* Влияние лесопосадок и длительного сельскохозяйственного использования на свойства южных черноземов // Вестник СПбГУ. Сер. 3. 2012. Вып. 2. С. 109–119.
15. Деградация и охрана почв / Под общей ред. акад. РАН Г.В. Добровольского. М.: Изд-во МГУ, 2002. 654 с.
16. *Дегтярева Е.Т., Жулидова А.Н.* Почвы Волгоградской области. Волгоград: Нижне-Волжское книжное издательство, 1979. 321 с.
17. *Егоров В.В., Иванова Е.Н., Фридланд В.М.* Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 221 с.
18. Засоленные почвы России / отв. ред. Л.Л. Шишов, Е.И. Панкова. М.: Академкнига, 2006. 853 с.
19. *Иванов А.Л., Лебедева И.И., Гребенников А.М.* Факторы и условия антропогенной трансформации черноземов, методология изучения эволюции почвообразования // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2013. Вып. 72. С. 26–46. DOI: <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2013-72-26-46>.
20. *Карманов И.И., Булгаков Д.С.* Методика почвенно-агроклиматической оценки пахотных земель для кадастра. М.: ГНУ Почвенный ин-т им В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2012. 119 с.
21. *Кирюшин В.И.* Экологические основы земледелия. М.: КолосС, 1996. 368 с.
22. *Крупеников И.А.* Черноземы. Возникновение, совершенство, трагедия, деградации, пути охраны и возрождения. Кишинев: Pontos, 2008. 285 с.
23. *Мингареева Е.В., Захарова М.К.* Использование биоресурсной коллекции почвенных монолитов и образцов как основы ретроспективного мониторинга // Почвы – опора России. Тезисы

докладов IX съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева. 2024. С. 495–496.

24. Научные основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий России и формирования систем воспроизводства их плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии: Т. 1. Теоретические и методические основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий / *А.Л. Иванов и др. Э.Н. Молчанов* (отв. ред.). М., 2013. 756 с.

25. Национальный атлас России. Т. 2. Природа и экология / *Клочко А.А., Романовская М.А. и др.* М: ФГУП “Госгисцентр”, 2004. 495 с.

26. Погода и климат: климат Рудни. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/history/34262.htm>.

27. *Пономарева В.В., Плотникова Т.А.* Гумусовый профиль // Черноземы СССР. Т. 1. М.: Колос, 1974. С. 122–145.

28. *Приходько В.Е., Чевердин Ю.И., Чевердин А.Ю.* Изучение почв Каменной степи в течение 130 лет // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием “Почва как компонент биосферы: актуальные проблемы в условиях изменений климата”, Пушкино, 2024. С. 148–149.

29. *Пятина Е.В.* Структура фауны крупных почвенных беспозвоночных агроэкосистем и искусственных зеленых насаждений волгоградской области // Почвы – опора России. Тезисы докладов IX съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева, 2024. С. 495–496.

30. *Растворова О.Г.* Физика почв (практическое руководство). Л.: Изд-во Ленинград. Ун-та, 1983. 195 с.

31. *Растворова О.Г., Андреев Д.П., Гагарина Э.И., Касаткина Г.А.* Химический анализ почв. СПб: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 1995. 264 с.

32. Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм. Всемирная метеорологическая организация. 2017. № 1203. С. 18–21.

33. *Сажин А.Н., Кулик К.Н., Васильев Ю.И.* Погода и климат Волгоградской области. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2017. 334 с.

34. *Семенов В.М., Козут Б.М.* Почвенное органическое вещество. Москва: ГЕОС, 2015. 232 с.

35. Химический анализ почв / *Л.А. Воробьева*. М.: Изд-во МГУ, 1998. 271 с.

36. *Холодов В.А., Ярославцева Н.В., Фарходов Ю.Р., Белобров В.П., Юдин С.А., Айдиев А.Я., Лазарев В.И., Фрид А.С.* Изменение соотношения фракций агрегатов в гумусовых горизонтах черноземов в различных условиях землепользования // Почвоведение. 2019. № 2. С. 184–193.

37. Чевердин Ю.И., Беспалов В.А., Титова Т.В. Динамика содержания гумуса черноземных почв каменной степи // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. 2015. № 8–2. С. 86–88.
38. Щеглов Д.И. Черноземы центра Русской равнины и их эволюция под влиянием естественных и антропогенных факторов: Автореф. дис. ... д. б. шн.: 03.00.27. Воронеж, 1995. 46 с.
39. Щербаков А.П., Васенев И.И. Русский чернозем на рубеже веков // Антропогенная эволюция черноземов. Воронеж: Воронежский государственный университет, 2000. С. 32–67.

REFERENCES

1. Abakumov E.V., Aparin B.F., Lapenis A., Kosaki T., Changes in the organic matter of typical chernozem over 30 years based on the study of the soil monolith, *Vestnik of Saint-Petersburg University. Earth Sciences*, Ser. 3, Vol. 2, 2009, pp. 113–123. (In Russ.)
2. Sokolov A.V., *Agrochemical methods of soil research*, Moscow: Nauka, 1975, 656 p. (In Russ.)
3. Shherbakova A.P., Vaseneva I.I., *Agroecological state of chernozems of the Central Agricultural District*, Kursk, 1996, 380 p. (In Russ.)
4. Aparin B.F., *Evolutionary models of soil fertility*, Saint Petersburg: Izdatel'stvo Sankt-Peterburgskogo universiteta, 1997, 292 p. (In Russ.)
5. Aparin B.F., Mingareeva E.V., Medium-term changes in the aggregate composition of the southern chernozem under the influence of afforestation of the Penza-Kamensk, *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex*, 2024, No. 1 (73), pp. 31–42. (In Russ.)
6. Aparin B.F., Mingareeva E.V., Sukhacheva E.Y., Sanzharova N.I., Concentrations of radionuclides (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , and ^{137}Cs) in chernozems of Volgograd oblast sampled in different years, *Eurasian Soil Science*, 2017, Vol. 50, No. 12, pp. 1395–1405.
7. Aparin B.F., Suhacheva E.Ju., Changes in the resource potential of soils at different levels of anthropogenic impact and global climate change, In: *Modern problems of studying soil and land resources*, Book of abstracts, Moscow, 2019, pp. 225–231. (In Russ.)
8. Aparin B.F., Suhacheva E.Ju., *Evolution of soils and soil cover of reclaimed lands*, Saint Petersburg: Izd-vo S.-Peterb. un-ta, 2009, 265 p. (In Russ.)
9. Afanas'eva E.A., The water-salt regime of ordinary and southern chernozems of the south-east of the European part of the USSR, Moscow: Nauka, 1980, 216 p. (In Russ.)

10. Afanas'eva E.A., *Chernozems of the Central Russian upland*, Moscow: Nauka, 1966, 224 p. (In Russ.)
11. Aparin B.F., Sukhacheva E.Yu., Zakharova M.K., Mingareeva E.V., Koshelev A.V. Effect of massive forest shelterbelts on humus content and stock in chernozems, *Eurasian Soil Science*, 2024, Vol. 57, No. 12, pp. 2068–2080, DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X24120087>.
12. Belyakov A.M., Reserves of grain production growth in the Volgograd region, *Scientific Agronomy Journal*, 2019, No. 2 (105), pp. 27–29. (In Russ.)
13. Vorob'eva L.A., *Theory and practice of chemical analysis of soils*, Moscow: GEOS, 2006, 400 p. (In Russ.)
14. Gurin P.D., Aparin B.F., Sukhacheva E.Yu., Influence of forest plantations and long agricultural use on properties of southern chernozems, *Vestnik of Saint-Petersburg University. Earth Sciences*, Ser. 3, Vol. 2, 2012, pp. 109–119. (In Russ.)
15. Dobrovol'skii G.V., *Soil degradation and protection*, Moscow: Izd-vo MGU, 2002. 654 p. (In Russ.)
16. Degtyareva E.T., Zhulidova A.N., *Soils of the Volgograd region*, Volgograd: Nizhne-Volzhskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1979, 321 p. (In Russ.)
17. Egorov V.V., Ivanova E.N., Fridland V.M., *Classification and diagnostics of soils of the USSR*, Moscow: Kolos, 1977, 221 p. (In Russ.)
18. Shishov L.L., Pankov E.I., *Saline soils of Russia*, Moscow: Akademkniga, 2006, 853 p. (In Russ.)
19. Ivanov A.L., Lebedeva I.I., Grebennikov A.M., Factors for anthropogenic transformation of chernozems, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2013, Vol. 72, pp. 26–46, DOI: <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2013-72-26-46>. (In Russ.)
20. Karmanov I.I., Bulgakov D.S., *Methodology of soil and agro-climatic assessment of arable lands for the cadastre*, Moscow: GNU Pochvennyi in-t im V. V. Dokuchaeva Rossel'khozakademii, 2012, 119 p. (In Russ.)
21. Kiryushin V.I., *Ecological foundations of agriculture*, Moscow: KolosS, 1996, 368 p. (In Russ.)
22. Krupenikov I.A., *Emergence, perfection, tragedy, degradation, ways of protection and rebirth*, Kishinev: Pontos, 2008, 285 p. (In Russ.)
23. Mingareeva E.V., Zakharova M.K., The use of a bioresource collection of soil monoliths and samples as the basis for retrospective monitoring, *In: Soils are the Backbone of Russia*, Book of Abstracts, 2024, pp. 495–496. (In Russ.)
24. Ivanov A.L., et al. E.N. Molchanov (Editors-in-chief), *Scientific foundations for preventing degradation of soils (lands) of agricultural lands in Russia and the formation of systems for reproducing their fertility in adaptive landscape agriculture: Vol. 1. Theoretical and methodological foundations for*

preventing degradation of soils (lands) of agricultural lands, Moscow, 2013, 756 p. (In Russ.)

25. Klochko A.A., Romanovskaya M.A., National Atlas of Russia. Vol. 2. (Nature and ecology), Moscow: FGUP "Gosgistsentr", 2004, 495 p. (In Russ.)

26. Weather and climate: Rudnya climate, URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/history/34262.htm>. (In Russ.)

27. Ponomareva V.V., Plotnikova T.A., The humus profile, *In: Chernozems of the USSR*, Vol. 1, Moscow: Kolos, 1974, pp. 122–145. (In Russ.)

28. Prikhod'ko V.E., Cheverdin Yu.I., Cheverdin A.Yu., Studying the soils of the Stone Steppe for 130 years, "Soil as a Component of the Biosphere: Current Problems in the Context of Climate Change", Pushchino, 2024, Book of Abstracts, pp. 148–149. (In Russ.)

29. Pyatina E.V., Fauna structure of large soil invertebrates of agroecosystems and artificial green spaces of the Volgograd region, *In: Soils are the Backbone of Russia*, 2024, Book of Abstracts, pp. 281–282. (In Russ.)

30. Rastvorova O.G., *Physics of soils (practical guide)*, Leningrad: Izd-vo Leningrad. Un-ta, 1983, 195 p. (In Russ.)

31. Rastvorova O.G., Andreev D.P., Gagarina E.I., Kasatkina G.A., *Chemical analysis of soils*, Saint Petersburg: Izd-vo Sankt-Peterburgskogo un-ta, 1995, 264 p. (In Russ.)

32. *WMO Guidelines for calculating climate standards. World Meteorological Organization*, 2017, No. 1203, pp. 18–21. (In Russ.)

33. Sazhin A.N., Kulik K.N., Vasil'ev Yu.I., Weather and climate of the Volgograd region, Volgograd: FNTs agroekologii RAN, 2017, 334 p. (In Russ.)

34. Semenov V.M., Kogut B.M., *Soil organic matter*, Moscow: GEOS, 2015, 232 p. (In Russ.)

35. Vorob'eva L.A., *Chemical analysis of soils*, Moscow: Izd-vo MGU, 1998, 271 p. (In Russ.)

36. Kholodov V.A., Yaroslavtseva N.V., Farkhodov Yu.R., Belobrov V.P., Yudin S.A., Aidiev A.Ya., Lazarev V.I., Frid A.S., Changes in the ratio of aggregate fractions in humus horizons of chernozems in response to the type of their use, *Eurasian Soil Science*, 2019, Vol. 52, No. 2, pp. 162–170. (In Russ.)

37. Cheverdin Yu.I., Bepalov V.A., Titova T.V., Dynamics of humus content of chernozem soils of the stone steppe, *Theoretical and applied aspects of modern science*, 2015, No. 8–2, pp. 86–88. (In Russ.)

38. Shcheglov D.I., Chernozems of the center of the Russian plain and their evolution under the influence of natural and anthropogenic factors, Extended abstract of Dr. Biol. Sci. thesis, Voronezh, 1995, 46 p. (In Russ.)

39. Shcherbakov A.P., Vasenev I.I., Russian chernozem at the turn of the century, In: *Antropogenic evolution of chernozems*, Voronezh: Voronezhskii gosudarstvennyi universitet, 2000, pp. 32–67. (In Russ.)