УДК 631.8:633(470.630) DOI: 10.25680/S19948603.2026.152.01

ДИНАМИКА ОСНОВНЫХ АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗОНАЛЬНЫХ ПОДТИПОВ ЧЕРНОЗЁМНЫХ ПОЧВ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ

Ю.И. Гречишкина[2], В.Г. Сычев[1], А.В. Матвиенко[3]
[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова», 127434, Россия, г. Москва, ул. Прянишникова, 31, ainfo@vniia-pr.ru
[2]ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет» 355017, Россия, Ставропольский край, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический 12, lnwg@mail.ru
[3]Ставропольский филиал ФГБУ «Агрохимическая служба России», 356241, Россия, Ставропольский край, г. Михайловск, ул. Никонова, 65, stavhim@mail.ru

На основе данных мониторинга 1965–2025 г. изучена динамика агрохимических показателей чернозёмов Центрального Предкавказья. Установлено устойчивое снижение органического вещества во всех подтипах, наиболее выраженное у выщелоченных и южных чернозёмов, с временной стабилизацией в 1990–2000-х г. Содержание подвижного фосфора имеет многоволновую динамику с пиком в 1980–1990-е г. и последующей стабилизацией. Подвижный калий характеризуется высокой вариабельностью и низкой прогнозируемостью. Реакция pH наиболее стабильна. Наибольшему риску деградации подвержены чернозёмы южные и обыкновенные.

Ключевые слова: мониторинг плодородия почв, чернозёмные почвы, органическое вещество почвы, подвижный фосфор, подвижный калий, реакция pH, Центральное Предкавказье.

Для цитирования: *Гречишкина Ю.И., Сычев В.Г., Матвиенко А.В.* Динамика основных агрохимических показателей и продуктивность зональных подтипов чернозёмных почв Центрального Предкавказья// Плодородие. – 2026. – №5. – С. 5-11. DOI: 10.25680/S19948603.2026.152.01.

Поддержание и воспроизводство плодородия почв является одной из ключевых задач современного агропромышленного комплекса, особенно в регионах с интенсивным сельскохозяйственным использованием земель [3, 9]. Ставропольский край, обладая уникальным почвенным покровом, где чернозёмы занимают доминирующее положение, является одной из важнейших житниц России [1, 5, 8]. Однако длительное антропогенное воздействие в сочетании с изменяющимися климатическими условиями оказывает существенное влияние на агрохимические свойства почв, определяя необходимость постоянного мониторинга их состояния [4].

Изменения содержания органического вещества, подвижных форм фосфора и калия, а также реакции почвенной среды являются индикаторами направленности процессов деградации или восстановления плодородия [2, 6]. В научной литературе широко освещены общие тенденции изменения свойств чернозёмов под влиянием сельскохозяйственного использования, однако динамика этих показателей в разрезе зональных подтипов чернозёмных почв Центрального Предкавказья за длительный хронологический период (1965–2025 г.) изучена недостаточно. Особый интерес представляет анализ разнонаправленных трендов, обусловленных как природными факторами, так и экономическими трансформациями в аграрном секторе.

Настоящая работа является продолжением ранее проводимых исследований авторов по данной тематике и направлена на комплексный анализ многолетней динамики ключевых агрохимических характеристик зональных подтипов чернозёмов [7].

Цель исследования — сравнить агрохимическую характеристику зональных подтипов чернозёмных почв Центрального Предкавказья.

Задачи исследования — дать оценку динамики содержания органического вещества, подвижных соединений фосфора и калия, реакции pH водного раствора зональных подтипов чернозёмных почв Центрального Предкавказья.

Методика. В качестве объектов исследования выступили чернозёмы обыкновенные, чернозёмы южные, чернозёмы выщелоченные и чернозёмы типичные Центрального Предкавказья, расположенные на территории Ставропольского края. Краткая характеристика исследуемых зональных подтипов чернозёмных почв зон представлена в таблице 1.

1. Площадь основных зональных подтипов чернозёмных почв в почвенном покрове Ставропольского края

Почвы	Площадь	
	тыс. га	%
Чернозёмы типичные	85,5	3,3
Чернозёмы выщелоченные	46,8	1,9
Чернозёмы обыкновенные	1560,9	60,5
Чернозёмы южные	885,6	34,3
Всего	2578,8	100,0
Общая площадь пахотных угодий Ставропольского края	3928,5	60,5 % от территории края

Источник: составлено авторами по данным инвентаризации СтавНИИгипрозема, 2000.

В качестве исходных материалов для агрохимической оценки основных зональных подтипов чернозёма были использованы данные государственного мониторинга плодородия почв ФГБУ «Агрохимическая служба России» за 1965-2025 г.

В период наблюдений с 1961 по 2025 г. климатические условия черноземной зоны характеризовались ростом количества среднегодовых осадков, а также ростом

среднегодовой температуры (рис. 1). Данная тенденция могла поспособствовать изменению доступности элементов питания и оказать большое влияние на эффективность удобрений.

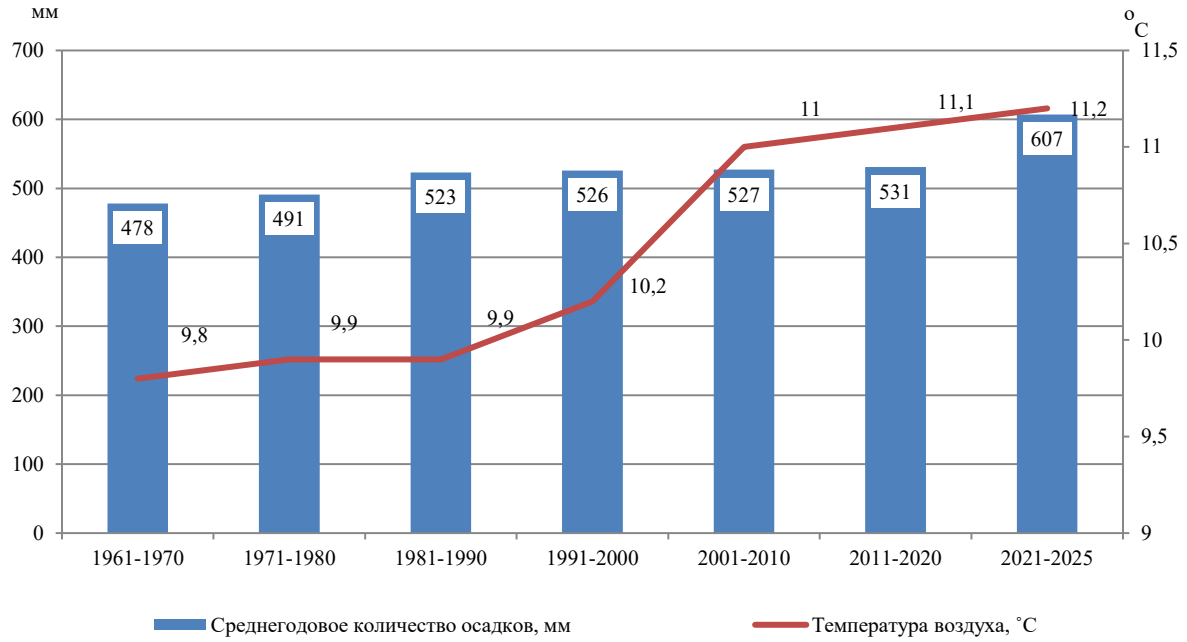


Рис. 1. Динамика погодных условий на территории Ставропольского края

Для определения агрохимических показателей подтипов чернозёма использовали следующие методики:

- определение содержания органического вещества по ГОСТ 26213-91 и ГОСТ 26213–2021;
- определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26205–91;
- определение реакции pH почвы по ГОСТ 26423-85.

Результаты и их обсуждение. Для оценки агрохимической характеристики основных зональных подтипов чернозёмных почв использовали уравнения регрессии с максимальными коэффициентами аппроксимации по каждому исследованному показателю почвенного плодородия.

На рисунке 2 представлены временные ряды, отражающие содержание органического вещества в подтипах чернозёмных почв в период с 1965 по 2025 г. Анализ трендов показал неодинаковые направленность и характер изменений в зависимости от подтипа почвы.

Для чернозёма выщелоченного использована линейная функция тренда (R^2 = 0,89). Согласно полученной модели, для этого подтипа наблюдается устойчивое снижение содержания органического вещества на протяжении всего рассматриваемого периода. Линейный тренд свидетельствует о равномерной скорости снижения содержания органического вещества, без выраженных переломных точек.

Полиномиальная аппроксимация второй степени применена для чернозёмов обыкновенного (R^2 = 0,88), типичного (R^2 = 0,78) и южного (R^2 = 0,99). В данном случае полиномиальные модели указывают на нелинейный характер динамики содержания органического вещества во всех трёх подтипах.

На начальном этапе (1965-1990 г.) фиксируется относительно пологий или умеренный спад содержания гумуса. Затем в постсоветский период (1990-2000 г.) на линии тренда фиксируется участок замедления темпов снижения или временной стабилизации. Данное явление вполне закономерно можно связать с существенным снижением интенсивности сельскохозяйственного производства, вызванным экономическими преобразованиями и проблемами того периода. С 2000-х годов тренды вновь демонстрируют усиление тенденции к снижению содержания органического вещества в трёх подтипах чернозёмных почв.

Наибольшие абсолютные значения содержания органического вещества на протяжении всего периода наблюдений характерны для чернозёма типичного, минимальные – для чернозёма южного. Чернозём обыкновенный занимает промежуточное положение, приближаясь по уровню к типичному, однако темпы его снижения во второй половине ряда оказываются более выраженными.

Следующим из рассмотренных агрохимических показателей плодородия подтипов чернозёмных почв стало содержание подвижного фосфора, динамика содержания которого в почве представлена на рисунке 3.

Ко всем подтипам применена аппроксимация полиномом четвёртой степени, что свидетельствует о сложной многоволновой динамике данного показателя. Коэффициенты аппроксимации следующие: для чернозёма выщелоченного R^2 = 0,77, для чернозёма типичного R^2 = 0,81, для чернозёма обыкновенного R^2 = 0,71, для чернозёма южного R^2 = 0,60. Данная модель позволила с высокой степенью достоверности отразить нелинейность процесса, включая восходящую фазу, кульминацию и последующий спад.

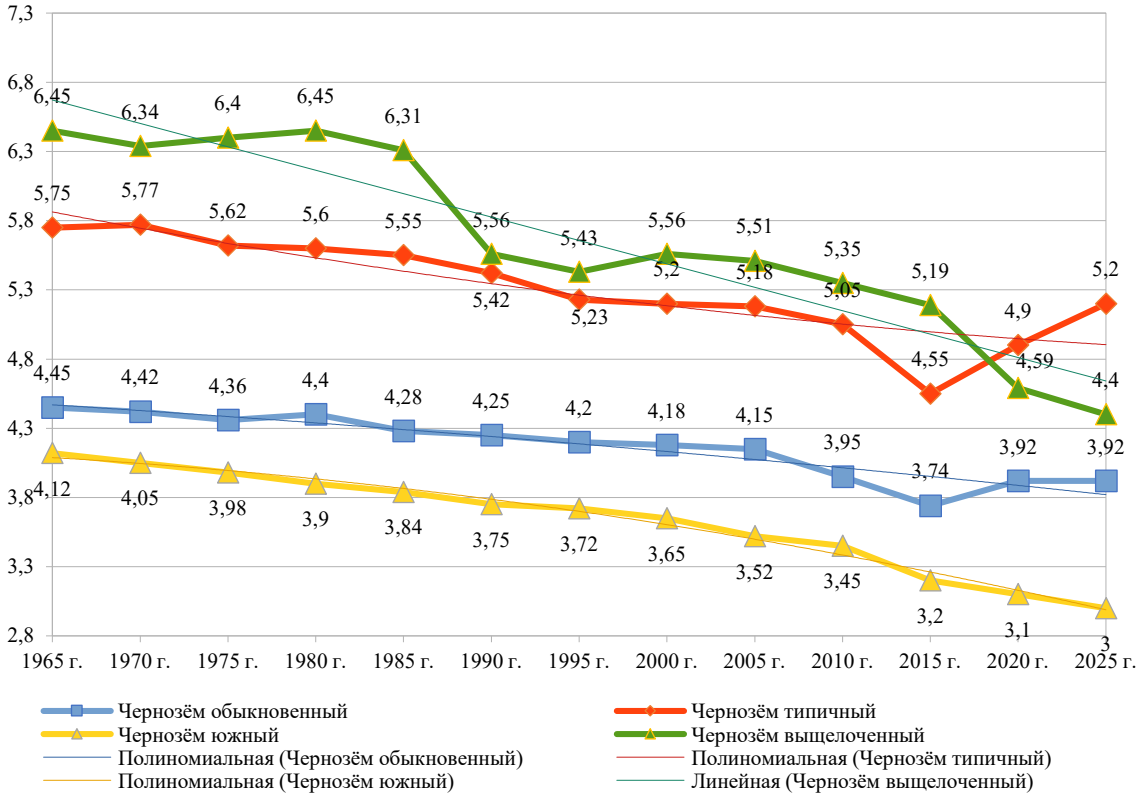


Рис. 2. Динамика содержания органического вещества в чернозёмных почвах, %

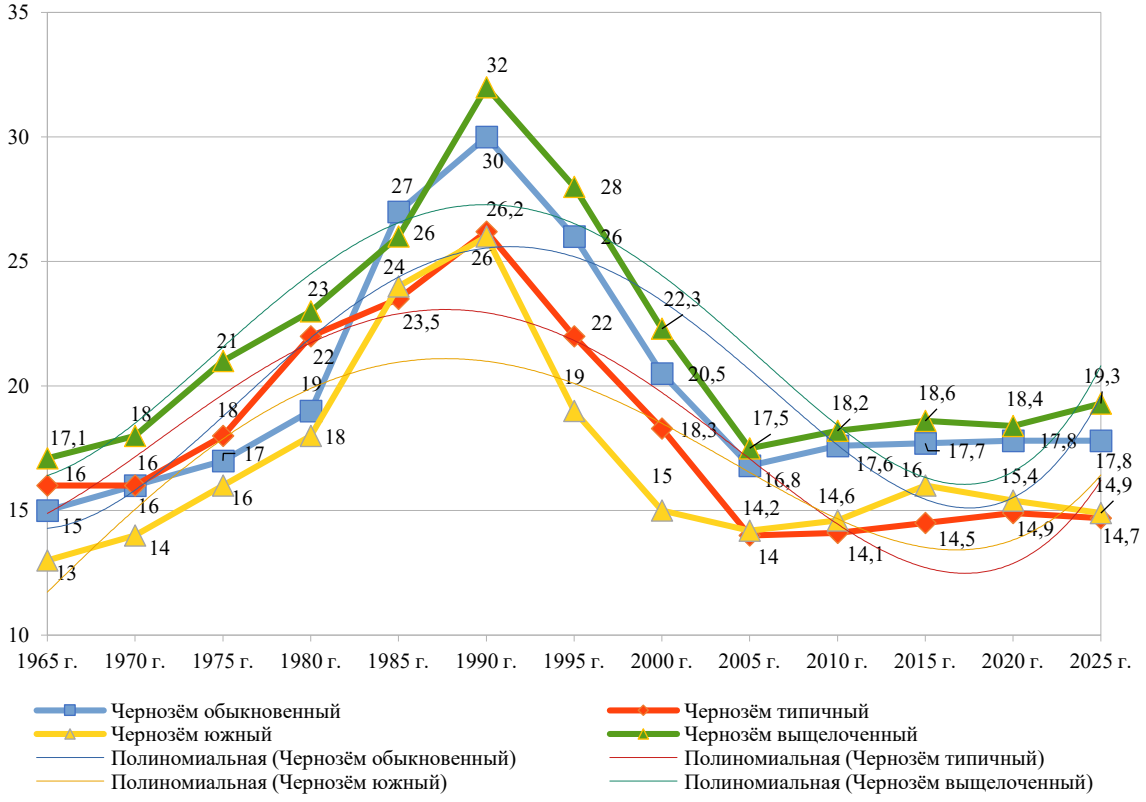


Рис. 3. Динамика содержания подвижного фосфора в чернозёмных почвах, мг/кг

Считаем, что полиномиальная природа функции обусловлена пиком применения фосфорных удобрений в 1980-1990 г. После него произошли резкий обвал и, по мере стабилизации ситуации в сельскохозяйственной отрасли, новый постепенный рост содержания подвижного фосфора в почве. С 2005 г. по настоящее время наблюдается фаза относительной стабилизации с тенденцией к слабому восстановлению запасов подвижного фосфора в почвах.

Динамика содержания подвижного калия в зональных подтипах чернозёмных почв обладает самой сложной закономерностью среди рассматриваемых агрохимических показателей распределения данных. Трудно прогнозируемый характер изменения данного показателя отражён на рисунке 4.

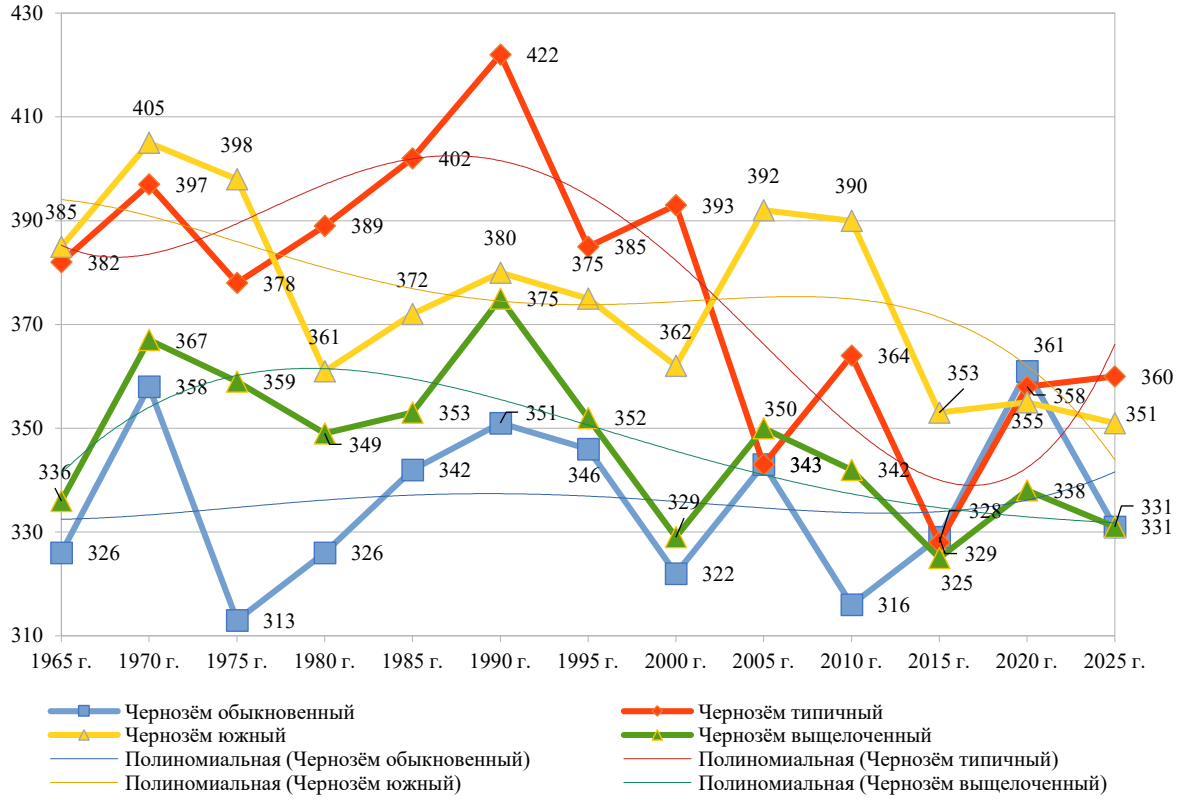


Рис. 4. Динамика содержания подвижного калия в чернозёмных почвах, мг/кг

Аналогично подвижному фосфору, для описания многолетней динамики содержания подвижного калия во всех исследуемых подтипах чернозёмов использована аппроксимация полиномом четвёртой степени. Однако коэффициенты аппроксимации (R^2) оказались сравнительно низкими и составили: для чернозёма выщелоченного — 0,53, типичного — 0,73, южного — 0,49 и обыкновенного — 0,02.

Наиболее низкое значение R^2, зафиксированное для чернозёма обыкновенного, заслуживает отдельного пояснения. Это связано с тем, что данный подтип является наиболее распространённым в пределах края и охватывает значительное разнообразие климатических условий и материнских пород, что закономерно увеличивает внутритиповую вариабельность данных и снижает долю объяснённой вариации трендовой моделью.

Полученные полиномиальные кривые уверенно демонстрируют выраженную временную изменчивость калийного режима чернозёмов, причём направленность трендов не явно выраженного характера. Наиболее контрастные колебания содержания калия отмечены для чернозёмов типичного и южного подтипов. Вместе с тем, начиная с 2015–2020 г., для типичных и обыкновенных чернозёмов прослеживается слабая тенденция к повышению содержания подвижного калия, в то время как для южных и выщелоченных наоборот к снижению. Для подтверждения устойчивости данного тренда требуется дальнейший мониторинг.

Заключительной из рассмотренных агрохимических характеристик зональных подтипов чернозёмных почв стала реакция pH почвенного раствора, динамика которой представлена на рисунке 5.

Для аппроксимации трендов использованы полиномиальные модели разных порядков. Для чернозёмов обыкновенного (R^2 = 0,70) и южного (R^2 = 0,64) из-за многоволновой динамики использован полином четвёртой степени. Для чернозёмов типичного (R^2 = 0,58) и выщелоченного (R^2 = 0,52) — полином второй степени, отражающий более плавные изменения.

Данный показатель наиболее стабилен и за весь период наблюдений меньше всего подвержен значительным изменениям. К текущему моменту времени для чернозёмов обыкновенных и южных просматривается слабовыраженный тренд на подкисление, в то же время для типичных и выщелоченных — на подщелачивание.

Комплексная оценка чернозёмных почв требует также рассмотрения и продуктивности. Для этого рассмотрим одну из ведущих культур на территории Ставропольского края — озимую пшеницу [3]. Исследуем тенденции к изменению продуктивности озимой пшеницы в различные годы в зависимости от подтипа почвы посредством трендового анализа. Каждое уравнение тренда или определенные группы уравнений, по сути, являются математическими моделями различных граней продуктивности рассматриваемых культур. Динамика и прогноз продуктивности озимой пшеницы представлены на рисунке 6.

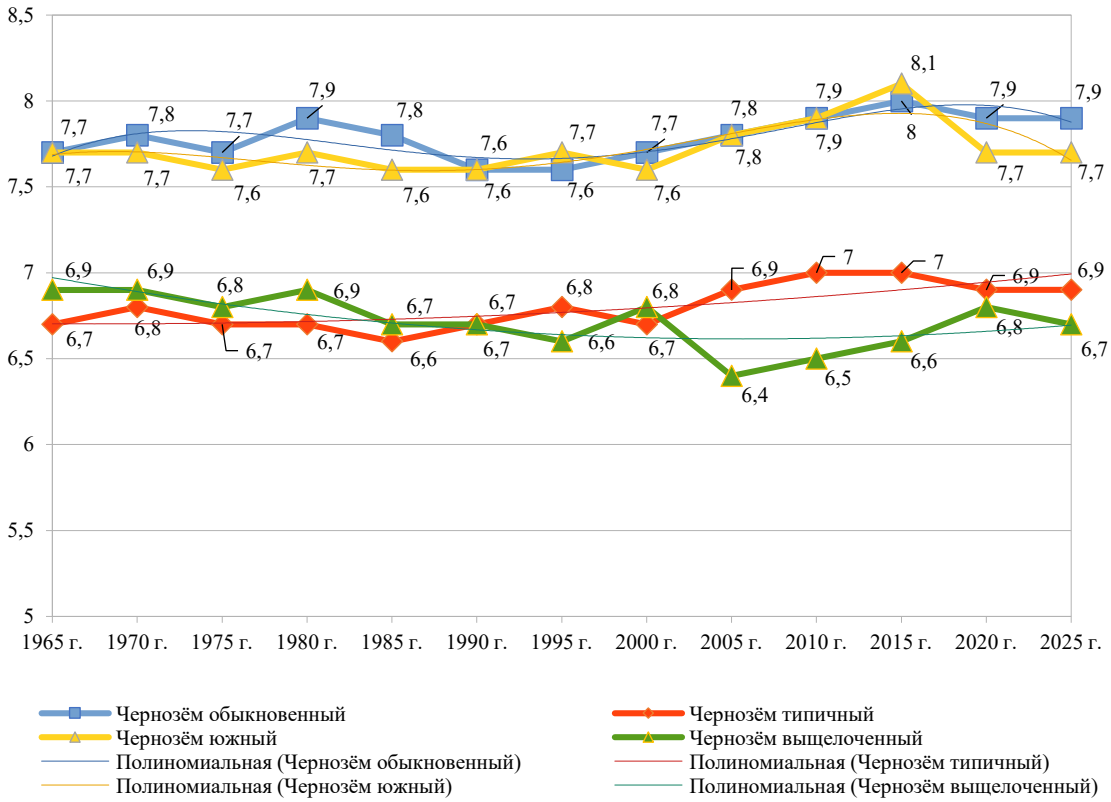


Рис. 5. Динамика pH в черноземных почвах, ед.

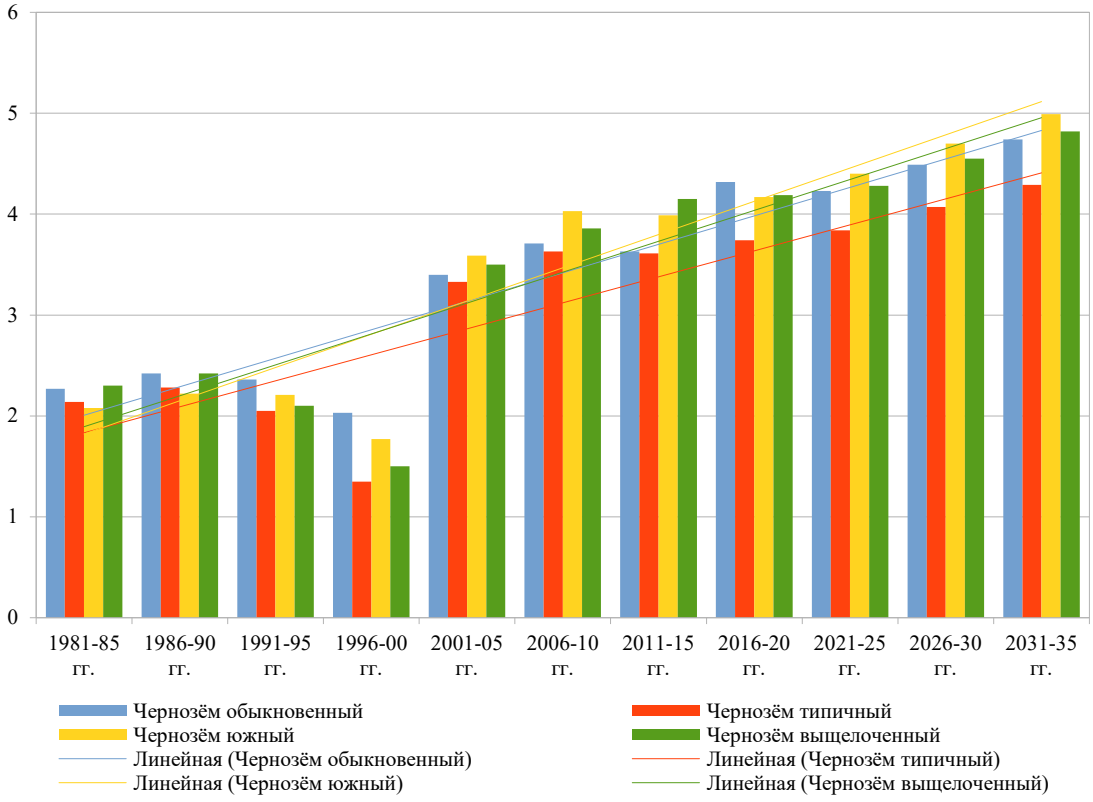


Рис. 6. Динамика и прогноз продуктивности озимой пшеницы в условиях черноземных почв Центрального Предкавказья, т/га

Обработка результатов продуктивности озимой пшеницы по подтипам черноземных почв методами трендовой статистики показывает единую направленность в долговременном изменении и зависимость урожайности культуры от условий возделывания – подтипов черноземных почв.

Оценка 53-летних данных, полученных на различных подтипах черноземных почв, однозначно свидетельствует о возрастающем тренде продуктивности озимой

пшеницы. На протяжении этого периода прослеживается достаточно определенная тенденция к росту значений рассматриваемого показателя.

Линии тренда для этого периода имеют вид:

1. чернозём типичный: y=0,2249x+1,1451, $R^2 = 0,6813$;
2. чернозём выщелоченный: y=0,2678x+1,0695, $R^2 = 0,7254$;
3. чернозём обыкновенный: y=0,2586x+1,245, $R^2 = 0,8576$;
4. чернозём южный: y=0,2955x+0,8564, $R^2 = 0,8234$.

Построенные линейные зависимости адекватны исходным данным, так как коэффициенты детерминации R^2 имеют хорошие значения.

На рисунке 6 с достаточной определенностью представлены статистически значимые трендовые зависимости для урожайности озимой пшеницы в условиях Центрального Предкавказья на различных подтипах черноземных почв. Во всех случаях имеют место тенденции к росту, особенно для выщелоченного и южного чернозема. По данным линии тренда можно с высокой точностью сделать прогноз урожайности культуры вперед на три периода с 2026 по 2035 г.

Прогнозируемая урожайность озимой пшеницы для всех видов чернозёма имеет статистически значимые тенденции к росту (табл. 2).

2. Прогноз продуктивности озимой пшеницы в условиях черноземных почв Центрального Предкавказья, т/га

Подтип почвы	Прогнозируемый период	
	2026–2030 г.	2031–2035 г.
Чернозём типичный	4,07	4,29
Чернозём выщелоченный	4,55	4,82
Чернозём обыкновенный	4,49	4,74
Чернозём южный	4,70	4,99

Так, относительно периода 2021–2025 г. продуктивность озимой пшеницы за 10 лет прогнозируемого периода увеличится на 12% в условиях чернозёма типичного и обыкновенного, на 13% – в условиях чернозёма южного и выщелоченного. При этом продуктивность озимой пшеницы в зависимости от подтипов черноземных почв выстроится в следующий убывающий ряд: чернозём южный (4,99 т/га) > чернозем выщелоченный (4,82 т/га) > чернозём обыкновенный (4,74 т/га) > чернозем типичный (4,29 т/га).

Феномен повышения продуктивности ведущих сельскохозяйственных культур (в первую очередь зерновых) на фоне общего снижения агрохимических показателей почвы в Ставропольском крае объясняется комплексом технологических, биологических и экономических факторов:

- технологическая интенсификация: использование высокопродуктивных сортов с мощным генетическим потенциалом, внедрение систем точного земледелия (VRA) для дифференцированного внесения удобрений и обновление парка техники.

- оптимизация питания растений: переход на некорневые подкормки микроэлементами в хелатной форме, применение биостимуляторов (гуматов, фульвокислот) и микробиологических препаратов (азотфиксаторов), позволяющих мобилизовать труднодоступные элементы или временно обходить деградировавшую почву.

- климатический фактор: повышение среднегодовой температуры на 1,5 °С за последние 25 лет, удлиняющее вегетационный период, а также влияние локальных осадков на скачки урожайности.

- агротехнические приемы сохранения влаги: активное внедрение технологий накопления воды – глубокого рыхления, щелевания и системы нулевой обработки почвы (No-Till) для предотвращения испарения и компенсации бедности грунтов.

- эффект «выжигания» плодородия: критическое осмысление текущей модели роста. Высокая урожайность достигается экстенсивным путем за счет последних легкодоступных резервов макроэлементов, увеличения доз пестицидов и стимуляторов. Это явление носит временный характер и ведет к долгосрочной экологической угрозе: ускоренной дегумификации, подщелачиванию, переуплотнению земель и опустыниванию территории края (затронуто до 15,6% земель).

Таким образом, наблюдаемый рост продуктивности – это результат высокотехнологичного управления вегетацией, который лишь откладывает проявление глубокого кризиса почвенного плодородия в регионе.

Выводы. Таким образом, в ходе исследований выявлено, что динамика органического вещества в зональных подтипах черноземов Центрального Предкавказья за период 1965–2025 г. имела разнонаправленный и нелинейный характер. Установлено устойчивое снижение содержания органического вещества почвы во всех исследуемых подтипах, при этом наиболее выраженное падение зафиксировано для черноземов выщелоченных и южных. Наименьшие темпы деградации органического вещества отмечены для черноземов типичных, которые сохраняют наиболее высокие абсолютные значения показателя. Выявленная временная стабилизация в 1990–2000-х г. связана со снижением антропогенной нагрузки в постсоветский период, однако с 2000-х годов негативный тренд возобновился, что требует введения дополнительных мер по сохранению почвенного плодородия.

Содержание подвижного фосфора характеризуется сложной многоволновой динамикой, для описания которой применены полиномы четвёртой степени. Пиковые значения пришлись на 1980–1990-е г. вследствие высоких доз внесения фосфорных удобрений, после чего наблюдался резкий спад. В последние два десятилетия (2005–2025 г.) прослеживается фаза относительной стабилизации и слабого восстановления запасов подвижного фосфора, что свидетельствует о постепенной адаптации системы земледелия к современным экономическим условиям.

Содержание подвижного калия продемонстрировало наибольшую вариабельность и наименьшую прогнозируемость среди всех изученных показателей. Низкие коэффициенты аппроксимации, особенно для чернозёма обыкновенного ($R^2 = 0,02$), обусловлены высокой внутритиповой неоднородностью почв, различиями в материнских породах и климатических условиях. В период 2015–2025 г. для черноземов типичных и обыкновенных наметилась слабая тенденция к повышению содержания калия, тогда как для южных и выщелоченных подтипов – к снижению. Для подтверждения устойчивости этих трендов необходим дальнейший мониторинг.

Реакция почвенной среды (pH водной вытяжки) оказалась наиболее стабильным агрохимическим показателем за весь 60-летний период. Изменения носили плавный характер: у чернозёмов обыкновенных и южных фиксируется слабовыраженный тренд к подкислению, тогда как у типичных и выщелоченных – к подщелачиванию.

В целом проведённый многолетний мониторинг показал, что агрохимическое состояние чернозёмных почв Центрального Предкавказья подвержено значительной временной изменчивости, определяемой как природными факторами, так и интенсивностью сельскохозяйственного использования. Наибольшему риску деградации подвержены чернозёмы южные и обыкновенные, занимающие около 94,8 % от общей площади рассматриваемых черноземов и 62 % от площади пашни Ставропольского края. Полученные результаты могут служить научной основой для разработки дифференцированных систем удобрения, мероприятий по воспроизводству плодородия и экологически безопасного землепользования в условиях изменяющегося климата и хозяйственной активности.

Литература

1. *Белокопытов, А. В.* Воспроизводство земельных ресурсов в сельском хозяйстве: теоретический подход / А. В. Белокопытов, А. Н. Минина, М. Ф. Хайруллин // Вестник НГИЭИ. – 2025. – № 2(165). – С. 67-75. – DOI 10.24412/2227-9407-2025-2-67-75.
2. *Борисычев, И. А.* Основные направления совершенствования методики мониторинга почв и их использование в современных условиях / И. А. Борисычев // Агрохимический вестник. – 2025. – № 2. – С. 75-79. – DOI 10.24412/1029-2551-2025-2-014.
3. *Заворотин, Е. Ф.* Теоретические основы стимулирования воспроизводства земельных ресурсов в сельском хозяйстве / Е. Ф. Заворотин, Н. С. Тюрина, А. А. Гордополова // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. – 2026. – № 4(135). – С. 155-165. – DOI 10.33938/264-155.
4. *Мониторинг* земель сельскохозяйственного назначения для снижения экологических рисков и обеспечения их целевого использования / С. А. Иванова, Р. Е. Зверев, А. Д. Кузнецов [и др.] // Проблемы региональной экологии. – 2025. – № 6. – С. 5-11. – DOI 10.24412/1728-323X-2025-6-5-11.
5. *Мониторинг* плодородия почв Центрального Предкавказья и продуктивность озимой пшеницы / В. Н. Ситников, А. Н. Есаулко, Е. В. Письменная, В. П. Егоров // Аграрный вестник Северного Кавказа. – 2024. – № 3(55). – С. 40-46. – DOI 10.31279/2949-4796-2024-16-55-40-46.
6. *Стифеев, А. И.* Состояние пахотных земель Центрального Черноземья и основные направления воспроизводства их плодородия / А. И. Стифеев, О. В. Никитина // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 2. – С. 30-35.
7. *Сычев, В. Г.* Оценка динамики содержания подвижного фосфора в чернозёмных почвах Центрального Предкавказья / В. Г. Сычев, Ю. И. Гречишкина, А. В. Матвиенко // Плодородие. – 2022. – № 5(128). – С. 3-7. – DOI 10.25680/S19948603.2022.128.01.
8. *Цховребов, В. С.* Почвы и климат Ставрополья / В. С. Цховребов, В. И. Фаизова // Вестник АПК Ставрополья. – 2015. – № 2. – С. 21-34.
9. *Эффективность* воспроизводства земель в сельском хозяйстве: меры по сохранению почвенно-земельного потенциала / Е. Ф. Заворотин, А. А. Гордополова, Н. С. Тюрина, Л. Ю. Евсюкова // Экономика сельского хозяйства России. – 2026. – № 3. – С. 56-65. – DOI 10.32651/263-56.

AND PRODUCTIVITY AND PRODUCTIVITY OF ZONAL SUBTYPES OF CHERNOZEM SOILS OF THE CENTRAL CISCAUCASIA

Grechishkina Yu.I.[2], Sychev V.G.[1], Matvienko A.V.[3]
[1]All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, Moscow, str. Pryanishnikova, 31, 127434, Russia, ainfo@vniia-pr.ru
[2]Stavropol State Agrarian University 355017, Russia, Stavropol Territory, Stavropol, lane. Zootechnical 12, lnwg@mail.ru
[3]Stavropol branch of the Federal State Budgetary Institution "Agrochemical Service of Russia", 356241, Russia, Stavropol Territory, Mikhailovsk, Nikonova str., 65, stavhim@mail.ru

Based on monitoring data from 1965-2025, the article examines the dynamics of agrochemical indicators of the chernozems of the Central Ciscaucasia. A steady decrease in organic matter was found in all subtypes, most pronounced in leached and southern chernozems, with temporary stabilization in the 1990s and 2000s. The mobile phosphorus content has a multi-wave dynamics with a peak in the 1980s and 1990s and subsequent stabilization. Mobile potassium is characterized by high variability and low predictability. The pH reaction is the most stable. Southern and ordinary chernozems are at the greatest risk of degradation.

Key words: soil fertility monitoring, chernozem soils, soil organic matter, mobile phosphorus, mobile potassium, pH reaction, Central Ciscaucasia.