

**4.1.3. АГРОХИМИЯ, АГРОПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЗАЩИТА И
КАРАНТИН РАСТЕНИЙ (СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ)**

Научная статья

УДК 504.38:631.445.42(470.324)

DOI: 10.53914/issn2071-2243_2025_4_35

EDN: QYWIEC

**Мониторинг региональных изменений климата и
физико-химических показателей чернозема выщелоченного
в условиях лесостепной зоны Центрального Черноземья****Елена Сергеевна Гасанова^{1✉}, Нина Викторовна Стекольников²,
Константин Егорович Стекольников³, Николай Георгиевич Мязин⁴**^{1, 2, 3, 4} Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I,
Воронеж, Россия¹ upravlenieopm@mail.ru✉

Аннотация. Представлены результаты исследований, проведенных с целью изучения тенденций изменения климата и физико-химических показателей чернозема выщелоченного в условиях стационарного полевого опыта кафедры агрохимии, почвоведения и агроэкологии Воронежского ГАУ (лесостепная зона ЦЧР). Выполнен ретроспективный и статистический анализ многолетних метеорологических данных и физико-химических показателей почв стационара с 1987 по 2022 г. Рассчитаны среднееголетние данные по температуре воздуха и количеству осадков за вегетационные периоды шести ротаций севооборота. Установлена тенденция повышения средней температуры года и вегетационного периода начиная с третьей ротации севооборота (1999–2005 гг.). К шестой ротации (2017–2022 гг.) имело место превышение среднееголетних значений температур на 10,5% за год и 16,4% за вегетационный период. Индекс континентальности составил 43,09, что свидетельствует о сохранении умеренно-континентального типа климата. Гидротермический коэффициент, который характеризует условия увлажнения вегетационного периода, изменялся от 0,54 до 1,69, что соответствует природной зональности от степи на южных черноземных и каштановых почвах до таежной зоны. Наряду с изменением метеорологических параметров следует отметить и изменение физико-химических свойств чернозема выщелоченного изучаемого участка. Так, на вариантах внесения минеральных удобрений наблюдался устойчивый процесс подкисления почвы. Использование дефеката совместно с органическими и минеральными туками ингибировало этот процесс. Содержание гумуса за шесть ротаций севооборота значительно не изменялось, однако отмечена существенная дифференциация гумусированности в зависимости от применяемой системы удобрений. Региональные мониторинговые наблюдения метеорологических условий в совокупности с почвенными исследованиями позволяют своевременно адаптировать современные агротехнологии к изменяющимся климатическим условиям без ощутимых потерь качества пахотных земель и урожайности возделываемых в регионах сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: изменение климата, температура воздуха, осадки, гидротермический коэффициент, индекс континентальности, стационарный опыт, физико-химические свойства

Для цитирования: Гасанова Е.С., Стекольников Н.В., Стекольников К.Е., Мязин Н.Г. Мониторинг региональных изменений климата и физико-химических показателей чернозема выщелоченного в условиях лесостепной зоны Центрального Черноземья // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2025. Т. 18, № 4(87). С. 35–47. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2025_4_35-47.

**4.1.3. AGROCHEMISTRY, AGRONOMIC SOIL SCIENCE, PLANT
PROTECTION AND QUARANTINE (AGRICULTURAL SCIENCES)**

Original article

**Monitoring of regional climate changes and physical & chemical
characteristics of leached chernozem in the conditions
of the forest-steppe of the Central Chernozem Region****Elena S. Gasanova^{1✉}, Nina V. Stekolnikova², Konstantin E. Stekolnikov³, Nikolay G. Myazin⁴**^{1, 2, 3, 4} Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia¹ upravlenieopm@mail.ru✉

Abstract. The results of research conducted to study the trends of climate change, as well as physical & chemical properties of leached chernozem in the conditions of stationary field experiment of the Department of Agrochemistry, Soil Science and Agroecology of Voronezh State Agrarian University (forest-steppe zone of the Central Chernozem Region) are presented. A retrospective and statistical analysis of long-term meteorological data and physical & chemical characteristics of the soil from 1987 to 2022 was performed. Long-term average data on air temperature and precipitation over the growing season of six rotation cycles of cropping system were calculated. It was found that the average temperature of the year and the growing season tended to increase starting from the third cycle of crop rotation (1999-2005). By the sixth cycle (2017-2022), the average annual temperature values exceeded 10.5% per year and 16.4% during the growing season. The continentality index was 43.09, which indicates the preservation of a moderate continental climate. The hydrothermal coefficient, which characterizes the humidification conditions of the growing season, varied from 0.54 to 1.69, which corresponds to the natural zonality from the steppe on southern chernozem and chestnut soils to the taiga zone. Along with the change in meteorological parameters, a change in physical & chemical properties of the leached chernozem of the studied area should also be noted. Thus, a steady process of soil acidification was observed after applying mineral fertilizers. The use of defecate in combination with organic and mineral fertilizers inhibited this process. The humus content did not change significantly during six cycles of crop rotation, however, there was a significant differentiation in humus content depending on the fertilizer system used. Regional monitoring observations of meteorological conditions combined with soil studies will allow timely adaptation of modern agricultural technologies to changing climatic conditions without significant losses in the quality of arable lands in the regions, as well as crop yields.

Keywords: climate change, air temperature, precipitation, hydrothermal coefficient, continentality index, stationary experiment, physical & chemical characteristics

For citation: Gasanova E.S., Stekolnikova N.V., Stekolnikov K.E., Myazin N.G. Monitoring of regional climate changes and physical & chemical characteristics of leached chernozem in the conditions of the forest-steppe of the Central Chernozem Region. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2025;18(4):35-47. (In Russ.). https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2025_2_35-47.

Введение

Одной из самых обсуждаемых проблем как в мире ученых, так и в мире политиков являются глобальные климатические изменения, причины и последствия которых изучаются и анализируются многими исследователями.

Климатическая система планеты находилась в равновесии, когда поглощенное солнечное излучение уравновешивалось тепловым излучением Земли. Техническая революция спровоцировала нарушение данного баланса за счет значительного увеличения выбросов так называемых парниковых газов.

В настоящее время основными парниковыми газами являются углекислый газ CO_2 , метан CH_4 , хлорфторуглероды (фреоны) и оксид азота (I) N_2O . Считается, что антропогенный парниковый эффект на 57% обусловлен добычей и потреблением энергии, на 20% – промышленным производством, не связанным с энергетическим циклом, на 14% – сельскохозяйственной деятельностью и на 9% – исчезновением лесов [3].

Бесспорно, что современное потепление является закономерным процессом изменения климата на Земле. Исследователи отмечают, что содержание углекислого газа в глубинных слоях льдов Антарктиды доказывает, что стабильной температуры на Земле никогда не было. Однако следует признать, что антропогенное вмешательство играет значительную роль. По оценкам ученых, за 100 с лишним лет с начала индустриальной эпохи произошло повышение концентрации углекислого газа (вклад которого в парниковый эффект является самым существенным) более чем на 25%, при этом содержание CO_2 в атмосфере, несмотря на активную реализацию в мире природоохранных технологий, непрерывно возрастает на 0,5% в год (особенно в последние годы), а следовательно, человечество способствует потеплению климата [15].

По прогнозам ученых, удвоение содержания CO_2 в атмосфере может привести не только к повышению температуры (либо на 1,5–4,5, либо на 1,0–3,5 °C), но и к другим климатическим изменениям [13]. По данным ведущей европейской программы мониторинга окружающей среды – Службы изменения климата Европейского союза «Коперник»,

в 2024 г. был отмечен самый теплый период в истории метеонаблюдений, в то время как 2023 г. стал первым, превысившим границу среднемноголетней температуры доиндустриального периода, установленную Парижским соглашением 2015 г. (международным договором, направленным на сокращение и сдерживание изменения климата) на 1,5 °C [1].

Анализ данных Росгидромета позволяет говорить о потеплении и на территории России, при этом следует отметить ряд важных особенностей. Потепление над сушей в целом происходит быстрее, чем над океаном – темп роста среднегодовой глобальной приповерхностной температуры каждое десятилетие за период с 1976 по 2020 гг. над водой составлял 0,179 °C, а над сушей – 0,295 °C

Территория России теплеет почти вдвое быстрее, чем суша в целом – на 0,51 °C за десятилетие, причем каждое десятилетие с 1981 по 1990 г. было теплее предыдущего, а из 10 самых теплых лет 9 приходится на XXI век. Некоторое похолодание наблюдалось между 2005 и 2015 гг. в осенние сезоны, практически монотонное потепление отмечено весной и особенно летом. В целом можно говорить о том, что потепление происходит во все сезоны, однако на сезонные тренды накладываются значительные междесятилетние колебания, наиболее сильно выраженные зимой, когда после быстрого потепления между серединой 1970-х и серединой 1990-х произошло похолодание на большей части территории России, продлившееся до 2010 г. и обусловленное изменениями атмосферной циркуляции атлантико-европейского сектора.

В среднем на территории России увеличение количества осадков регистрировали во временном интервале с 1976 по 2020 г. как для годовых сумм, так и для сумм осадков в отдельные календарные сезоны. Наиболее выраженные изменения относятся к весенним периодам. Рост суточных максимумов осадков и связанных с ними показателей экстремальности проявлялся на значительной территории России в холодные сезоны (за исключением северо-востока и прибрежных территорий Восточной Арктики). Убывание количества осадков летом отмечено в южных районах Европейской территории России. Также на территории России наблюдали сокращение продолжительности залегания снежного покрова: с 1976 по 2020 г. – в среднем на 1,17 дня за каждые 10 лет [2].

Таким образом, изменение климата – это объективная реальность, которая может привести к ряду необратимых экологических нарушений, вот почему ее нельзя игнорировать. Следует отметить, что в связи с глобальным потеплением опубликованные работы посвящены в большей степени проблеме сокращения биологического разнообразия, но в отношении трансформации показателей плодородия почв таких работ практически нет.

Данный вопрос особенно актуален для Центрально-Черноземного региона с его плодородными черноземными почвами, так как он является одним из главных производителей сельскохозяйственной продукции в России и вносит существенный вклад в обеспечение ее продовольственной безопасности.

Методика эксперимента

Целью данной работы является мониторинг основных климатических и физико-химических показателей чернозема выщелоченного на территории одного из старейших стационарных опытов России – кафедры агрохимии, почвоведения и агроэкологии Воронежского ГАУ. Стационар заложен в 1987 г. для изучения влияния длительного применения различных доз минеральных и органических удобрений, а также кальциевого мелиоранта на показатели почвенного плодородия и урожайность сельскохозяйственных культур. Схема опыта, включающего 15 вариантов, представлена в таблице 1.

Таблица 1. Схема стационарного полевого опыта

Варианты опыта	Чистый пар	Озимая пшеница	Сахарная свекла	Вика/овес на зеленый корм	Озимая пшеница	Ячмень
1. Контроль 1 (без удобрений)	–	–	–	–	–	–
2. Фон – навоз 40 т/га	Навоз 40 т/га	Последствие	Последствие	Последствие	Последствие	Последствие
3. Фон + NPK	Навоз 40 т/га + P ₂₀₅	N ₃₀ рано весной + N ₃₀ в фазе колошения	N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	Последствие	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀
4. Фон + 1,5NPK	Навоз 40 т/га + P ₉₀ K ₉₀	N ₃₀ до посева + N ₃₀ рано весной + N ₃₀ в фазе колошения	N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	Последствие	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀
5. Фон + 2NPK	Навоз 40 т/га + P ₁₂₀ K ₁₂₀	N ₃₀ до посева + N ₃₀ рано весной + N ₃₀ в фазе колошения + N ₃₀ в фазе трубкования	N ₂₄₀ P ₂₄₀ K ₂₄₀	Последствие	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀
6. Фон + PK – по выносу, N – по легкогидролизуемому азоту	Навоз 40 т/га	N ₃₀ в фазе трубкования + N ₃₀ в фазе колошения	N ₉₀ P ₃₀ K ₂₄₀	K ₂₅₀	N ₁₈ P ₁₈ K ₁₉₀	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀
7. Контроль 2 (без удобрений)	–	–	–	–	–	–
8. Фон + NPK – по нормативам затрат	Навоз 40 т/га + PK	По диагностике	N ₁₂₀ P ₂₀₀ K ₁₅₀	N ₃₀ P ₃₀ K ₂₄₀	N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀ + N ₃₀ по диагностике	N ₃₀ P ₁₈ K ₁₈
9. Фон + NPK – по выносу под все культуры	Навоз 40 т/га	N ₃₀ в фазе колошения + N ₃₀ в фазе молочной спелости	N ₁₆₀ P ₃₀ K ₂₄₀	K ₂₅₀	N ₁₄₀ P ₁₁₀ K ₁₉₀	N ₆₀ P ₄₀ K ₄₀
10. Фон + NPK + новые инсектициды	Навоз 40 т/га + P ₆₀ K ₆₀	N ₃₀ рано весной + N ₁₀ в фазе колошения	N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	Последствие	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₀ P ₁₀ K ₁₀
11. Фон + оптимальная доза NPK	Навоз 40 т/га + PK	N ₃₀ рано весной + N ₁₀ в фазе колошения	N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	Последствие	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀
12. Система КАХОП	Навоз 40 т/га + дефекал 28 ц/га + P ₁₂₀ K ₁₂₀	По диагностике	N ₁₂₀ P ₂₀₀ K ₁₅₀	Последствие	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	Последствие
13. Фон + дефекал	Навоз 40 т/га + дефекал 28 ц/га	Последствие	Последствие	Последствие	Последствие	Последствие
14. Фон + кальциевые мелиоранты	Навоз 40 т/га + кальциевый мелиорант 12 т/га	Последствие	Последствие	Последствие	Последствие	Последствие
15. Дефекал + NPK	Навоз 40 т/га + P ₆₀ K ₆₀	N ₃₀ рано весной + N ₁₀ в фазе колошения	N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	Последствие	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₀ P ₁₀ K ₁₀

В опыте освоен шестипольный севооборот со следующим чередованием культур: чистый пар – озимая пшеница – сахарная свекла – вико-овсяная смесь – озимая пшеница – ячмень. С 1987 по 2022 г. прошло шесть ротаций севооборота (табл. 2).

Таблица 2. Ротации севооборота стационарного опыта кафедры агрохимии, почвоведения и агроэкологии Воронежского ГАУ

Номер ротации севооборота	Годы
1	1987–1992
2	1993–1998
3	1999–2004
4	2005–2010
5	2011–2016
6	2017–2022

Повторность опыта – четырехкратная, размещение повторений – двухъярусное, делянок – систематическое шахматное.

Почвенный покров опытного участка представлен черноземом выщелоченным среднemocным малогумусным тяжелосуглинистым на покровных суглинках.

Анализ основных климатических параметров места проведения исследований за период с 1987 по 2022 г. проводился на основе данных метеорологической станции г. Воронежа (широта – 51°70', долгота – 39°21', высота над уровнем моря – 149 м).

Для оценки количественных изменений климата изучаемого региона использовали индекс континентальности климата (К), предложенный Л. Горчинским, который учитывает амплитуды колебаний температуры воздуха, количество атмосферных осадков и широту места [4].

Изменение уровня влагообеспеченности территории проводили на основе расчета гидротермического коэффициента (ГТК), предложенного российским климатологом Г.Т. Селяниновым, который нашел широкое применение в агрономической практике [7].

Для анализа агрохимических показателей чернозема выщелоченного использованы данные многолетних исследований качественных и количественных характеристик почвенного плодородия в условиях стационарного опыта Воронежского ГАУ, представленные в работах профессора Н.Г. Мязина, профессора К.Е. Стекольников, доцентов О.М. Кольцовой, Т.М. Параневич, П.Т. Брехова, Ю.И. Столповского, Л.П. Крутских [5, 6, 8, 10, 11, 12, 13, 15].

За основу были взяты следующие варианты опыта:

- 1) без удобрений – контроль;
- 2) навоз – 40 т/га;
- 3) навоз – 40 т/га + NPK;
- 5) навоз – 40 т/га + 2NPK;
- 12) навоз – 40 т/га + NPK + дефекация по 1,0 Нг;
- 13) навоз – 40 т/га + дефекация по 1,0 Нг;
- 15) NPK + дефекация по 1,0 Нг.

Почвенные образцы отбирались с глубины от 0 до 100 см с интервалом в 20 см.

Физико-химический состав почвенных образцов определяли по стандартным методам [9].

Результаты и их обсуждение

Одним из основных агрометеорологических показателей, отражающих благоприятные термические условия для процессов почвообразования, роста и развития сельскохозяйственных культур, является среднегодовая температура воздуха периода активной вегетации, так как изменение данного показателя непосредственно сказывается на сумме активных температур вегетационного периода.

Среднемноголетнее значение среднегодовой температуры воздуха за весь период истории метеонаблюдений составило 7,09 °С, за период 1987–2022 гг. – 7,40 °С (среднеквадратичное отклонение $\sigma = 1,08$; коэффициент вариации $C_v = 7,21$). Среднемноголетняя температура вегетационного периода за весь период метеонаблюдений составила 14,14 °С, за период 1987–2022 гг. – 14,96 °С (среднеквадратичное отклонение $\sigma = 1,13$; коэффициент вариации $C_v = 15,22$).

На рисунке 1 представлен ход среднемесячных температур вегетационного периода за изучаемые ротации севооборота.

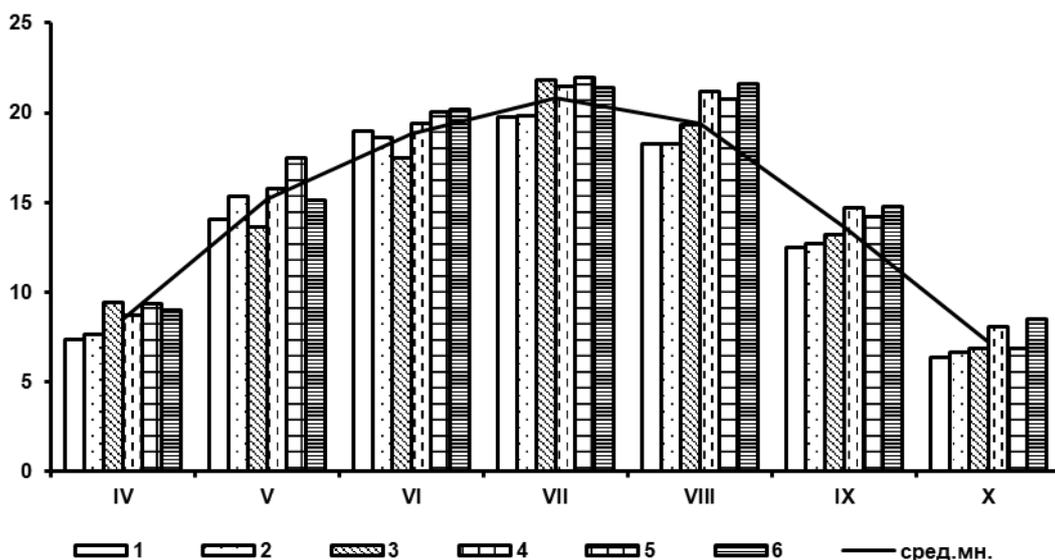


Рис. 1. Среднемесячная температура вегетационного периода (1987–2022 гг.), °С

Установлено, что средняя температура года и вегетационного периода имела тенденцию к повышению начиная с третьей ротации севооборота (1999–2005 гг.). К шестой ротации (2017–2022 гг.) отмечено превышение среднемноголетних значений температур на 10,5% за год и 16,4% за вегетационный период (рис. 2).

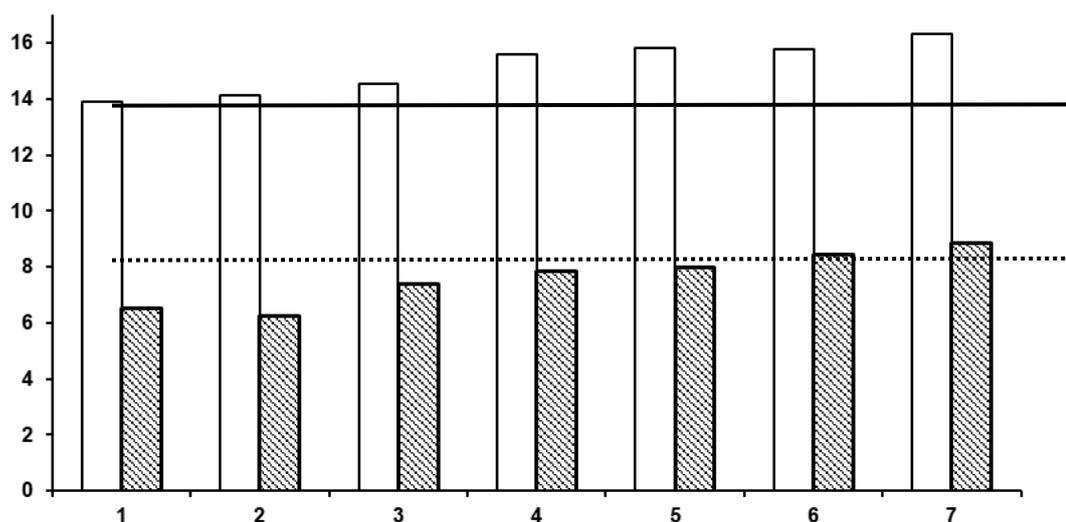


Рис. 2. Средняя температура за год и вегетационные периоды по ротациям севооборота, °С:
 □ – средняя температура за вегетационный период; ■ – средняя температура за год;
 — — — — — среднемноголетняя температура вегетационного периода;
 — среднемноголетняя годовая температура

Как известно, потепление климата сопровождается увеличением испарения и, как следствие, повышением влажности климата, что должно сказаться на количестве выпадающих осадков. На рисунке 3 представлены данные по расчету количества осадков по изучаемым ротациям севооборота в течение вегетационного периода.

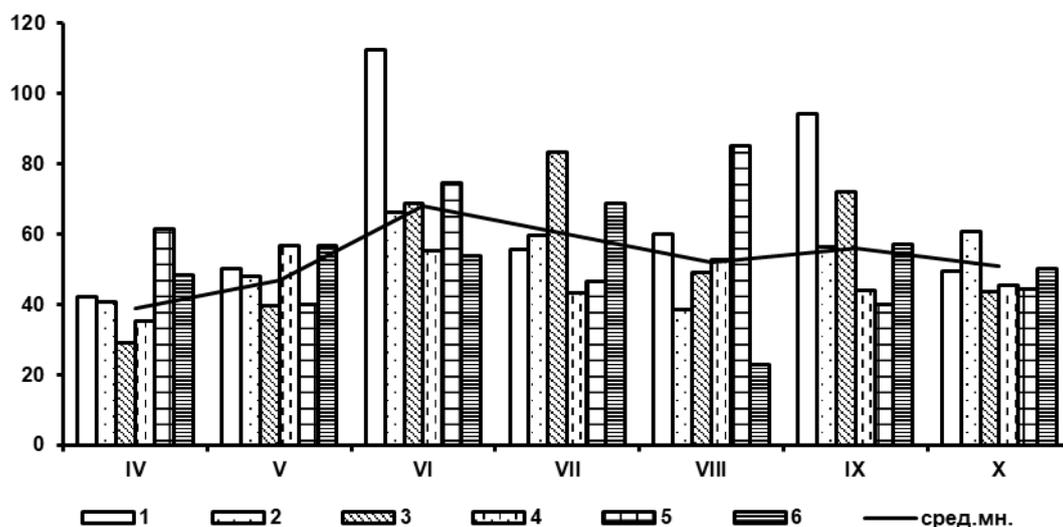


Рис. 3. Средние значения количества осадков вегетационного периода, по ротациям севооборота, мм

Среднемноголетнее значение количества осадков за весь период метеонаблюдений составило 579 мм за год, за период 1987–2022 гг. – 594 мм (среднеквадратичное отклонение $\sigma = 112,17$; коэффициент вариации $Cv = 18,87$). Среднемноголетнее количество осадков вегетационного периода за весь период метеонаблюдений составило 373 мм, за период 1987–2022 гг. – 383 мм (среднеквадратичное отклонение $\sigma = 93,3$; коэффициент вариации $Cv = 24,31$).

На рисунке 4 представлены данные о количестве осадков в среднем за анализируемые ротации севооборота. Установлено, что данный показатель является динамичным, при этом количество осадков превосходило среднемноголетние значения, за исключением периода 2005–2010 гг.

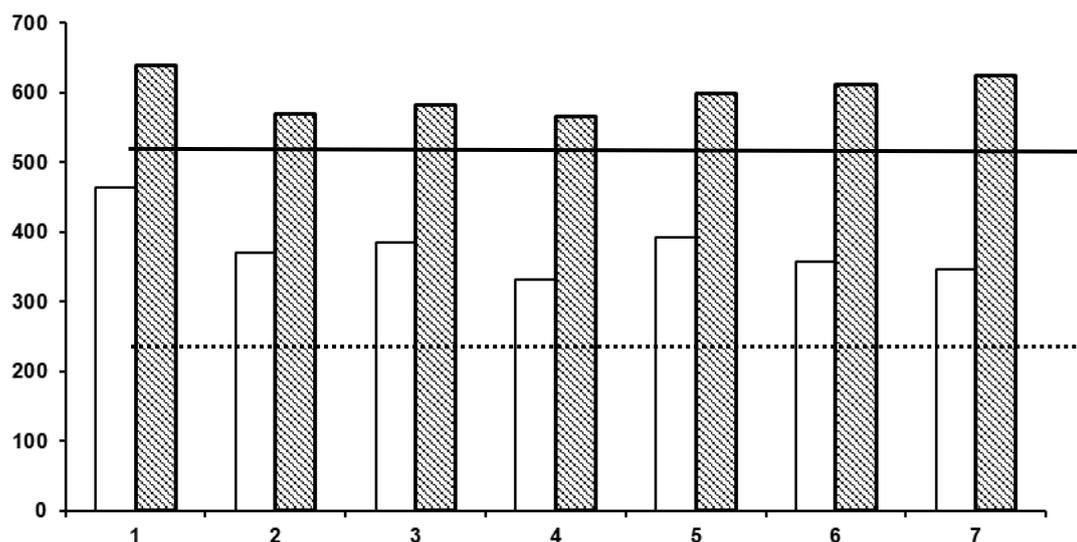


Рис. 4. Количество осадков за год и вегетационный период (в среднем по ротациям севооборота), мм:
 ■ – количество осадков за год; □ – количество осадков за вегетационный период;
 — — — — — среднемноголетнее количество осадков за год;
 — среднемноголетнее количество осадков за вегетационный период

Среднегодовое значение индекса континентальности климата изучаемой территории составляет 43,90, а среднее значение индекса континентальности за годы исследований – 43,09, что чуть ниже среднегодовых данных. Рассчитанные показатели индекса континентальности колеблются около среднегодового значения и имеют незначительный тренд к увеличению, что наглядно свидетельствует о сохранении умеренно-континентального типа климата (рис. 5).

Данное явление связано с увеличением колебаний температуры в холодный и теплый периоды года. В годы с минимальными значениями индексов континентальности зимы были теплыми, а летние месяцы прохладными, что привело к уменьшению годовой амплитуды температуры и, следовательно, к снижению индекса континентальности. Годы с холодной зимой и теплым летом характеризовались высокими показателями индекса континентальности.

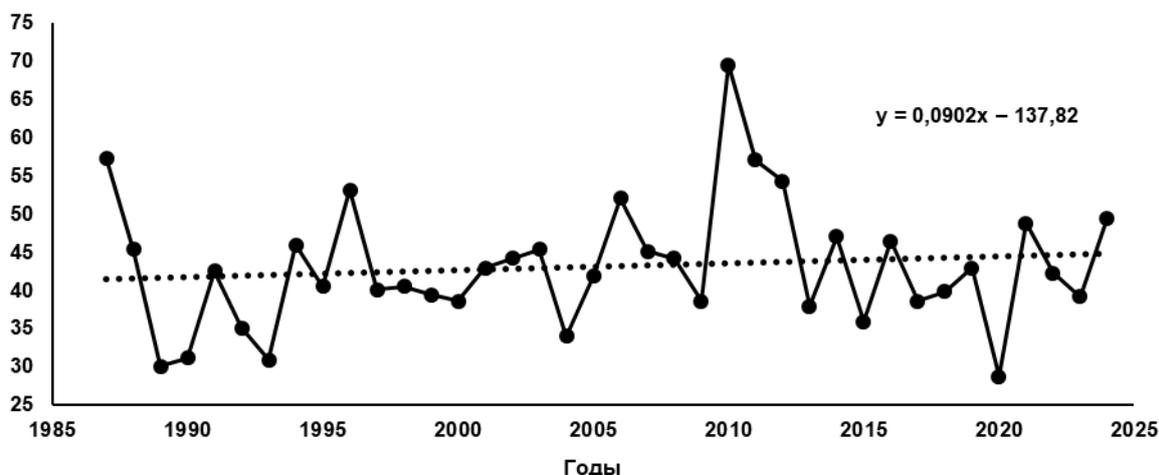


Рис. 5. Индекс континентальности климата

Гидротермический коэффициент, основанный на соотношении средней температуры и количества осадков периода активной вегетации, является важнейшим агрометеорологическим показателем, который позволяет оценить водный режим и термические условия в регионе, классифицировать климатические зоны и типы экосистем. Кроме того, он широко используется при прогнозировании природоохранной деятельности, при обосновании мероприятий, направленных на восстановление экосистем и управление водными ресурсами, что в конечном итоге способствует обеспечению устойчивого развития аграрного сектора и охране естественных экосистем.

Динамика ГТК в России и мире отражает изменения климатических условий и варьирует в зависимости от региона. По данным долгосрочных наблюдений, за последние десятилетия в некоторых регионах России наблюдалась тенденция роста значений ГТК, в то время как в других, наоборот, отмечено уменьшение увлажненности [16].

По гидротермическим условиям Г.Т. Селяниновым (1958 г.) выделяются семь природных зон, информация о которых представлена в таблице 3.

Таблица 3. Значения гидротермического коэффициента увлажнения Селянинова (ГТК) по природным зонам [16]

Природные зоны	Гидротермический коэффициент
Тайга	> 1,6
Тайга и лиственные леса	1,3–1,6
Лесостепь	1,3–1,0
Типичная степь	1,0–0,7
Степь на южных черноземных и каштановых почвах	0,7–0,4
Полупустыня	0,4–0,2
Пустыня	< 0,2

Динамика значений ГТК за временной интервал 1987–2022 гг. показана на рисунке 6.

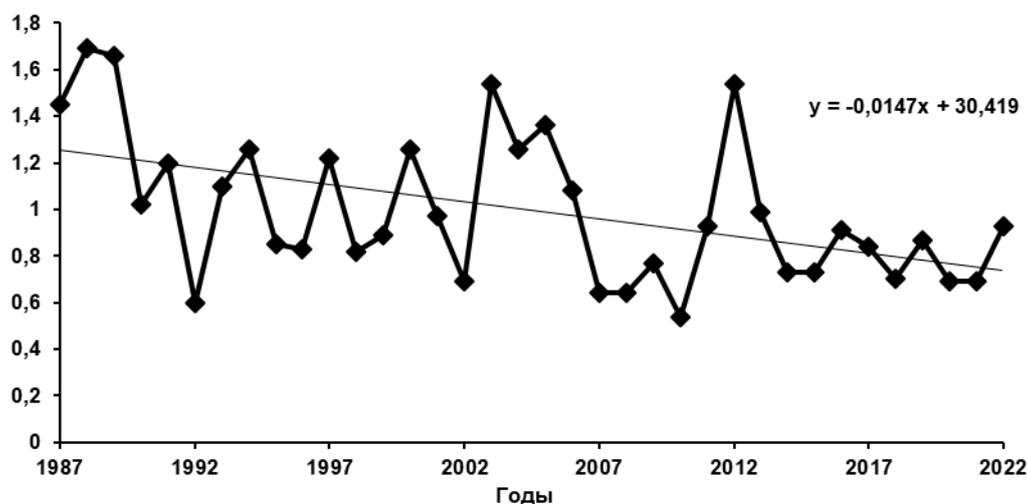


Рис. 6. Динамика гидротермического коэффициента по годам наблюдений

Среднегодовое значение гидротермического коэффициента составило 1,00 при диапазоне его изменения в пределах от 0,54 до 1,69 (среднеквадратическое отклонение $\sigma = 0,31$; коэффициент вариации $C_v = 31\%$). По данным таблицы 3 видно, что выявленный диапазон изменения гидротермического коэффициента за период 1987–2022 гг. соответствует природной зональности от степи на южных черноземных и каштановых почвах до таежной зоны.

За рассматриваемый временной интервал в двух случаях гидротермические условия территории соответствовали природной зоне тайги (1988, 1989), в четырех – зоне смешанных лесов (1987, 2003, 2005, 2012), в восьми – зоне лесостепей (1990, 1991, 1993, 1994, 1997, 2000, 2004, 2006), в пятнадцати – зоне типичной степи (1995, 1996, 1998, 1999, 2001, 2009, 2011, 2013–2019, 2022) и в семи случаях – зоне южной степи (1992, 2002, 2007, 2008, 2010, 2020, 2021). В межгодовом распределении гидротермического коэффициента прослеживается тенденция уменьшения его значений, что может свидетельствовать об увеличении степени аридности территории.

Анализ физико-химических показателей чернозема выщелоченного стационарного полевого опыта за изучаемый период наглядно показал, что актуальная кислотность, учитывающая активность ионов водорода в конкретный момент времени, весьма динамична. На вариантах контроля, фона и внесения разных доз минеральных удобрений значения актуальной кислотности снижались. Минимальные значения кислотности отмечены в пахотном слое варианта внесения двойной дозы минеральных удобрений на фоне навоза ($pH_{\text{вод}} = 5,57$, что на 0,45 ед. ниже, чем при закладке опыта в 1987 г.). Увеличение актуальной кислотности отмечено на известкованных вариантах. Максимальные значения характерны для варианта применения дефеката на фоне навоза ($pH_{\text{вод}} = 6,63$, что на 0,61 ед. ниже, чем в образцах 1987 г.).

По величине обменной кислотности почвенные образцы при закладке стационарного опыта относились к категории среднекислых почв. Систематическое внесение оптимальных доз минеральных удобрений и последствие навоза не изменило уровня обменной кислотности. Применение двойной дозы минеральных удобрений на фоне последствие навоза понизило значение обменной кислотности на 0,47 ед., почвенные образцы данного варианта характеризуются как сильнокислые. Внесение кальциевого мелиоранта способствовало поддержанию реакции на уровне слабокислых почв ($pH_{\text{KCl}} 5,13\text{--}5,43$), что свидетельствует о необходимости повторного известкования в начале следующей (седьмой) ротации (рис. 7).

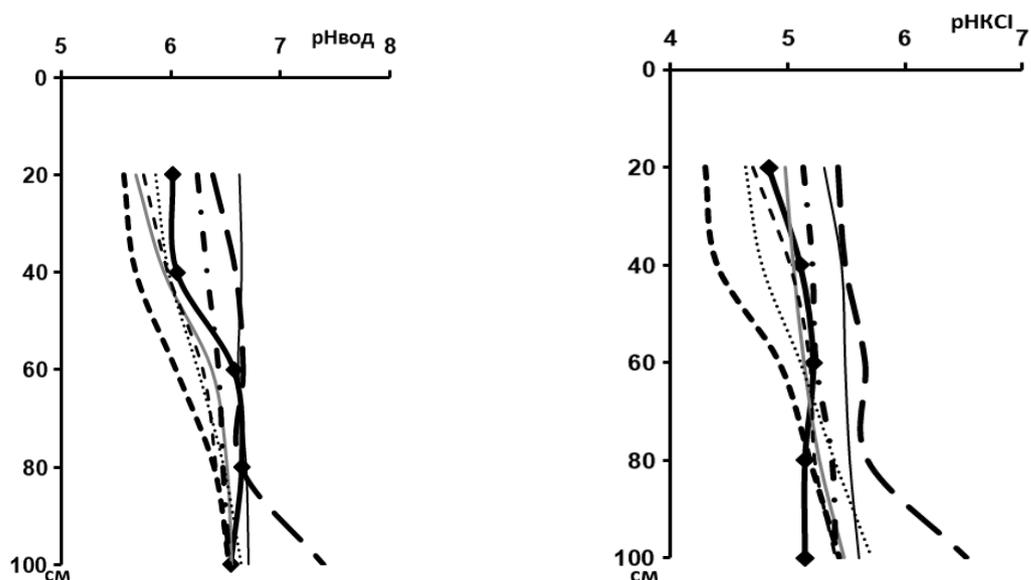


Рис. 7. Актуальная ($pH_{вод}$) и обменная кислотность ($pH_{КСl}$) чернозема выщелоченного по вариантам стационарного опыта с удобрениями и мелиорантом:

—◆— 1987 — 1 2 - - - 3 - - - 5 - · - 12 — 13 — 15

Анализ значений гидролитической кислотности свидетельствуют о нейтрализующем воздействии применяемой схемы опыта, за исключением варианта применения двойной дозы минеральных удобрений на фоне последействия навоза, на котором отмечено увеличение значения гидролитической кислотности относительно 1987 г. на 0,34 мг-экв/100 г почвы.

Сумма обменных оснований имеет достаточно высокие значения, характерные для протекания дернового процесса. Однако за шесть ротаций севооборота данный показатель значительно уменьшился.

В пахотном слое убыль такого показателя, как сумма обменных оснований составляла от 3,59 до 11,33 мг-экв/100 г почвы соответственно на контроле и на варианте внесения двойной дозы минеральных удобрений на фоне последействия навоза (5-й вариант). Вниз по профилю значения данного показателя также уменьшались относительно года закладки опыта.

Последействие известкования на минеральном и органическом фоне не сдерживало процесс выщелачивания: эффективность внесения кальциевого мелиоранта уменьшалась к концу ротации севооборота.

Полученные результаты свидетельствуют о развитии процесса декальцирования, который является одним из важнейших пусковых механизмов развития деградации почв Центрального Черноземья (рис. 8).

Важнейшей характеристикой физико-химического состава почвы является содержание в ней гумуса. Почвы опытного участка при закладке опыта в 1987 г. относились к категории малогумусных. За шесть ротаций севооборота класс по содержанию гумуса не изменился, однако наблюдалась существенная дифференциация гумусированности в зависимости от применяемой системы удобрений.

Интенсивное снижение содержания гумуса в пахотном слое отмечено на вариантах внесения минеральных удобрений без известкования:

- на варианте с одинарной дозой минеральных удобрений на фоне последействия навоза – на 0,57%;
- на варианте с двойной дозой минеральных удобрений – на 0,25%.

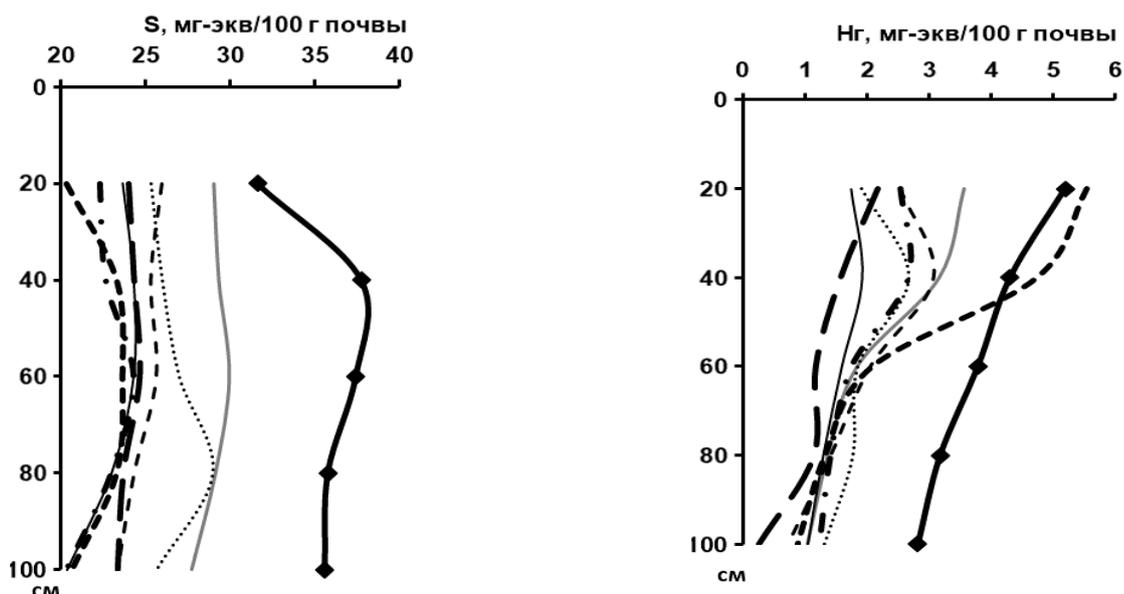


Рис. 8. Сумма обменных оснований (S) и гидролитическая кислотность (Hг) чернозема выщелоченного по вариантам стационарного опыта с удобрениями и мелиорантом, мг-экв/100 г почвы:

—◆— 1987 — 1 2 - - - 3 - - - 5 - · - 12 — 13 — 15

Вариант внесения минеральных удобрений (NPK) на фоне последствия дефекта (15-й вариант) характеризовался минимальным содержанием гумуса – 3,98%.

Следует отметить различный характер профильного распределения содержания гумуса (рис. 9).

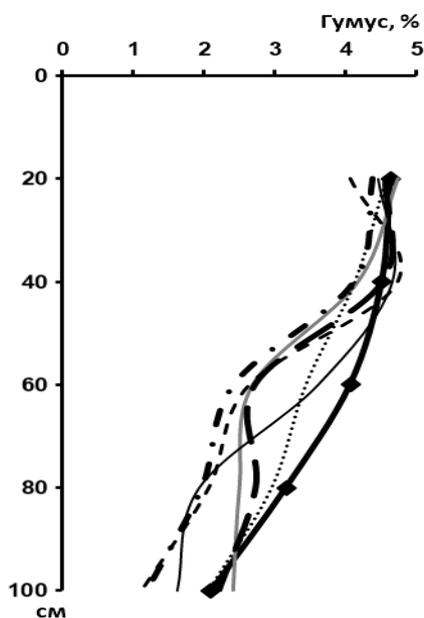


Рис. 9. Содержание гумуса в черноземе выщелоченном по вариантам стационарного опыта с удобрениями и мелиорантом, %:

—◆— 1987 — 1 2 - - - 3 - - - 5 - · - 12 — 13 — 15

В результате проведенного анализа установлена устойчивая динамика повышения средней температуры воздуха вегетационного периода, что отражалось на условиях его увлажнения. Гидротермический коэффициент за изучаемый период имел ярко выраженный тренд к уменьшению, в то время как индекс континентальности климата – к увеличению.

Физико-химические свойства чернозема выщелоченного существенно изменились под воздействием органоминеральных систем удобрений и известкования. Варианты без известкования характеризовались развитием процессов подкисления, выщелачивания, дегумификации. Применение кальциевого мелиоранта ингибировало интенсивность данных процессов.

Таким образом, можно сделать вывод, что региональные мониторинговые наблюдения метеорологических условий в совокупности с почвенными исследованиями позволяют своевременно адаптировать современные агротехнологии к изменяющимся климатическим условиям без ощутимых потерь качества пахотных земель и урожайности возделываемых в регионах сельскохозяйственных культур.

Список источников

1. Брехов П.Т. Влияние удобрений и известки на плодородие, урожай и качество озимой пшеницы на черноземе выщелоченном // Современные проблемы сохранения плодородия черноземов: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 170-летию В.В. Докучаева (Воронеж, 21–22 апреля 2016 г.). Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2016. С. 46–50.
2. Буряк Ж.А., Крымская О.В., Крымская А.А. и др. Пространственно-временная изменчивость биоклиматического потенциала Центрального Черноземья // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2024. Т. 166, № 1. С. 126–144. DOI: 10.26907/2542-064X.2024.1.126-144.
3. Верятин В.Ю., Осетров А.В., Рябова Л.М. Гидрометобеспечение отраслей экономики в условиях меняющегося климата // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2024. № 3(179). С. 50–55.
4. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2024 год. Москва: Росгидромет, 2025. 104 с.
5. Киреева-Гененко И.А., Новикова Е.П., Чумейкина А.С. Анализ и оценка индекса континентальности климата в Центрально-Черноземном районе за последние 30 лет // Успехи современного естествознания. 2017. № 7. С. 76–80.
6. Кольцова О.М., Корчагин И.С. Биомониторинг чернозема выщелоченного в условиях длительного применения удобрений и мелиоранта // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17, № 4(83). С. 47–54. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2024_4_47.
7. Крутских Л.П., Блеканов Д.В. Эффективное плодородие чернозема выщелоченного и урожайность зерна ячменя в зависимости от применения удобрений и мелиорантов // Агротехнологии XXI века: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 105-летию Воронежского государственного аграрного университета (Воронеж, 25–27 апреля 2017 г.). Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. С. 209–216.
8. Лосев А.П., Журина Л.Л. Агрометеорология: учебник. Москва: КолосС, 2001. 301 с.
9. Муха В.Д., Муха Д.В., Ачкасов А.Л. Практикум по агропочвоведению. Москва: КолосС, 2010. 368 с.
10. Мязин Н.Г., Кожокина А.Н., Столповский Ю.И. и др. Пищевой режим чернозема выщелоченного под свеклой сахарной в зависимости от доз минеральных удобрений // Аграрная наука. 2017. № 9-10. С. 14–16.
11. Мязин Н.Г., Парахневич Т.М. Влияние систематического применения удобрений и мелиорантов на гумусное состояние чернозема выщелоченного // Агрохимия. 2000. № 9. С. 75–77.
12. Рыбак Е.А. Исследование режима осадков на Черноморском побережье Краснодарского края // Системы контроля окружающей среды. 2023. № 1(51). С. 38–45. DOI: 10.33075/2220-5861-2023-1-38-45.
13. Стекольников К.Е., Горб И.С., Кольцова О.М. Влияние длительного применения удобрений и мелиоранта на кислотно-основный режим чернозема выщелоченного // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2013. № 4(39). С. 22–31.
14. Столповский Ю.И. Влияние удобрений и кальцийсодержащих мелиорантов на изменение физико-химических показателей почвы и урожайность сахарной свеклы // Черноземы Центральной России: генезис, география, эволюция: материалы международной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения основателя Воронежской школы почвоведов Прокопия Гавриловича Адерикина (Воронеж, 25–28 мая 2004 г.). Воронеж: Воронежский государственный университет, 2004. С. 496–501.
15. Шайтура С.В., Сумзина Л.В., Томашевская Н.Г. и др. Аграрный сектор в контексте глобального изменения климата // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 4. С. 18–24.
16. Шумова Н.А. Количественные показатели климата в приложении к оценке гидротермических условий в Республике Калмыкия // Аридные экосистемы. 2021. Т. 27, № 4(89). С. 13–24. DOI: 10.24412/1993-3916-2021-4-13-24.

References

1. Brekhov P.T. Effect of the fertility of fertilizers and lime, yield and quality of winter wheat on leached chernozem. In: Modern problems of preserving the fertility of chernozems: Proceedings of the International Research-to-Practice Conference dedicated to the 170th anniversary of V.V. Dokuchaev (Voronezh, April 21-22, 2016). Voronezh: Voronezh State Agrarian University Publishers; 2016:46-50. (In Russ.).

2. Buryak Zh.A., Krymskaya O.V., Krymskaya A.A. et al. Spatiotemporal variability of bioclimatic potential in the Central Chernozem Region. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta Seriya Estestvennye Nauki*. 2024;166(1):126-144. DOI: 10.26907/2542-064X.2024.1.126-144. (In Russ.).
3. Vertyatin V.Yu., Osipov A.V., Ryabova L.M. Hydrometeorological support for economic sectors under changing climate conditions. *Use and Protection of Natural Resources of Russia*. 2024;3(179):50-55. (In Russ.).
4. Report on Climatic Peculiarities in the Territory of the Russian Federation over 2024. Moscow: Rosgidromet Publishers; 2025. 104 p. (In Russ.).
5. Kireeva-Genenko I.A., Novikova E.P., Chumeykina A.S. Analysis and assessment of continentality index in the Central Chernozem Region during last 30 years. *Advances in Current Natural Sciences*. 2017;7:76-80. (In Russ.).
6. Koltsova O.M., Korchagin I.S. Biomonitoring of leached chernozem under conditions of long-term application of fertilizers and ameliorant. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2024;17(4):47-54. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2024_4_47. (In Russ.).
7. Krutskikh L.P., Blekanov D.V. Effective fertility of leached chernozem and yield of barley grain depending on application of fertilizers and meliorants. In: *Agrotechnologies of the XXI Century: Proceedings of the International Research-to-Practice Conference dedicated to the 105th anniversary of Voronezh State Agrarian University (Voronezh, April 25-27, 2017)*. Voronezh: Voronezh State Agrarian University Publishers; 2017:209-216. (In Russ.).
8. Losev A.P., Zhurina L.L. Agrometeorology. Moscow: KolosS Publishers; 2003. 301 p. (In Russ.).
9. Mukha V.D., Mukha D.V., Achkasov A.L. Practical Course on Agronomic Soil Science. Moscow: KolosS Publishers; 2010. 368 p. (In Russ.).
10. Myazin N.G., Kozhokina A.N., Stolpovsky Yu.I. et al. Nutrient status of leached chernozem under sugar beet depending on doses of mineral fertilizers. *Agrarian Science*. 2017;9-10:14-16. (In Russ.).
11. Myazin N.G., Parakhnevich T.M. Impact of systematic application of fertilizers and ameliorants on humus status of leached chernozem. *Agrohimia*. 2000;9:75-77. (In Russ.).
12. Rybak E.A. Study of the precipitation regime on the Black Sea coast of Krasnodar Region. *Monitoring Systems of Environment*. 2023;1(51):38-45. DOI: 10.33075/2220-5861-2023-1-38-45. (In Russ.).
13. Stekolnikov K.E., Gorb I.S., Koltsova O.M. Influence of long-term fertilizer and ameliorant application on acid-base regime of leached chernozem. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2013;4(39):22-31. (In Russ.).
14. Stolpovsky Yu.I. Influence of fertilizers and calcium ameliorants on changes in physical & chemical characteristics of soil and sugar beet yields. In: *Chernozems of Central Russia: Genesis, Geography, Evolution: Proceedings of the International Conference dedicated to the centenary celebration of birth of the founder of Voronezh Soil Scientists School Prokopy Gavrilovich Aderikhin (Voronezh, May 25-28, 2004)*. Voronezh: Voronezh State University Publishers; 2004:496-501. (In Russ.).
15. Shaytura S.V., Sumzina L.V., Tomashevskaya N.G. et al. Agricultural sector in the context of global climate change. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2021;4:18-24. (In Russ.).
16. Shumova N.A. Quantitative climate indicators applied to the assessment of hydrothermal conditions in the Republic of Kalmykia. *Arid Ecosystems*. 2021;27(4):13-24. DOI: 10.24412/1993-3916-2021-4-13-24. (In Russ.).

Информация об авторах

Е.С. Гасанова – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, зав. кафедрой агрохимии, почвоведения и агроэкологии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», upravlenieopm@mail.ru.

Н.В. Стекольников – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрохимии, почвоведения и агроэкологии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», stekolnikova-nv@mail.ru.

К.Е. Стекольников – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрохимии, почвоведения и агроэкологии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», soil@agrochem.vsau.ru.

Н.Г. Мязин – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрохимии, почвоведения и агроэкологии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», agrohimi@agronomy.vsau.ru.

Information about the authors

E.S. Gasanova, Candidate of Agricultural Sciences, Docent, Head of the Dept. of Agrochemistry, Soil Science and Agroecology, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, upravlenieopm@mail.ru.

N.V. Stekolnikova, Candidate of Agricultural Sciences, Docent, the Dept. of Agrochemistry, Soil Science and Agroecology, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, stekolnikova-nv@mail.ru.

K.E. Stekolnikov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, the Dept. of Agrochemistry, Soil Science and Agroecology, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, soil@agrochem.vsau.ru.

N.G. Myazin, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, the Dept. of Agrochemistry, Soil Science and Agroecology, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, agrohimi@agronomy.vsau.ru.

Статья поступила в редакцию 10.09.2025; одобрена после рецензирования 15.10.2025; принята к публикации 22.10.2025.

The article was submitted 10.09.2025; approved after reviewing 15.10.2025; accepted for publication 22.10.2025.

© Гасанова Е.С., Стекольников Н.В., Стекольников К.Е., Мязин Н.Г., 2025
