



ISSN 1999-740X (Print)
ISSN 2959-3433 (Online)
№ 1 (73) МАРТ 2026

ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ



Алматы

*Министерство сельского хозяйства Республики Казахстан
НАО «Национальный аграрный научно-образовательный центр»
ТОО «Казахский НИИ почвоведения и агрохимии им. У.У. Успанова»
НАО «Национальная академия наук Республики Казахстан
при президенте Республики Казахстан»*

ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ

№ 1 (73) МАРТ 2026

*Министерство сельского хозяйства Республики Казахстан
НАО «Национальный аграрный научно-образовательный центр»
ТОО «Казахский НИИ почвоведения и агрохимии им. У.У. Успанова»
НАО «Национальная академия наук Республики Казахстан
при президенте Республики Казахстан»*

ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ

№ 1 (73) март 2026

Основан в 2007 г. Выходит 4 раза в год
ISSN 1999-740X (Print); ISSN 2959-3433 (Online)

Главный редактор
Б.У. Сулейменов

Редакционная коллегия:

*Р.Х. Рамазанова (заместитель главного редактора),
М.А. Ибраева (ответственный секретарь),
Георг Гуггенбергер (Германия), А.В. Козлов (Россия),
М.Г. Мустафаев (Азербайджан), М.В. Филипова (Болгария),
Б.М. Амиров, Б.Н. Насиев, Г.А. Сапаров,
М.Т. Егізтай (компьютерная верстка)*

Журнал входит в Перечень изданий, рекомендуемых Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан для публикации основных результатов научной деятельности. Приказ №603 от 12 июля 2024 г.

Зарегистрирован в Министерстве культуры и информации Республики Казахстан. Свидетельство о регистрации № 8457 ЭК от 18.06.2007 г. и перерегистрации № 9898-Ж от 11.02.2009 г.

Входит в Казахстанскую базу цитирования (КазБЦ) и Российскую базу данных научного цитирования (РИНЦ). Размещен в научной электронной библиотеке <https://elibrary.ru>, электронной библиотеке <https://cyberleninka.ru>

Сайт журнала: <https://journal.soil.kz/jour>

С целью объединения усилий, продвижения и популяризации результатов научных изысканий казахстанских ученых в мировом сообществе ТОО «Казахский научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии имени У.У.Успанова» совместно с НАО «Национальная академия наук Республики Казахстан при Президенте Республики Казахстан» издает научный журнал «Почвоведение и агрохимия».

Адрес редакции: 050060, Алматы, улица Байрақ, 10
©Казахский НИИ почвоведения и агрохимии имени У.У. Успанова, 2008

СОДЕРЖАНИЕ

География и генезис почв

- А. Ахатов, В.Б. Нурматова, С.С. Буриев** Влияние комплекса показателей на скорость и степень процесса почвообразования в почвах бассейна реки Кашкадарья в Узбекистане 5

Плодородие почв

- М.А. Ибраева, С.И. Танирбергенов, А.А. Курманбаев, А.И. Сулейменова, А.К. Абай** Гумусное состояние и агрохимическая характеристика почв Жамбылской области в зависимости от типа и сельскохозяйственного использования 22

Экология почв

- М.Ш. Сулейменова, Л.А. Сейтмагзимова, С.У. Стамкулов, С.С. Жолдыбаев, Е.В. Коропоткина** Геохимическая оценка загрязнения почв г. Семей тяжелыми металлами и оценка рисков 36
- М.Г. Хиясов, Б.Н. Насиев, Н.Ж. Жанаталапов, А.К. Беккалиев, А.Е. Өкшебаев** Изменчивость качества почвы в результате динамических воздействий выпаса 49

Агрохимия

- А. Zhapparova, S. Maulenova, E. Saljnikov, K. Aisakulova, K. Karayeva, S. Rakhimgaliev** The effects of organo-mineral nutritional regimes on malus domestica productivity and microbiological markers in southeast Kazakhstan.. 61
- Б.У. Сулейменов, С.И. Танирбергенов, А.Т. Макашева, М.Р. Тулегенова** Влияние агроклиматических факторов на эффективность гуминовых, органо-минеральных удобрений и урожайность ярового ячменя 73

Обзорные статьи

- А. Қазез, К. Бексейтова, Ұ. Жантیکеев, М. Тоқтар, С. Азат** Топырақты ремедиациялаудағы биокөмірдің механизмдері, тиімділігі және қоршаған ортаға әсері 86
- А.А. Курманбаев** Микробиологические индикаторы качества и здоровья почвы 100

CONTENT

Soil geography and genesis

- A. Akhatov, V. Nurmatova, S. Buriev** Influence of a complex of indicators on the rate and extent of the soil formation process in soils of the Kashkadarya river basin in Uzbekistan 5

Soil fertility

- M.A. Ibrayeva, S.I. Tanirbergenov, A.A. Kurmanbayev, A.I. Suleimenova, A.K. Abay** Humus state and agrochemical characteristics of soils of the Zhambyl region depending on the type and agricultural use 22

Soil ecology

- M.Sh. Suleimenova, L.A. Seytmagzimova, S.U. Stamkulov, S.S. Zholdybaev, E.V. Koropotkina** Geochemical assessment of soil pollution of families with heavy metals and risk assessment..... 36
- M.G. Khiyasov, B.N. Nasiyev, N.Zh. Zhanatalapov, A.K. Bekkaliyev, A.E. Okshebayev** Variability of soil quality as a result of dynamic grazing impacts 49

Agrochemistry

- A. Zhapparova, S. Maulenova, E. Saljnikov, K. Aisakulova, K. Karayeva, S. Rakhimgalieva** The effects of organo-mineral nutritional regimes on *malus domestica* productivity and microbiological markers in southeast Kazakhstan .. 61
- B.U. Suleimenov, S.I. Tanirbergenov, A.T. Makasheva, M.R. Tulegenova** The influence of agro-climatic factors on the effectiveness of humic, organo-mineral fertilizers and the yield of spring barley..... 73

Review

- A. Kazez, K. Bexeitova, U. Zhantikeyev, M. Toktar, S. Azat** Mechanism, efficiency and environmental impact of biochar in soil remediation..... 86
- A.A. Kurmanbayev** Microbiological indicators of soil quality and health 100

ГЕОГРАФИЯ И ГЕНЕЗИС ПОЧВ

МРНТИ 68.05.43; 68.05.31; 68.05.33;68.05.35

DOI: 10.51886/1999-740X_2026_1_5

А. Ахатов¹, В.Б. Нурматова^{1*}, С.С. Буриев¹**ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НА СКОРОСТЬ И СТЕПЕНЬ ПРОЦЕССА ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ В ПОЧВАХ БАССЕЙНА РЕКИ КАШКАДАРЬЯ В УЗБЕКИСТАНЕ**

*¹Научно-исследовательский институт окружающей среды и природоохранных технологий при Центрально-Азиатском университете изучения окружающей среды и изменения климата (Green University) и Национальном комитете экологии и изменения климата Республики Узбекистан, 100043, Ташкент, пр. Бунёдкор, 7, а, Узбекистан, *e-mail: nurmatoffkennel@gmail.com*

Аннотация. Изучение скорости почвообразования важно для оценки плодородия почв, прогнозирования изменений в почвенном покрове и разработки методов управления почвенными ресурсами. Скорость процесса почвообразования изучена на территориях с различными биоклиматическими условиями и почвенным покровом в бассейне реки Кашкадарья, Узбекистан. Объектами исследования были целинные почвы вертикальной зональности от пустынного до высокогорных поясов – серо-бурая пустынная почва, такырная почва, типичный серозем, горная коричневая почва, светло-бурая лугово-степная высокогорная почва. Вследствие разнообразия почвообразующих материнских пород, смены биоклиматических и высотных поясов, а также процессов внутрпочвенного выветривания, в почвах наблюдались колебания исходных показателей - энергии кристаллической решетки, содержание аморфного железа и минерала каолинита, и, как следствие, изменение степени скорости процесса почвообразования. Последовательность увеличения степени скорости процесса почвообразования в изученных почвах следующая: такырная почва – типичный серозём – светло-бурая лугово-степная почва – горная коричневая почва – серо-бурая пустынная почва. Углубленное исследование почвообразовательных процессов в биоценозах необходимо для формирования стратегий повышения почвенного плодородия и оптимизации землепользования.

Ключевые слова: почвообразование, выветривание, осадки, испаряемость, энергия, аморфное железо, каолинит.

ВВЕДЕНИЕ

Глобальное потепление оказывает значительное влияние на изменение климата [1], что, в свою очередь, влияет на различные экосистемы и в частности на динамику растительности. Однако, когда речь заходит о почвенном покрове, то прогнозов и исследований, связанных с влиянием глобального потепления, не так много. Это связано прежде всего с тем, что почва представляет собой сложное образование, формирующееся на протяжении длительного времени и подверженное множеству факторов, включая температуру, осадки, состав горных пород, микроорганизмы и т.д. Изменение одного из этих факторов, например, температуры,

может повлечь за собой сложные и зачастую непредсказуемые изменения в почве. Поэтому, хотя и имеется понимание, что глобальное потепление оказывает влияние на почвенный покров, точные и конкретные прогнозы, подобные тем, что существуют для растительности, пока отсутствуют. Однако, имеющиеся обширные материалы по антропогенному почвообразованию, с учетом естественной эволюции почв, позволяют дать оценку направленности и степени проявления почвообразовательного процесса при изменении биоклиматических условий среды [2-8].

Известно, что под факторами почвообразования понимают элементы природной среды, под влиянием кото-

рых образуются почвы. Основоположник почвоведения В.В. Докучаев заложил основы учения о факторах почвообразования. Он первым установил, что формирование почвы тесно связано с физико-географической средой и выделил пять факторов почвообразования – климат, почвообразующие породы, живые и отмершие организмы, возраст и рельеф местности [9]. В современном почвоведении к перечисленным факторам добавляют хозяйственную деятельность человека, грунтовые воды. Наибольшую нагрузку испытывают почвы в агроландшафтах и возникает проблема – как оценить потенциальную способность природной среды к самовосстановлению.

Изучение скорости почвообразования важно, как в науке, так и в практике, поскольку оно позволяет понять, как быстро формируется почва и какие факторы на это влияют. Это знание может быть использовано для оценки плодородия почв, прогнозирования изменений в почвенном покрове и разработки методов управления почвенными ресурсами. Скорость почвообразования играет важную роль при определении типов почв, подтипов, признаков засухи и опустынивания, степени окультуривания почв, в генетическом происхождении и эволюции почв. Почва - это сложная динамичная система, где происходят постоянные процессы обмена энергией и веществами, что изменяет сам процесс почвообразования. Поэтому, с точки зрения генетического почвоведения, мониторинг скорости почвообразования является одним из ключевых направлений исследований.

Климатические условия Узбекистана отличаются резкой континентальностью - резкие перепады температур, низкое годовое количество осадков и высокая испаряемость. Причинами дефицита водных ресурсов Узбекистана являются неравномерность распределения поверхностных вод по территории

страны, достаточно большой разброс значительных временных колебаний стока рек по годам и сезонам, значительный объем использования стока трансграничных рек сопредельными государствами, чрезмерное безвозвратное водопотребление на орошение и потери воды. В годы, когда наблюдаются гидрологическая, почвенная, атмосферная засухи, ситуация с водными ресурсами приобретает критический характер [10, 11]. Устойчивое развитие страны требует рационального использования ограниченных ресурсов пресной воды, запасы которой в основном сосредоточены в бассейнах рек Амударья и Сырдарья. Прогнозируемые темпы потепления, согласно выводам МГЭИК, будут беспрецедентными в ближайшие 100 лет [1, 11-13]. В меняющихся климатических условиях особый интерес вызывает изменение процесса почвообразования и неизбежный переход одних типов почв в другие.

Несмотря на количество проведенных исследований, посвященных изучению содержания элементов, их запасов, влияния различных факторов на динамику в почвах [6-11], тематика почвообразования остается по-прежнему актуальной, учитывая современный тренд изменения климата в регионе [12]. Особенный интерес вызывает проблема истощения почв, используемых в сельском хозяйстве и широко распространенных в Узбекистане, составляющих значительную долю земельного фонда страны. Целью настоящего исследования является изучение скорости почвообразования пяти типов почв бассейна реки Кашкадарья (Кашкадарьинский вилоят, Узбекистан) в различных биоклиматических условиях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в период 2023-2025 гг. В качестве объекта исследования выбраны 5 типов почв бассейна реки Кашкадарья, Кашкадарьинский вилоят, Узбекистан (таблица 1).

Таблица 1 - Географическое положение ключевых почвенных разрезов

Название почвы	Координаты		Абс. выс., м	Географическое привязка разреза
	широта	долгота		
Серо-бурая пустынная	38°51'52'' с.ш.	65°04'19'' в.д.	294	К востоку от города Yangi-Mirishkor
Такырная	38°52'12'' с.ш.	65°07'29'' в.д.	304	К востоку от города Yangi-Mirishkor
Типичный серозем	38°58'44'' с.ш.	66°59'47'' в.д.	579	Предгорья Гиссарского хребта, северный макросклон, на юг от поселка Bay-Kurgan
Горная коричневая	38°53'38'' с.ш.	67°16'08'' в.д.	1723	Гиссарский хребет, северный макросклон, в среднем течении реки Tankhizydaɣa, склон восточной экспозиции
Светло-бурая лугово-степная высокогорная	38°52'38'' с.ш.	67°17'39'' в.д.	2050	Гиссарский хребет, северный макросклон, в верхнем течении реки Tankhizydaɣa, склон восточной экспозиции

Выбор объектов исследования осуществлен с учётом особенностей почвенного покрова и структуры вертикальной поясности бассейна реки Кашкадарья. Профиль заложен от равнинных территорий через предгорья к горным и высокогорным биоклиматическим поясам. Он включает разрезы основных целинных почв региона: Пустынная зона - серо-бурая супесчаная почва на пролювиальных отложениях и такырная тяжёлосуглинистая почва на аллювиальных отложениях; Предгорье - типичный серозём среднесуглинистый на лёссах; Горная зона - горная коричневая среднесуглинистая почва на лёссах; Высокогорная зона - светло-бурая лугово-степная тяжёлосуглинистая почва на лёссовидных суглинках.

В задачи исследования входило полевое изучение морфологических профилей различных почв, отбор почвенных образцов, лабораторно-анали-

тические работы. Полевые исследования, отбор образцов и пробоподготовка выполнены в соответствии с общепринятыми методиками [16]. В образцах определяли гумус по методу И.В. Тюрина [17]; илстые фракции выделяли с помощью центрифугирования по методу М.Ш. Шаймухаметова и К.А. Ворониной [18]. Содержание карбонатов определяли ацидиметрическим методом [16]; энергия кристаллической решетки по В.Р. Волобуеву [19]; аморфное железо (Fe₂O₃) определялось методом Мера-Джексона [20, 21]; каолинит определяли по методике Н.И Горбунова [22].

При количественной оценке интенсивности процессов выветривания и почвообразования особое значение имеет корректный выбор исходных показателей, отражающих направленность и глубину трансформации минерального вещества. В настоящем исследовании

довании в качестве базовых исходных величин были использованы: энергия кристаллической решётки, содержание аморфного железа, а также количество каолинита в верхних слоях почвы и в материнской породе. Нормирование выбранных величин осуществлялось путём сопоставления значений показателей в верхнем слое почвы с их аналогами в материнской породе. Такой подход позволяет исключить влияние литологической неоднородности и выявить относительную степень трансформации минерального вещества. На основе нормированных значений энергии кристаллической решётки, содержания аморфного железа и количества каолинита был рассчитан коэффициент выветривания (К), отражающий скорость и интенсивность почвообразовательного процесса.

Расчет коэффициента выветривания выполнен по формуле (1):

$$K = \frac{E_T F_T K_T}{E_0 F_0 K_0} \quad (1)$$

где: К – коэффициент выветривания;

E_T – энергия кристаллической решетки в верхних слоях почвы, kcal/g;

E_0 – энергия кристаллической решетки материнской породы, kcal/g;

F_T – аморфное железо в верхнем слое почв, %;

F_0 – аморфное железо в материнской породе, %;

K_T – количество каолинита в верхнем слое почвы, %;

K_0 – количество каолинита в материнской породе, %.

Формула (1) представляет собой мультипликативную модель, в которой каждая из исходных величин используется в нормированном виде — как отношение значения показателя в почвенном горизонте к его значению в материнской породе. Такой подход позволяет оценить относительную степень трансформации минерального

вещества, исключая влияние исходных литологических различий.

Отношение E_T/E_0 отражает изменение энергетического состояния кристаллических решёток минералов в процессе почвообразования и характеризует степень внутреннего выветривания и перестройки минеральных структур.

Отношение F_T/F_0 служит показателем интенсивности химического выветривания, связанного с высвобождением и накоплением аморфных форм железа в почвенных горизонтах.

Отношение K_T/K_0 характеризует степень развития вторичных глинистых минералов и отражает глубину почвообразовательных процессов, поскольку каолинит практически отсутствует в материнской породе и формируется преимущественно в результате длительного выветривания первичных минералов.

Таким образом, коэффициент выветривания К является интегральным показателем, позволяющим количественно оценивать скорость и интенсивность почвообразования в различных природных условиях и типах почв.

По результатам расчета коэффициента выветривания в почве определялась степень скорости процесса почвообразования в различных природных условиях и различных почвенных типах, как: <1 – медленный; ≥ 1-3 – средний; >3-5 – интенсивный; >5 – очень интенсивный.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Кашкадарьинский почвенный округ занимает бассейн реки Кашкадарья в пределах одноименного вилоята. Ограничен с северо-востока и юго-востока Зарафшанским и Гиссарским хребтами. Округ открыт на запад и юг к пустыне Кызылкум и включает в равнинной части ее южную подзону.

Отобранные для исследования почвы отличаются историей развития,

связанной с геологией и геоморфологическим строением местности и антропогенным воздействием на них, также зональным положением, климатическими условиями, растительностью, рельефом, характером почвообразующих пород.

Серо-бурая почва (по классификации WRB - Gypsic Calcisols [14]) относится к автоморфным почвам пустынной зоны, приуроченным к относительно древним поверхностям - останцовым плато, древним конусам выноса, речным террасам и дельтам. Почвообразующими породами служат элювий третичных и меловых песчаников, глин, мергелей, известняков, а также древние пролювиальные и аллювиальные отложения, отличающиеся широким распространением скелетности. Формирование происходит в условиях сухого резко континентального климата под пустынной растительностью.

Эти почвы характеризуются низким содержанием гумуса и значительным накоплением карбонатов кальция, гипса и легкорастворимых солей. В маломощном (<1 м) профиле выделяются: тонкая поверхностная корка, светло-серый слоистый подкорковый горизонт, бурый уплотнённый (часто солонцеватый) горизонт, аккумулятивно-карбонатный и гипсовый горизонты (нередко обогащённые водорастворимыми солями). Максимальное содержание карбонатов кальция приурочено к верхней части профиля. Реакция почв щелочная. Для этих почв характерно распространение эфемероидной растительности [15].

Такырная почва (по классификации WRB - Clayic Natric Solonchaks или Endosalic Natric Solonchaks [14]), в зависимости от степени засоления представляет собой элювиальное почвенное образование, сформировавшееся на древнеаллювиальных и проаллювиальных равнинах пустынной зоны. Основные районы её распространения в

Узбекистане - дельты Амударьи и Кашкадарьи.

Наиболее характерная форма залегания такырных почв - комплексы с такырами и остаточными солончаками, встречающиеся под саксаульниками и разреженной полынно-солянковой растительностью с эфемерами. Для них характерно низкое содержание гумуса (менее 1% в верхних горизонтах), слабощелочная реакция среды и бедность подвижными формами фосфора. Особенностью является наличие карбонатов только в поверхностных горизонтах при отсутствии выраженного карбонатного горизонта [15].

Типичный серозём (по классификации WRB - Calcisols [14]) распространён в областях контакта горных сооружений Тянь-Шаня и Памиро-Аллая с равнинами Туранской низменности. Формируясь в условиях, испытывающих влияние горной страны, серозёмы относятся к почвам вертикальной зональности и образуют нижний отдел туранской почвенно-климатической поясности. В Узбекистане, наиболее крупные массивы серозема занимают невысокие отроги горных хребтов, адыры (предгорья) и подгорные пролювиальные равнины, опускаясь на верхние речные террасы. Сероземы распространены на склонах предгорий в пределах высот от 250–400 м до 1300 м. В этих границах сероземный пояс совпадает с аридным климатическим поясом Турана и зоной эфемерово-эфемероидной растительности. Почвообразующими породами служат рыхлые отложения четвертичного возраста - лёссы, а также лёссовидные, менее отсортированные и маломощные пролювиальные наносы; значительно реже серозём формируется на элювии коренных горных пород. Развитие происходит под разнотравно-осочковомытликковым растительным покровом с участием многих видов длительно вегетирующих растений [15].

Горные коричневые почвы (по классификации WRB - Cambisols и Kastanozems, наиболее эродированные варианты - Leptosols [14]) распространены в горах Узбекистана, занимают склоны различной крутизны и экспозиции на высотах от 800–1800 м (иногда до 2500 м). Почвообразующими породами служат делювиальные и лесовидные суглинки, а также карбонатные породы. Эти почвы формируют выраженный пояс: в нижней части выделяется подтип коричневых слабо выщелоченных почв, в верхней - подтип коричневых типичных. Горные коричневые почвы подвержены эрозии, вследствие чего часто встречаются их разновидности с различной степенью эродированности. Типичный профиль коричневых почв характеризуется большой мощностью, хорошо дифференцирован на гумусово-аккумулятивный, метаморфический (срединный) и карбонатно-иллювиальный горизонты. Гумусово-аккумулятивный горизонт имеет серую или темно-серую окраску с коричневым оттенком, суглинистый состав, комковато-зернистую структуру, насыщен корнями растений (дернина), вскипают от 10% соляной кислоты с поверхности. Срединный горизонт отличается коричневой окраской, глинистым гранулометрическим составом, ореховато-комковатой структурой. Карбонатный горизонт хорошо диагностируется по белесой окраске, уплотнен, содержит обильные новообразования вторичных карбонатов (белоглазка, пропитка, псевдомицелий). У сильноэродированных коричневых почв профиль нарушен до карбонатного горизонта. У средне- и слабоэродированных почв верхняя часть профиля фрагментарна, дифференциация на горизонты слабо выражена [15].

Светло-бурая лугово-степная высокогорная почва (по классификации WRB - Leptic Umbrisols [14]) является

основным почвенным типом высокогорий. Она распространена на водоразделах и прилегающих к ним частях склонов в горных системах Западного Тянь-Шаня, Зарафшанского и Гиссарского хребтов. Нижняя граница светло-бурых лугово-степных почв значительно разнится по абсолютной высоте по отдельным хребтам от 1800 до 2800 м. Материнская порода - маломощные элювии и делювии. Эти почвы развиваются под низкотравной растительностью. Почвенный профиль короткий, но гумусовый горизонт довольно мощный (25-27 см) с рыхлой дерниной (около 10 см), буровато-серый малоструктурный порошисто-комковатый; переходный горизонт бескарбонатный, комковатый; элювий почвообразующих пород выщелочен от солей и карбонатов. По гранулометрическому составу эти почвы среднесуглинистые с большим содержанием фракций песка или крупной пыли, что зависит от характера материнской породы. Несмотря на светлую окраску, содержание органического вещества до 7% [15].

Климат региона субтропический, сухой, резкоконтинентальный, которому свойственны большие амплитуды температур воздуха при резко выраженной периодичности выпадения атмосферных осадков с приуроченностью к зимне-весеннему периоду. Абсолютный температурный максимум +45°C, абсолютный минимум -30°C. Суммарная радиация в горах до 7000 МДж/м². Количество осадков варьирует от 80 до 200 мм на равнине и до 1000 мм в горах. Зимы теплые, короткие, с незначительным и неустойчивым снежным покровом. Весна - короткая и ранняя: в апреле устанавливается теплая погода, в мае наступает летний период. Лето - долгое, жаркое, безоблачное, сухое и пыльное. Самый жаркий месяц - июль, иногда август. Максимальная температура воздуха достигает 50°C. Осень нас-

тупает в сентябре: начинают выпадать дожди, температура воздуха понижается, с конца октября возможны заморозки. В Кашкадарьинском округе представлены все типы пустынных почв и полный ряд высотных почвенных поясов Туранской равнины.

Почвы пустынных регионов подвержены ветровой эрозии, для почв предгорных и горных регионов более свойственна водная эрозия. Проведенные исследования показали, что общее содержание гумуса в верхнем горизонте изученных почв варьирует от 0,54 до 6,3%, с уменьшением сверху вниз по профилю (таблица 2). В целом, изученные почвы относятся к категории средней и слабой степени эродированности и содержат от 2 до 5% гумуса. Вертикальное распределение гумуса в изученных почвах относится к регрессивно-аккумулятивному типу [23]. Максимальное количество органического вещества сосредоточено в верхнем слое мощностью 0-80 см, при этом на глубине около 1 м содержание гумуса близко к 1%.

Как известно, органический ($C_{орг}$) и неорганический ($C_{карб}$) углерод составляют единый пул углерода в почве. В засушливых регионах доля $C_{карб}$ часто преобладает. В более гумидных почвах, в верхней выщелачиваемой толще его доля ниже, а с глубиной количество увеличивается, что также может быть обусловлено влиянием карбонатных почвообразующих пород [24]. В изученных нами почвах оценка содержания органического и неорганического углерода показала, что содержание органического углерода от 0,08 до 3,85 %, неорганического - 0,25-4,47% (таблица 2), при этом, вертикальный профиль $C_{карб}$ повторяет общее распределение

карбонатов по глубине. Почвы серо-бурые, такырные и серозёмы карбонатные и среднекарбонатные, выщелоченные, с неясным накоплением в средней части профиля; горная коричневая почва и светло-бурая лугово-степная слабокарбонатны, слабо выщелочены, в поверхностном горизонте содержание карбонатов выше 1% (таблица 2).

Гранулометрический состав изученных почв различный. Серо-бурая пустынная-супесчаная, такырная почва - тяжелосуглинистая, типичные сероземы и горная коричневая - среднесуглинистые, светло-бурая лугово-степная - тяжелосуглинистая. Вертикальное распределение частиц различного размера относительно равномерное, с неясно выраженным накоплением в средней части профиля, что может быть объяснено иллювиальными процессами. Илистая фракция в почвах представляет собой важное депо органического вещества, где органоминеральные взаимодействия обуславливают сосредоточение большого количества $C_{орг}$, и ее доля в изученных почвах варьирует от 6,0 до 32,4% (таблица 2). Содержание физической глины (частицы размером менее 0,01 мм), неравномерное от 7,9 до 76,8 %.

В исследуемом регионе, северо-восточные и юго-восточные склоны Зарафшанского и Гиссарского хребтов, простираются в сторону равнинной пустынной части, то есть охватывают территории от высокогорья до пустыни с различной скоростью процесса почвообразования, на который влияют рельеф местности, осадки, температура, испарение и особенно содержание органического углерода (таблица 3).

Таблица 2 - Содержание углерода, гумуса, карбонатов в почвах Кашкадарьинского вилоята Узбекистана

Глубина, см	Гумус, %	CO ₂ карбонатов, %	Содержание углерода в почве, %		Содержание фракции, мм, %			Содержание физической глины <0,01 мм, %	
			S _{орг}	S _{карб} *	S _{общ}	0,01 - 0,005	0,005-0,001		<0,001
Пустынная зона, почва серо-бурая, супесчаная на пролювиальных отложениях									
0-7	0,54	7,99	0,31	2,18	2,49	5,0	6,8	8,2	20,0
7-28	0,39	7,76	0,23	2,12	2,42	3,5	8,2	14,8	26,5
70-90	0,19	9,11	0,11	2,48	2,71	1,1	0,8	6,0	7,9
Пустынная зона, почва такырная, тяжелосуглинистая на аллювиальных отложениях									
0-13	0,72	7,34	0,42	2,00	2,42	5,2	23,9	32,4	61,5
55-76	0,25	8,86	0,15	2,42	2,57	6,7	12,4	12,1	31,2
160-190	0,13	9,94	0,08	2,71	2,79	17,9	28,3	28,3	76,8
Предгорье, почва типичный серозем, среднесуглинистый на лёссах									
0-5	2,67	6,71	1,55	1,83	3,38	12,7	13,7	8,7	35,1
25-40	1,45	10,36	0,84	2,83	3,67	14,6	14,7	14,7	43,8
230-250	0,50	9,50	0,29	2,59	2,88	14,2	9,2	9,2	32,6
Горная зона, почва горная коричневая, среднесуглинистая на лёссах									
0-6	4,97	1,10	2,88	0,30	3,18	14,4	16,3	10,6	41,3
60-80	1,95	0,88	1,13	0,24	1,37	12,9	15,4	16,6	44,9
240-250	0,38	16,39	0,22	4,47	4,64	12,5	19,5	13,2	45,2
Высокогорная зона, почва светло-бурая лугово-степная, тяжелосуглинистая на лёссовидных суглинках									
0-12	6,63	0,92	3,85	0,25	4,10	17,8	19,6	8,5	45,9
40-60	2,95	1,10	1,71	0,30	2,01	18,3	21,3	12,4	52,0
200-220	0,38	2,82	0,22	0,77	0,99	15,0	17,0	20,1	52,1

Примечание. * углерод карбонатов (неорганический).

Годовое количество осадков увеличивается с высотой от 125 мм/год в пустынной зоне до 995 мм в высокогорье (таблица 3). Годовая испаряемость, напротив уменьшается с высотой от 2119 мм/год в пустынной части до 1345 мм/год в высокогорье. Обширный регион Туранской равнины, куда входит и исследуемая территория, имеет сложный характер атмосферной циркуляции, что обуславливает здесь появление центра формирования засух, неблагоприятных сочетаний тепла и влаги. В период засухи существенно увеличивается испарение с поверхности не только водоёмов, но и почв орошаемых земель, пастбищ, усиливается

транспирация растений. Регулярное повторение таких явлений приводит к концентрации солей в почвах, повышению минерализации грунтовых вод, иссушению верхнего слоя почв. Наиболее подвержены высокому испарению серо-бурые пустынные почвы и такырные почвы, которые формируют так называемые такыры - форма рельефа, образуемая при высыхании засоленных почв в пустынях и полупустынях.

Годовое количество дней с температурой более +10 градусов, также как испаряемость, уменьшается с высотой от 5423 дней в пустынях и до 3000 в высокогорье (таблица 3).

Таблица 3 - Изменение потерь органического углерода в зависимости от климатических показателей

Глубина, см	Годовое кол-во осадков, мм (A)	Годовое кол-во испаряемости, мм (B)	Годовая сумма t ⁰ более +10 °C	Содержание органического углерода в почве, % (C)	Отношение светло-бурой лугово-степной высокогорной почвы к органическому углероду в типах почв, %	Отношение	
						A/B	A/C
Пустынная зона, почва серо-бурая, супесчаная на пролювиальных отложениях							
0-7	125	2119	5423	0,31	8,05	0,06	403,2
7-28				0,23	13,45		543,5
70-90				0,11	50,00		1136
Пустынная зона, почва такырная, тяжелосуглинистая на аллювиальных отложениях							
0-13	164	2100	5015	0,42	10,91	0,08	390,5
55-76				0,15	8,77		1093
160-190				0,08	36,36		2050
Предгорье, почва типичный серозем, среднесуглинистый на лёссах							
0-6	327	1912	4978	1,55	40,26	0,17	212
60-80				0,84	49,12		383
240-250				0,29	132,00		1128
Горная зона, почва горная коричневая, среднесуглинистая на лёссах							
0-6	545	1713	4737	2,88	74,81	0,31	189,2
60-80				1,13	66,08		482,3
240-250				0,22	100,00		2477
Высокогорная зона, почва светло-бурая лугово-степная, тяжелосуглинистая на лёссовидных суглинках							
0-12	995	1345	3000	3,85	100,0	0,74	258,4
40-60				1,71	100,0		582,0
200-220				0,22	100,0		4589

Почвенные условия изучаемого региона достаточно разнообразны. По содержанию органического углерода (до 4% в верхнем слое почвы), выделяется светло-бурая лугово-степная высокогорная почва как наиболее благоприятная для роста и развития растений (таблица 3). По отношению светло-бурой лугово-степной высокогорной почвы к органическому углероду к другим типам почв составляет 100%. На этот показатель прямое влияние оказывают географическое положение региона, количество атмосферных осадков, годовая сумма температур. В результате можно проследить, как изменяется содержание органического углерода и отношение светло-бурой лугово-степной высокогорной почвы к органическому углероду в изученных типах почв – от 0,31% серо-бурой пустынной почвы до 100% у светло-бурых-лугово-степных высокогорных почв.

Оценка соотношения годового количества осадков с годовыми показателями испаряемости и содержанием органического углерода выявила следующие закономерности. Отношение осадков к испаряемости (A/B) отражает водный режим почв и коэффициент увлажнения, демонстрируя рост значений по направлению от равнин к высокогорью - от 0,06 до 0,74, с заметным увеличением от серозёмов. В равнинном пустынном регионе испаряемость примерно в 13 раз превышает количество атмосферных осадков. Отношение осадков к содержанию органического углерода (A/C) характеризует процессы накопления гуминовых и фульвокислот; данные таблицы 3 наглядно демонстрируют увеличение показателя по мере приближения к материнской породе. Увеличение количества осадков способствует развитию растительного покрова, что, в свою очередь, ведёт к росту содержания органического углерода в почве и напрямую влияет на скорость почвообразования.

Напротив, усиление испарения вызывает снижение содержания органического углерода, сопровождающееся сокращением растительного покрова.

Вследствие разнообразия почвообразующих материнских пород изученных почв, смены биоклиматических и высотных поясов, в изученных почвах наблюдались колебания энергии кристаллической решетки, содержания аморфного железа и минерала каолинита. Это в свою очередь привело к изменению коэффициента выветривания и скорости процесса почвообразования (таблица 4).

В изученных почвах показатели энергии кристаллической решетки практически одинаковы: в верхнем горизонте они варьируют от 4188 kcal/g до 4269 kcal/g. В зависимости от накопления частиц различного размера в почвах и процесса внутрпочвенного выветривания, содержание энергии может как уменьшаться, так и увеличиваться по направлению к материнской породе. Выделяются типичный серозём и горная коричневая почва, где заметно накопление энергии в материнской породе от 4407 до 4497 kcal/g, что вероятно связано с их общим образованием на лёссах. Аморфное железо (Fe_2O_3) выделяется в процессе образования почвы и распада минералов. Его содержание в верхнем горизонте варьирует от 0,22 до 0,68 %, с заметным уменьшением сверху вниз по профилю, что связано с процессом внутрпочвенного выветривания (in situ). Содержание каолинита в почвах варьирует как по профилю, так и по его количеству. Меньше всего его содержится в серо-бурой пустынной почве - 1,46 %, наибольшее в такырной почве – от 3,76 % в верхнем слое и до 4,34 % в материнской породе. Сформированные на лёссах типичный серозём и горная коричневая почва, показывают одинаковые значения накоплений каолинита в средней части профиля – 2,19 %.

Таблица 4 - Интенсивность степени скорости процесса почвообразования

Глубина, см	Энергия, kcal/g (E)	Аморфное железо, Fe ₂ O ₃ , % (F)	Каолинит, % (K)	Множитель $E \times F \times K$	$K = \frac{E_T F_T K_T}{E_O F_O K_O}$	Коэффициент выветривания	Степень процесса почвообразования
Пустынная зона, почва серо-бурая супесчаная на пролювиальных отложениях							
0-7	4188	0,22	1,46	1345,19	10,51	4,39	> 5
7-28	4161	0,26	1,73	1871,62	14,62	5,09	> 5
70-90	4184	0,09	0,34	128,03			
Пустынная зона, почва такырная тяжелосуглинистая на аллювиальных отложениях							
0-13	4190	0,47	3,76	7404,57	0,96	0,87	<1
55-76	3892	0,35	2,94	4004,87	0,52	0,68	<1
60-190	4136	0,43	4,34	7718,60			
Предгорье, почва типичный серозём, средне-суглинистый на лёссах							
0-5	4214	0,29	1,25	1557,58	1,31	0,82	≥ 1-3
25-40	4205	0,26	2,19	2394,33	2,05	1,43	≥ 1-3
230-250	4497	0,17	1,53	1164,67			
Горная зона, почва горная коричневая, средне-суглинистая на лёссах							
0-6	4253	0,45	1,98	3789,42	3,56	1,48	>3-5
60-80	4239	0,42	2,19	3899,03	3,67	1,63	>3-5
240-250	4407	0,18	1,34	1062,97			
Высокогорная зона, почва светло-бурая лугово-степная, тяжелосуглинистая на лёссовидных суглинках							
0-12	4269	0,68	1,66	4818,85	2,30	1,24	≥ 1-3
40-60	4269	0,49	1,44	3012,21	1,44	1,07	≥ 1-3
200-220	4213	0,37	1,34	2088,81			
Примечание: <1 – медленный; ≥ 1-3 – средний; >3-5 – интенсивный; > 5 – очень интенсивный							

В почвах пустынной зоны (серобурых и такырных), несмотря на сходные природные условия, направления процесса почвообразования противоположны, что определяется различием гранулометрического состава и количеством коллоидных частиц.

Интенсивность коэффициента выветривания (4,39–5,09) и скорости почвообразования (10,51–14,6) в серобурых почвах обусловлена легким гранулометрическим составом и активным протеканием физических и физико-химических процессов разложения крупных частиц. Особенно выраженные процессы выветривания наблюдаются в нижнем метаморфическом слое (7–28 см), что свидетельствует об более высокой активности почвообразования *in situ* [25]. В этом горизонте происходит активная

трансформация минералов, сопровождающаяся выделением воды при переходе минералов из одного структурного состояния в другое. Высвобождающаяся вода, накапливаясь в почвенном профиле, способствует ускорению внутренних процессов выветривания. Источником влаги в данном случае являются не только атмосферные осадки, но и внутрипочвенные химические реакции. Так, например, при разложении гидрокарбоната кальция происходит образование воды по реакции:



Образующаяся в ходе подобных реакций, вода играет важную роль в активизации химического и физико-химического выветривания, усиливая процессы трансформации минерального вещества в почвенных горизонтах.

В такырной (тяжелой) почве процесс почвообразования протекает значительно медленнее (0,52–0,96), что связано с преобладанием мелких частиц над крупными. Здесь физические, химические и физико-химические процессы выветривания развиваются медленно, и в целом почвообразование осуществляется в течение длительного времени. В почвах предгорной зоны - типичном серозёме отмечаются средние значения коэффициента выветривания (0,82-1,43) и скорости почвообразования (в верхнем слое - 1,31 и в нижнем - 2,05). Эти показатели объясняются быстрой потерей почвенного материала. В горных коричневых почвах процесс идет относительно быстрее, чем в почвах зон предгорий и высокогорий от 3,56 до 3,67. Зона высокогорья оказалась наиболее оптимальной по условиям для протекания почвенных процессов - наибольшее количество осадков, наименьшая испаряемость и наибольшее содержание $C_{орг}$, но несмотря на это коэффициент выветривания (до 1,24) и скорость процесса почвообразования несколько снижена (1,44-2,30). Это может быть объяснено более мягкими биоклиматическими условиями, иным гранулометрическим составом и малым количеством коллоидных частиц.

Наши исследования показали, что скорость процесса почвообразования обусловлена воздействием на почву комплекса показателей, таких как, изменение рельефа местности, климатических условий, характера почвообразующих материнских пород, гранулометрического состава почвы, содержания органического углерода, процесса внутрипочвенного выветривания и др. Изучаемая территория охватывала природные зоны от пустыни до высокогорья, с различной скоростью процесса почвообразования. Протекающие в различных условиях процессы гумусообразования способствовали накоплению в верхнем горизонте почв от 0,54 до

6,3% гумуса и отмечается различная гумусированность профиля и как следствие, различное состояние растительного покрова. Основные показатели коэффициента выветривания и скорости процесса почвообразования - состояние энергии кристаллической решетки, показатели аморфного железа и каолинита уменьшаются или увеличиваются по направлению к материнской породе в зависимости от накопления частиц различного размера в почвах и процесса выветривания. Исходя из полученных результатов, в изученных нами почвах, последовательность увеличения скорости процесса почвообразования можно выразить следующим образом: такырная почва - типичный серозём - светло-бурая лугово-степная почва - горная коричневая почва - серо-бурая пустынная почва. Медленное течение процесса почвообразования в такырной почве обусловлено преобладанием мелких частиц над крупными и медленным течением физических, химических, физико-химических процессов выветривания. Результаты, полученные для серо-бурых пустынных почв, не в полной мере согласуются с общепринятыми представлениями о характере почвообразования в аридных условиях, где данные процессы традиционно рассматриваются как замедленные. Выявленная относительная интенсивность почвообразовательных процессов, по-видимому, обусловлена рядом специфических факторов. Можно предположить, что одной из основных причин является лёгкий гранулометрический состав серо-бурых почв, способствующий интенсификации физических и физико-химических процессов. В ходе трансформации минерального вещества при переходе минералов из одного структурного состояния в другое происходит выделение воды, которая, накапливаясь в почвенном профиле, способствует ускорению внутренних процессов выветривания.

Таким образом, даже в условиях ограниченного внешнего увлажнения формируются предпосылки для активизации почвообразовательных процессов за счёт внутрипочвенных механизмов. Вместе с тем выявленный эффект не может рассматриваться как окончательно установленный и, несомненно, требует дальнейшего детального изучения с привлечением дополнительных экспериментальных данных и расширения спектра исследуемых показателей.

ВЫВОДЫ

1. Скорость почвообразовательных процессов определяется совокупным воздействием природных факторов, включая климат, рельеф, почвообразующие породы, гранулометрический состав почв, содержание органического углерода и интенсивность внутрипочвенного выветривания, что обуславливает значительную пространственную дифференциацию почв от пустынных до высокогорных зон.

2. Показатели коэффициента выветривания (энергия кристаллической

решётки, содержание аморфного железа и количество каолинита) закономерно изменяются по почвенному профилю и отражают различную степень трансформации минерального вещества и интенсивность процессов почвообразования в исследуемых типах почв.

3. Установлена последовательность увеличения скорости почвообразовательных процессов: такырная почва → типичный серозём → светло-бурая лугово-степная почва → горная коричневая почва → серо-бурая пустынная почва. Показано, что относительно высокая интенсивность почвообразовательных процессов в серо-бурых пустынных почвах, не полностью согласующаяся с традиционными представлениями об аридных условиях, вероятно, обусловлена лёгким гранулометрическим составом и активным протеканием физических и физико-химических процессов, сопровождающихся внутрипочвенным образованием воды; данный вывод требует дальнейшего углублённого изучения.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследования, рассмотренные в этой рукописи, были проведены при финансовой поддержке Научно-исследовательского института окружающей среды и природоохранных технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Li J., Chen H., Zhang C. Impacts of climate change on key soil ecosystem services and interactions in Central Asia // *Ecological Indicators*. – 2020. – Vol. 116. – P. 106490. - DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106490>
2. Rosenzweig C., Hillel D. Soils and global climate change: Challenges and opportunities // *Soil science*. – 2000. – Vol. 165, № 1. – P. 47-56. - DOI: [10.1097/00010694-200001000-00007](https://doi.org/10.1097/00010694-200001000-00007)
3. Gelybó G., Tóth E., Farkas C., Horel Á., Kása I., Bakacsi Z. Potential impacts of climate change on soil properties // *Agrokémia és Talajtan*. – 2018. – Vol. 67, № 1. – P. 121-141. - DOI: [10.1556/0088.2018.67.1.9](https://doi.org/10.1556/0088.2018.67.1.9)
4. Liu Y. et al. Dynamic Monitoring of Ecological Environmental Quality in Arid and Semi-Arid Regions: Disparities Among Central Asian Countries and Analysis of Key Driving Factors // *Remote Sensing*. – 2025. – T. 17. – №. 11. – P. 1825. - DOI: <https://doi.org/10.3390/rs17111825>.

5. Карабаев Н.А., Маматканов С.А., Бекболотов Ж.А., Ма С. Воздействие антропогенного фактора и глобального изменения климата на плодородие серозёмов Кыргызстана // Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. КИ Скрябина. – 2014. - № 3. – С. 49-53.
6. Волокитин, М.П. Изменения в процессах почвообразования при глобальном изменении климата // Евразийский союз ученых. – 2019. – №10-2 (67).
7. Ергина Е.И., Артемова Е. А. Климатические и палеоклиматические факторы почвообразования на территории Крымского полуострова // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2024. – № 3 (223). – С. 54-62.
8. Макаров О.А., Демидов В.В., Абдулханова Д.Р., Кубарев Е.Н. Особенности функционирования и развития почв // Агрохимический вестник. – 2025. – № 4. – С. 88-98.
9. Докучаев В.В. Место и роль современного почвообразования в науке и жизни. Избранные сочинение. Т.3. – М: Сельхозгиз, 1949. – 335 с.
10. Чуб В.Е. Изменение климата и его влияние на природно-ресурсный потенциал Республики Узбекистан. Ташкент: САНИГМИ, 2000. – 252 с.
11. Чуб В.Е. Изменение климата и его влияние на гидрометеорологические процессы, агроклиматические и водные ресурсы Республики Узбекистан. – Ташкент: НИГМИ, 2007. – 132 с.
12. Climate change. The Physical Science Basis [Electronic resource] / Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). – 2021. – URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WG1_SPM_Russian.pdf.
13. Спекторман Т.Ю. Динамика показателей засушливости территории Узбекистана в связи с изменением климата // Оценка изменения климата по территории Республики Узбекистан, развитие методических положений оценки уязвимости природной среды. – Бюллетень № 5.–Ташкент: САНИГМИ, 2002. –С. 57-64.
14. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports. - № 106. - Rome: FAO, 2014 (update 2015). – 181 p.
15. Генусов А.З., Горбунов Б.В., Кимберг Н.В. Классификация и диагностика почв Узбекистана // Генезис, география и мелиорация почв Узбекистана. – Ташкент, 1972. – С. 3–49.
16. Методы агрохимических, агрофизических и микробиологических исследований в полевых хлопковых районах. – Ташкент: СоюзНИХИ, 1963. – 440 с.
17. Тюрин И.В. Органическое вещество почв и его роль в почвообразовании и плодородии: учение о почвенном гумусе. – М: Сельхозгиз, 1937. – 289 с.
18. Шаймухамедов М.Ш., Воронина К.А. Методика фракционирования органо-глинных комплексов почв с помощью лабораторных центрифуг // Почвоведение. –1972. – № 8. – С. 134–138.
19. Волобуев В.Р. Опыт расчета энергии кристаллической решетки почвенных минералов // Почвоведение. – 1968. – № 4. – С. 89–93.
20. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. – М: МГУ, 1970. – 487 с.
21. Mehra O.P., Jackson M.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buered with bicarbonate // Proc. 7th Nat. (U.S.) Conf. Clays and Clay Miner. – London: Pergamon Press, 1960. – P. 317–327 - DOI: <http://dx.doi.org/10.1346/CCMN.1958.0070122>.

22. Горбунов Н.И. Минералогия и физическая химия почв. – М: Наука, 1978. – 292 с.
23. Розанов Б.Г. Морфология почв. – М: МГУ, 1983. – 320 с.
24. Akhatov A., Nurmatova V., Usmonova B. The Influence of Slope Exposure, Profile Depth and Erosion Processes on Changes in the Content of Potassium, Phosphorus, and Humus in Brown Soils of Mountain Pastures of Uzbekistan // Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences. – 2024. – Vol. 34, № 2. – 224-234. - DOI: <https://doi.org/10.29133/yutbd.1393784>
25. Лобова Е.В. Почвы пустынной зоны СССР. – М: Наука, 1960. – 364с.

REFERENCES

1. Li J., Chen H., Zhang C. Impacts of climate change on key soil ecosystem services and interactions in Central Asia // Ecological Indicators. – 2020. – Vol. 116. – P. 106490. - DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106490>.
2. Rosenzweig C., Hillel D. Soils and global climate change: Challenges and opportunities. Soil science, – 2000. – Vol. 165, № 1. – P. 47-56. - DOI: 10.1097/00010694-200001000-00007.
3. Gelybó G., Tóth E., Farkas C., Horel Á., Kása I., Bakacsi Z. Potential impacts of climate change on soil properties // Agrokémia és Talajtan. – 2018. – Vol. 67, № 1. – P. 121-141. - DOI: 10.1556/0088.2018.67.1.9.
4. Liu Y. et al. Dynamic Monitoring of Ecological Environmental Quality in Arid and Semi-Arid Regions: Disparities Among Central Asian Countries and Analysis of Key Driving Factors // Remote Sensing. – 2025. – T. 17. – № 11. – P. 1825. - DOI: <https://doi.org/10.3390/rs17111825>.
5. Karabaev N.A., Mamatkanov S.A., Bekbolotov Zh.A., Ma S. Vozdejstvie antropogennogo faktora i globalnogo izmeneniya klimata na plodorodie serozemov Kyr-gyzstana // Vestnik Kyr-gyzskogo nacionalnogo agrarnogo universiteta im. KI Skryabina. – 2014. - № 3. – S. 49-53.
6. Volokitin, M.P. Izmeneniya v processah pochvoobrazovaniya pri globalnom izmenenii klimata // Evrazijskij soyuz uchenyh. – 2019. – №10-2 (67).
7. Ergina E.I., Artemova E.A. Klimaticheskie i paleoklimaticheskie faktory pochvoobrazovaniya na territorii Krymskogo poluostrova // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Estestvennye nauki. – 2024. – № 3 (223). – S. 54-62.
8. Makarov O.A., Demidov V.V., Abdulhanova D.R., Kubarev E. N. Osobennosti funkcionirovaniya i razvitiya pochv // Agrohimicheskij vestnik. – 2025. – №. 4. – S. 88-98.
9. Dokuchaev V.V. Mesto i rol sovremennogo pochvoobrazovaniya v nauke i zhizni. Izbrannye sochinenie. T.III. – Moskva: Selhozgiz, 1949. – 335 s.
10. Chub V.E. Izmenenie klimata i ego vliyanie na prirodno-resursnyj potencial Respubliki Uzbekistan. Tashkent: SANIGMI, 2000. – 252 s.
11. Chub V.E. Izmenenie klimata i ego vliyanie na gidrometeorologicheskie processy, agroklimaticheskie i vodnye resursy Respubliki Uzbekistan. – Tashkent: NIGMI, 2007. – 132 s.
12. Climate change. The Physical Science Basis [Electronic resource] / Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). – 2021. – URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WG1_SPM_Russian.pdf.
13. Spektorman T.Yu. Dinamika pokazatelej zasushlivosti territorii Uzbekistana v svyazi s izmeneniem klimata // Ocenka izmeneniya klimata po territorii Respubliki

Uzbekistan, razvitie metodicheskikh polozhenij ocenki uyazvimosti prirodnoj sredy. Byulleten № 5. – Tashkent: SANIGMI, 2002. – S. 57-64.

14. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports. - № 106. FAO, Rome, 2014 (update 2015). – 181 p.

15. Genusov A.Z., Gorbunov B.V., Kimberg N.V. Klassifikatsiya i diagnostika pochv Uzbekistana // V kn.: Genezis, geografiya i melioratsiya pochv Uzbekistana. Tashkent, 1972. – S. 3–49.

16. Metody agrohimicheskikh, agrofizicheskikh i mikrobiologicheskikh issledovaniy v polevykh hlopkovykh rajonah. – Tashkent: SoyuzNIHI, 1963. – 440 s.

17. Tyurin I.V. Organicheskoe veshstvo pochv i ego rol v pochvoobrazovanii i plodorodii: uchenie o pochvennom gumuse. – M: Selhozgiz, 1937. – 289 s.

18. Shajmuhamedov M.Sh., Voronina K.A. Metodika frakcionirovaniya organo-glinnykh kompleksov pochv s pomoshyu laboratornykh centrifug. // Pochvovedenie. – 1972. – № 8. – S. 134–138.

19. Volobuev V.R. Opyt rascheta energii kristallicheskoj reshetki pochvennykh mineralov // Pochvovedenie. – 1968. – № 4. – S. 89–93.

20. Arinushkina E.V. Rukovodstvo po himicheskomu analizu pochv. – M: MGU, 1970. – 487 s.

21. Mehra O.P., Jackson M.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buered with bicarbonate // Proc. 7th Nat. (U.S.) Conf. Clays and Clay Miner. – London: Pergamon Press, 1960. – P. 317–327 - DOI: <http://dx.doi.org/10.1346/CCMN.1958.0070122>.

22. Gorbunov N.I. Mineralogiya i fizicheskaya himiya pochv. – M: Nauka, 1978. – 292 s.

23. Rozanov B.G. Morfologiya pochv. – M: MGU, 1983. – 320 s.

24. Akhatov A., Nurmatova V., Usmonova B. The Influence of Slope Exposure, Profile Depth and Erosion Processes on Changes in the Content of Potassium, Phosphorus, and Humus in Brown Soils of Mountain Pastures of Uzbekistan // Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences. – 2024. – Vol. 34, № 2. – P. 224-234. - DOI: <https://doi.org/10.29133/yuyutbd.1393784>.

25. Lobova E.V. Pochvy pustynnoj zony SSSR. – M: Nauka, 1960. – 364 s.

ТҮҮЙН

А. Ахатов¹, В. Нурматова^{1*}, С. Бөриев¹

ӨЗБЕКСТАНДАҒЫ ҚАШҚАДАРИЯ ӨЗЕНІ АЛАБЫНЫҢ ТОПЫРАҚТАРЫНДАҒЫ ТОПЫРАҚ ҚАЛЫПТАСУ ПРОЦЕСІНІҢ ЖЫЛДАМДЫҒЫ МЕН ДӘРЕЖЕСІНЕ БІРҚАТАР КӨРСЕТКІШТЕР КЕШЕНІНІҢ ӘСЕРІ

*¹Орталық Азия қоршаған орта және климаттың өзгеруі университетінің
(Жасыл университет) және Өзбекстан Республикасының Экология және
климаттың өзгеруі жөніндегі ұлттық комитетінің жанындағы Қоршаған орта
және табиғатты қорғау технологиялары ғылыми-зерттеу институты,*

100043, Ташкент, Бунёдкор даңғылы, 7а, Өзбекстан,

**e-mail: nurmatoffkennel@gmail.com*

Топырақ түзілу жылдамдығын зерттеу топырақ құнарлылығын бағалау, топырақ жамылғысындағы өзгерістерді болжау және топырақ ресурстарын басқару әдістерін әзірлеу үшін маңызды. Топырақ түзілу процесінің жылдамдығы Қашқадария өзені алабында (Өзбекстан) әртүрлі биоклиматтық жағдайлар мен топырақ жамылғысы бар

аумақтарда зерттелді. Зерттеу нысандары ретінде тік белдеулік бойынша шөлейттен биік таулы белдеулерге дейінгі тың топырақтар алынды: сұр-қоңыр шөл топырағы, тақыр топырағы, типтік сұр топырақ (серозем), таулы қоңыр топырақ, ашық-қоңыр шалғынды-дала биік таулы топырағы. Топырақ түзуші аналық жыныстардың әртүрлілігіне, биоклиматтық және биіктік белдеулердің ауысуына, топырақ ішіндегі үгілу процесіне байланысты топырақтарда бастапқы шамалардың - кристалдық тор энергиясының, аморфты темір мөлшерінің және каолинит минералының құрамының - ауытқуы байқалды, соның нәтижесінде топырақ түзілу процесінің жылдамдығының дәрежесі өзгерді. Зерттелген топырақтарда топырақ түзілу процесі жылдамдығының арту реті келесідей: тақыр топырақ – типтік сұр топырақ – ашық-қоңыр шалғынды-дала топырағы – таулы қоңыр топырақ – сұр-қоңыр шөл топырағы. Биоценоздардағы топырақ түзілу процестерін терең зерттеу топырақ құнарлылығын арттыру стратегияларын қалыптастыру және жер пайдалануды оңтайландыру үшін қажет.

Түйінді сөздер: топырақ түзілу, үгілу, жауын-шашын, булану, энергия, аморфты темір, каолинит.

SUMMARY

A. Akhatov¹, V. Nurmatova^{1*}, S. Buriev¹

INFLUENCE OF A COMPLEX OF INDICATORS ON THE RATE AND EXTENT OF THE SOIL FORMATION PROCESS IN SOILS OF THE KASHKADARYA RIVER BASIN IN UZBEKISTAN

¹*Research Institute of Environment and Nature Protection Technologies under Central Asian University of Environment and Climate Change (Green University) and National Committee of Ecology, and Climate Change of the Republic of Uzbekistan,*

100043, Tashkent, Bunyodkor avenue, 7a, Uzbekistan,

**e-mail: nurmatoffkennel@gmail.com*

Studying the rate of soil formation is important for assessing soil fertility, predicting changes in soil cover, and developing soil resource management methods. This article presents a study examining the rate of soil formation in areas with varying bioclimatic conditions and soil cover in the Kashkadarya River basin, Uzbekistan. The study subjects were virgin soils in a vertical zonation from desert to high-mountain zones: gray-brown desert soil, takyр soil, typical gray soil, mountain brown soil, and light-brown meadow-steppe high-mountain soil. Due to the diversity of parent materials, changing bioclimatic and altitudinal zones, and the process of subsurface weathering, fluctuations in the content of initial parameters-crystalline lattice energy, amorphous iron, and kaolinite-were observed in the soils, leading to changes in the rate of soil formation. The sequence of increasing rates of soil formation in the studied soils is as follows: takyр soil – typical serozem – light brown meadow-steppe soil – mountain brown soil – gray-brown desert soil. In-depth study of soil-forming processes in biocenoses is necessary for developing strategies for increasing soil fertility and optimizing land use.

Keywords: soil formation, weathering, precipitation, evaporation, energy, amorphous iron, kaolinite.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

1. Абдусамат Ахатов – старший научный сотрудник лаборатории защиты земельных ресурсов, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0002-4895-2372>, e-mail: akhatov.2020a@gmail.com

2. Виктория Борисовна Нурматова – старший научный сотрудник лаборатории Технологии защиты водных ресурсов, <https://orcid.org/0000-0001-9610-1727>, e-mail: nurmatoffkennel@gmail.com

3. Салимжан Самеджанович Буриев – Заместитель директора по науке и инновациям, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0002-7585-8576>, e-mail: eco_nii@uznature.uz

ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ

ГРНТИ 68.05.29

DOI: 10.51886/1999-740X_2026_1_22

**М.А. Ибраева^{1*}, С.И. Танирбергенов¹, А.А. Курманбаев¹,
А.И. Сулейменова¹, А.К. Абай¹**

**ГУМУСНОЕ СОСТОЯНИЕ И АГРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВ
ЖАМБЫЛСКОЙ ОБЛАСТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА И
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

*¹Казахский научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии
имени У.У. Успанова, 050060, Алматы, ул. Байрак, 10, Казахстан,*

**e-mail: ibraevamar@mail.ru*

Аннотация. Проведён сравнительный анализ агрохимических показателей почв различных типов Жамбылской области на целинных и пахотных участках и обновленная оценка гумусного состояния с использованием современных агрохимических методов анализа. Установлены закономерности изменения гумусного слоя и агрохимических показателей в зависимости от интенсивности земледелия и антропогенной нагрузки. Выявлено, что распашка и орошение приводят к снижению гумусированности почв и изменению кислотно-щелочных и солевых свойств. Наиболее высокие показатели гумусированности характерны для целинных светло-каштановых карбонатных и лугово-засолённых почв, что обусловлено более благоприятным водным режимом и аккумуляцией органического вещества. Во всех типах почв отмечается закономерное снижение содержания гумуса с глубиной. В пахотных почвах гумусный профиль более выровнен. Содержание общего азота в почвах тесно коррелирует с содержанием гумуса. На низкую подвижность гумусовых соединений, характерных для почв с преобладанием карбонатного и щелочного режима указывает содержание водорастворимого гумуса в исследуемых типах почв не превышающих 0,001–0,009%. О достаточно высокой степени разложения органического вещества и благоприятных условиях для его минерализации свидетельствует соотношение C:N от 6 до 10 в большинстве исследованных горизонтов почв Жамбылской области. Содержание подвижного фосфора в большинстве исследованных почв находится на низком и очень низком уровне, что характерно для почв с щелочной реакцией среды и высоким содержанием кальция. На хорошую естественную обеспеченность обменным калием указывает то, что практически во всех почвах калий характеризуется высокими значениями в пахотных горизонтах. Исследуемые почвы отличаются также высокой степенью насыщенности основаниями, преимущественно кальцием и магнием. К развитию солонцеватости и ухудшению агрофизических свойств лугово-засолённых и орошаемых почв может привести повышенное содержание натрия в них. Реакция почвенного раствора щелочная и его повышение может снизить доступность фосфора и микроэлементов для растений на пахотных участках в условиях орошения. Полученные результаты подтверждают наличие чёткой профильной дифференциации гумуса почв и указывают на существенное влияние как генетического типа почвы, так и антропогенного воздействия на содержание и качество органического вещества.

Ключевые слова: гумус, серозёмы, каштановые почвы, агрохимические показатели, фосфор, калий.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с антропогенной деградацией почв, интенсивно проявляющейся с конца прошлого века, проблема сохранения, повышения и расширенного воспроизводства плодородия становится все более актуальной. По данным

ФАО [1], существующие модели землепользования не обеспечивают устойчивое воспроизводство почвенного плодородия.

Мировое производство продуктов питания на 95% зависит от почвы. При этом последние вследствие неустойчи-

вых методов ведения сельского хозяйства, чрезмерной эксплуатации природных ресурсов и роста численности населения подвергаются все большей нагрузке. Эксперты констатируют, что к 2050 году эрозия почвы может привести к 10-процентному снижению объема производства сельскохозяйственных культур [2]. Почвы играют важнейшую роль в смягчении последствий климатического кризиса и адаптации к ним, т.к. являются одним из крупнейших накопителей углерода. Деградация почв приводит к выбросу в атмосферу углерода. По данным Глобальной карты запасов почвенного органического углерода, почвы могут связывать до 2,05 петаграмма эквивалента CO₂ в год, что компенсирует до 34 процентов выбросов парниковых газов с сельскохозяйственных угодий [2].

В условиях аридного климата формирование почвенного плодородия происходит при ограниченном поступлении органического вещества и преобладании процессов минерализации. Для почв данных регионов характерны низкое содержание гумуса, высокая насыщенность основаниями и щелочная реакция среды, что существенно ограничивает их естественное плодородие [3, 4].

Сельскохозяйственное использование, включающее распашку и орошение, оказывает значительное влияние на гумусное состояние и агрохимические свойства почв, усиливая минерализацию органического вещества и изменяя солевой режим. В этой связи изучение трансформации агрохимических показателей почв под влиянием антропогенной нагрузки является актуальной научной задачей.

Целью настоящей работы является оценка гумусного состояния и агрохимических показателей почв Жамбылской области в зависимости от глубины и характера землепользования (целина и пашня). Жамбылская область раз-

нообразна по климатическим условиям, которые в равнинной части обусловлены географическим положением, а в горных территориях – законом вертикальной зональности.

Данный регион включает различные типы почв - от серозёмов до лугово-степных почв, встречаются также аллювиальные почвы пойм рек. Эти почвы испытывают влияние как природных факторов (климат, рельеф), так и интенсивной агротехники. Анализ карты почвенного покрова Таласского и других районов указывает на необходимость сохранения плодородия почв в условиях сельскохозяйственного использования территории [5].

Почвы агроценозов региона являются ключевым компонентом устойчивого сельского производства. Их биологический потенциал и гумусное состояние напрямую влияют на плодородие, продуктивность пахотных земель и экологическую устойчивость агроландшафтов. Характер почв формируется под влиянием континентального климата, растительности и сельскохозяйственной деятельности, что отражается она их химическом, физическом и биологическом состоянии [6].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования являлись тёмно-каштановые, светло-каштановые карбонатные, лугово-серозёмные, лугово-засолённые почвы, а также северные серозёмы светлые и обыкновенные. Исследования были проведены на целинных и пахотных участках.

Отбор почвенных образцов осуществлялся послойно из горизонтов 0–20, 20–40 и 40–60 см. Исследования проводились с применением традиционных наземных методов в соответствии с требованиями «Общесоюзной инструкции по почвенным обследованиям» [7] и «Руководства по проведению ...» [8].

Для анализа вещественного состава почв были использованы методики,

подробно изложенные в руководстве по общему анализу почв [9].

Обследование почв пашен проведено на основе «Методического руководства по проведению агрохимического обследования почв сельскохозяйственных угодий» [10].

Полевые исследования проводились маршрутным методом с целью уточнения содержания выделенных контуров и границ почвенных зон.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Такие факторы плодородия почвы, как содержание обменного калия и подвижного фосфора, микроэлементов, биологическая активность почвы относятся к сильно динамичным показателям; а кислотноосновные свойства - к умеренно динамичным показателям. Гумусное состояние почвы считают слабо динамичным параметром. Профильные и сезонные изменения перечисленных выше факторов тесно связаны между собой и влияют на развитие растений, поэтому их изучение имеет не только научное, но и практическое значение, заключающееся в создании условий для наиболее полной реализации почвенного плодородия. Необходимо знать критические величины изменения факторов плодородия, используя которые, с одной стороны, можно оптимизировать минеральное питание растений и условия почвенной среды посредством уточнения доз и сроков внесения удобрений и химических мелиорантов, с другой стороны - адаптировать земледелие к возможным стрессовым ситуациям, возникающим в ночве в отдельные периоды вегетационного сезона.

Динамика содержания гумуса, легкогидролизуемого азота, подвижного фосфора и обменного калия в почве зависит от баланса поступления и расходования органического вещества, климатических условий, типа почв и агротехнических приемов.

Анализ данных гумусового состояния почв Жамбылской области показал выраженную зависимость содержания и свойств органического вещества от глубины почвенного профиля и характера землепользования. Во всех исследованных типах почв прослеживается закономерное уменьшение содержания общего гумуса и углерода с глубиной (таблица 1), что обусловлено концентрацией органических остатков и максимальной биологической активностью в верхнем гумусовом горизонте. Содержание общего гумуса варьирует от 0,23 до 2,38%, что соответствует типичным значениям для почв аридной зоны [11-13].

Содержание общего гумуса в слое 0–20 см является максимальным и варьирует в широких пределах в зависимости от типа почвы: от минимальных значений в серозёмах северных светлых до максимальных — в светло-каштановых карбонатных и лугово-засолённых почвах, т.е. наиболее высокие показатели гумусированности характерны для светло-каштановых карбонатных целинных (2,38%) и лугово-засолённых орошаемых почв (1,98%), что видимо обусловлено более благоприятным водным режимом и аккумуляцией органического вещества.

В слоях 20–40 и 40–60 см во всех типах почв отмечается устойчивое снижение данного показателя. При этом в пахотных темно-каштановых почвах гумусный профиль более выровнен, однако содержание гумуса в верхнем слое, как правило, ниже по сравнению с целиной, что свидетельствует об усилении процессов минерализации органического вещества под воздействием обработки [7, 11] и дегумификации в результате сельскохозяйственного использования.

В светло-каштановых почвах наблюдается более выраженное снижение данного показателя по профилю. Так, в нижележащих горизонтах (20–40 и 40–

60 см) его значение соответственно почти в 2,8 и 4,8 раза ниже по сравнению с верхним горизонтом.

Указанная закономерность не характерна ни для целинных, ни для пахотных лугово-сероземных и лугово-засоленных почв, а также для северных светлых и северных обыкновенных сероземов. Для данных типов почв, несмотря на относительно выровненный гумусный профиль, аналогичный наблюдаемому в темно-каштановых почвах, установлено более высокое содержание гумуса в пахотных почвах по сравнению с целинными.

Данное явление обусловлено изменением направленности почвообразовательных процессов при включении почв в систему орошаемого земледелия. Введение орошения как дополнительного фактора агроэкосистемы приводит к ряду изменений. С одной стороны, повышение продуктивности сельскохозяйственных культур при орошении сопровождается увеличением объема отчуждаемой биомассы органического вещества. С другой стороны, существенно трансформируется водный режим почвы.

В условиях орошения отмечаются две основные тенденции динамики содержания и запасов гумуса: их снижение на начальном этапе ирригационного освоения почв с последующей стабилизацией показателей [14, 15].

Таким образом, гумусный слой пахотных почв зачастую характеризуется умеренным содержанием органического вещества. Увеличение же гумуса под влиянием сельскохозяйственных культур - например, до 1,66 % в пахотном слое лугово-сероземной почвы против 1,51% на целине; до 1,98% орошаемой лугово-засоленной почвы против 1,69% целинных вариантов, и 1,31% против 1,23% в сероземах северных обыкновенных соответственно (таблица 1) указывает на возможности управления гумусным состоянием

данных типов почв с помощью агротехники [1], где ключевым фактором, влияющим на гумусный статус являются растительные остатки и качество органического вещества.

Содержание водорастворимого гумуса в исследуемых типах почв не превышает 0,001–0,009%, что указывает на низкую подвижность гумусовых соединений и характерно для почв с преобладанием карбонатного и щелочного режима, каковыми являются почвы исследуемого региона. Это также свидетельствует об устойчивости гумусовых соединений, слабой подвижности органического вещества. Кроме того, данный показатель характеризуется менее выраженной дифференциацией по глубинам, в большинстве почв его содержание либо слабо уменьшается, либо остаётся практически постоянным по профилю. В лугово-засоленных и серозёмных почвах доля водорастворимых форм гумуса сохраняется на повышенном уровне, что указывает на высокую подвижность органического вещества.

Показатель растворимости гумуса демонстрирует противоположную тенденцию по сравнению с общим гумусом: во всех типах почв, он увеличивается с глубиной. Данная форма гумуса оказалась минимальной в каштановых почвах (0,1–0,2 %), возрастает в серозёмах, особенно в нижних горизонтах (до 1,3 %), что говорит о менее стабильном гумусе серозёмов. Минимальные значения характерны для верхнего слоя, тогда как в горизонте 40–60 см растворимость гумуса достигает максимума, особенно в серозёмах северных светлых и пахотных вариантах почв. Это свидетельствует о снижении степени гумификации и увеличении доли легкорастворимых органических соединений в нижних горизонтах.

Содержание органического углерода (C) напрямую связано с уровнем

гумуса и уменьшается вниз по профилю, как и содержание общего гумуса (таблица 1), т.е. здесь наблюдается функциональная зависимость с общим гумусом. В пахотных почвах снижение содержания углерода выражено сильнее, чем в целинных, что подтверждает отрицательное влияние антропогенного воздействия на запасы органического вещества.

Одним из показателей, отражающих специфику органического вещества почв, является отношение C: N, которое служит показателем степени его разложения. Как известно, для большинства гумусовых горизонтов почв характерна величина C:N равная 8-10. Очень высокое отношение (18-20) свойственно красноземам и грубогумусным горизонтам лесных почв. Низкое отношение C: N (2-3) характерно для очень бедных гумусом горизонтов [16].

Соотношение C:N в большинстве исследованных горизонтов почв составляет 6–10, что свидетельствует о достаточно высокой степени разложения органического вещества и благоприятных условиях для его минерализации и характерно для хорошо минерализованного гумуса. В основном отношение C:N характеризуется тенденцией к увеличению с глубиной, особенно ярко выраженной в пахотных горизонтах серозёмов. Увеличение соотношения C:N указывает на ухудшение условий минерализации органического вещества и относительный дефицит азота в нижних слоях почвенного профиля. Соответственно, содержание азота в гумусе возрастает с глубиной, что связано с уменьшением доли углерода и изменением качественного состава гумусовых веществ.

Как видно из таблицы 1 показатели содержания азота в гумусе данных почв варьируют в широких пределах - от 6,4 до 22,6%, что указывает на существенные различия в условиях гумусообразования, степени минерализации органического вещества и уровне антропогенного воздействия. Основная масса значений свидетельствует о удовлетворительном и среднем обеспечении гумуса азотом, характерном для каштановых, луговых и большинства серозёмных почв. В целом, содержание азота в гумусе почв (6,4–13,3%) можно охарактеризовать как среднее, с тенденцией к снижению в условиях распашки и аридного климата, к повышению в луговых и орошаемых почвах. Это также отражает неоднородность почвенного покрова области и различную степень устойчивости гумусного состояния. Пределы значения содержания азота в гумусе в основном отражают недостаточное накопление азота, преобладание углеродистых соединений, замедленное биологическое разложение растительных остатков.

Изучение углеродно-азотного состояния данных типов почв показало, что содержание общего азота в почвах изменяется от 0,028 до 0,163% (таблица 2) и тесно коррелирует с содержанием гумуса, это объясняется тем, что в органическом веществе находится основной запас азота, поэтому почвы с более высоким содержанием органического вещества характеризуются большим содержанием азота. Максимальные значения азота зафиксированы в верхних горизонтах луговых и каштановых почв целины, тогда как в пахотных почвах его содержание снижается вследствие усиленной минерализации [3].

Таблица 1 – Характеристика гумусного состояния основных почв Жамбылской области

Тип почвы	Глубина, см	Гумус общий, %	Гумус водорастворимый, %	Растворимость гумуса, %	C, %	C:N	Содержание N в гумусе
Темно-каштановая нормальная (К _{3^н}), целина	0-20	1,90	0,002	0,1	1,1	7,4	7,8
	20-40	1,14	0,002	0,2	0,7	7,1	8,2
	40-60	0,87	0,002	0,2	0,5	6,4	9,1
Темно-каштановая (К _{3^н}), пашня	0-20	1,48	0,002	0,1	0,9	6,4	9,1
	20-40	1,15	0,001	0,1	0,7	7,5	7,7
	40-60	0,78	0,001	0,1	0,5	5,7	10,1
Светло-каштановая карбонатная (К _{1^{нк}}), целина	0-20	2,38	0,004	0,2	1,4	8,5	6,8
	20-40	0,84	0,003	0,4	0,5	5,2	11,1
	40-60	0,50	0,002	0,4	0,3	5,2	11,2
Светло-каштановая карбонатная (К _{1^{нк}}), пашня	0-20	1,24	0,007	0,6	0,7	5,9	9,8
	20-40	0,81	0,004	0,5	0,5	6,3	9,3
	40-60	0,72	0,005	0,7	0,4	6,8	8,5
Лугово-серозёмная (Сл ^{нз}), целина	0-20	1,51	0,005	0,3	0,9	7,3	7,9
	20-40	1,13	0,004	0,4	0,7	5,6	10,4
	40-60	1,08	0,002	0,2	0,6	8,4	6,9
Лугово-серозёмная (Сл ^{нз}), пашня	0-20	1,66	0,005	0,3	1,0	6,6	8,7
	20-40	1,15	0,003	0,3	0,7	6,2	9,3
	40-60	0,77	0,004	0,5	0,4	5,7	10,3
Лугово-засоленная (Лг ^{зс}), целина	0-20	1,69	0,009	0,5	1,0	8,1	7,2
	20-40	1,53	0,007	0,5	0,9	9,1	6,4
	40-60	0,73	0,004	0,5	0,4	6,5	8,9
Лугово-засоленная (Лг ^{зс}), орошаемая пашня	0-20	1,98	0,006	0,3	1,1	7,9	7,3
	20-40	1,31	0,005	0,4	0,8	9,0	6,4
	40-60	0,62	0,004	0,6	0,4	5,9	9,8
Серозём северный светлый (С _{1с^н}), целина	0-20	0,90	0,004	0,4	0,5	5,9	9,9
	20-40	0,46	0,004	0,9	0,3	4,4	13,3
	40-60	0,31	0,004	1,3	0,2	4,9	11,9
Серозём северный светлый (С _{1с^н}), пашня	0-20	0,81	0,005	0,6	0,5	5,9	9,8
	20-40	0,31	0,003	1,0	0,2	2,6	22,6
	40-60	0,23	0,003	1,3	0,1	4,8	12,2
Серозем северный обыкновенный (С _{2с^н}), целина	0-20	1,23	0,004	0,3	0,7	7,3	8,0
	20-40	0,83	0,004	0,5	0,5	6,4	9,0
	40-60	0,63	0,003	0,5	0,4	5,6	10,3
Серозем северный обыкновенный (С _{2с^н}), пашня	0-20	1,31	0,006	0,5	0,8	8,2	7,1
	20-40	0,63	0,003	0,5	0,4	4,4	13,3
	40-60	0,35	0,003	0,9	0,2	5,5	10,6

Таблица 2 – Агрохимическая характеристика основных почв Жамбылской области

Тип почвы	Глубина, см	Азот общий, %	Азот л/г, мг/кг	P ₂ O ₅ подвижный, мг/кг	K ₂ O обменный, мг/кг	Поглощенные основания, мг-экв./100 гр. почвы				рН
						Ca ²⁺ *	Mg ²⁺	Na ²⁺	K ²⁺	
1	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12
Темно-каштановая нормальная (К _{3^н}), целина	0-20	0,149	43,87	9,33	340,0	15,42	5,31	0,36	0,17	6,7
	20-40	0,093	41,07	4,00	133,3	14,60	3,65	0,36	0,17	7,5
	40-60	0,079	45,30	4,00	96,7	13,43	4,64	0,36	0,17	7,5
Темно-каштановая (К _{3^н}), пашня	0-20	0,135	45,40	18,00	286,7	14,59	2,15	0,37	0,18	7,4
	20-40	0,089	38,27	7,33	126,7	14,93	2,49	0,37	0,18	7,5
	40-60	0,079	42,00	6,00	90,0	12,94	4,31	0,37	0,18	7,6
Светло-каштановая карбонатная (К _{1^{нк}}), целина	0-20	0,163	53,20	18,00	420,0	12,11	2,82	0,46	0,18	7,5
	20-40	0,093	38,93	4,00	193,3	9,79	2,82	0,46	0,11	7,7
	40-60	0,056	35,47	2,00	90,0	8,63	5,64	0,46	0,12	7,8
Светло-каштановая карбонатная (К _{1^{нк}}), пашня	0-20	0,121	73,73	16,00	320,0	9,95	3,82	0,46	0,07	7,6
	20-40	0,075	42,00	4,00	170,0	9,29	2,66	0,46	0,12	7,7
	40-60	0,061	33,60	2,67	116,7	9,62	4,15	0,46	0,12	7,7
Лугово-серозёмная (Сл _{1^{нз}}), целина	0-20	0,120	49,47	10,67	476,7	7,63	6,64	0,46	0,39	7,8
	20-40	0,117	44,80	4,67	213,3	7,96	7,30	0,46	0,12	7,9
	40-60	0,075	43,60	2,67	203,3	8,13	8,96	0,33	0,12	7,8
Лугово-серозёмная (Сл _{1^{нз}}), пашня	0-20	0,145	44,60	13,33	446,7	8,46	6,97	0,45	0,36	7,8
	20-40	0,107	51,83	2,00	160,0	8,29	7,96	0,45	0,13	8,0
	40-60	0,079	45,50	2,00	116,7	5,97	7,63	0,16	0,13	7,9

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12
Лугово-засолённая (Лг ^{зс}), целина	0-20	0,121	40,37	23,33	556,7	11,44	8,30	0,18	0,30	7,6
	20-40	0,098	56,00	8,00	220,0	12,28	8,46	0,62	0,33	7,7
	40-60	0,065	56,93	2,67	146,7	9,62	10,3	1,15	0,13	7,9
Лугово-засолённая (Лг ^{зс}), орошаемая пашня	0-20	0,145	26,13	28,00	590,0	11,94	5,80	0,28	0,68	7,8
	20-40	0,084	60,67	7,33	310,0	11,44	6,97	0,16	0,20	7,9
	40-60	0,061	58,80	5,33	140,0	7,30	6,47	0,12	0,13	8,0
Серозём северный светлый (С ₁ С ^н), целина	0-20	0,089	28,93	10,67	270,0	10,78	3,65	0,39	0,16	7,8
	20-40	0,061	44,80	4,67	106,7	10,78	2,82	0,39	0,13	7,8
	40-60	0,037	36,40	3,33	100,0	9,95	3,82	0,39	0,13	7,8
Серозём северный светлый (С ₁ С ^н), пашня	0-20	0,079	23,33	10,67	266,7	9,78	3,48	0,30	0,10	7,5
	20-40	0,070	45,73	2,00	100,0	10,62	3,48	0,30	0,12	7,6
	40-60	0,028	42,00	1,67	76,7	10,12	4,81	0,30	0,12	7,6
Серозём северный обыкновенный (С ₂ С ^н), целина	0-20	0,098	24,27	14,00	770,0	9,62	2,65	0,30	0,80	7,7
	20-40	0,075	48,53	7,33	490,0	9,29	2,65	0,30	0,39	7,7
	40-60	0,065	45,73	4,67	260,0	8,79	3,15	0,30	0,10	7,8
Серозём северный обыкновенный (С ₂ С ^н), пашня	0-20	0,093	37,33	18,67	790,0	8,13	2,82	0,30	0,54	8,0
	20-40	0,084	49,47	7,33	890,0	11,94	2,49	0,32	0,67	7,7
	40-60	0,037	50,40	2,67	953,3	10,95	5,14	0,71	0,74	8,0

Нами также было определено содержание легкогидролизуемого азота, наиболее динамичного показателя, содержание которого (таблица 2) в почвах целины колебалась в пределах от очень низкой (24,3 мг/кг) в серозёмах северных обыкновенных до повышенной (53,2 мг/кг), в светло-каштановых карбонатных, а на пашне от очень низкой в лугово-засолённых хорошаемых (26,1 мг/кг), до очень высокой (73,7 мг/кг) в светло-каштановых карбонатных.

Полученные данные обеспеченности фосфором указывают на то, что содержание его подвижные формы в большинстве исследованных почв находится на низком и очень низком уровне (2–10 мг/кг) (таблица 2), что характерно для почв с щелочной реакцией среды и высоким содержанием кальция [17, 18]. Повышенные значения подвижного фосфора отмечены на пахотных и орошаемых участках, что связано с применением фосфорных удобрений. Обменный калий характеризуется высокими значениями в пахотных горизонтах (270,0–953 мг/кг) практически во всех почвах, что указывает на хорошую естественную обеспеченность калием и отсутствие калийного дефицита.

Информация о состоянии почвенного поглощающего комплекса дает нам представление о генетических особенностях почв, их эволюции и уровне естественного плодородия [19, 20].

Исследуемые почвы характеризуются высокой степенью насыщенности основаниями, преимущественно кальцием и магнием (таблица 2). В лугово-засолённых и орошаемых почвах отмечено повышенное содержание натрия, что может приводить к развитию солонцеватости и ухудшению агрофизических свойств [17].

Реакция почвенного раствора щелочная (рН 6,7–8,0). На пахотных

участках и в условиях орошения наблюдается тенденция к повышению щелочности, что снижает доступность фосфора и микроэлементов для растений [3, 16].

Характеристика исследуемых почв была бы неполной, если не будут затронуты биологические особенности этих почв. Известно, что разложение целлюлозы идет при оптимальном соотношении C/N не менее 10, поэтому интенсивность ее деструкции является косвенным показателем обогащенности почв доступными формами минерального азота.

Разложение целлюлозы и других компонентов растительных остатков является показателем скорости трансформации свежего органического вещества почвы и характеризует суммарную биологическую активность почв. Тест позволяет косвенно оценить возможности потери или формирования гумуса почв. На диаграмме рисунка 1 представлены данные по деструкции растительного материала за три месяца по типам почв исследуемого региона.

Как видно из данных рисунка 1, очень высокие темпы деструкции органики характерны для каштановых и лугово-серозёмных почв (более 50%) и снижаются в лугово-засолённых и серозёмных почв, где скорость разложения достигала средних значений (20–35%) и высоких (35–50%). Засоление лугово-серозёмных почв ингибирует данный процесс до слабого и среднего уровня. Закономерно также, что скорость деструкции в целинных почвах ниже, чем в пахотных. Исключение составили вариант темно-каштановой почвы серозём обыкновенный. Без значительных поступлений органических удобрений, высокая минерализация органического вещества почв приведет к дальнейшим потерям основного фактора плодородия - гумуса почв.

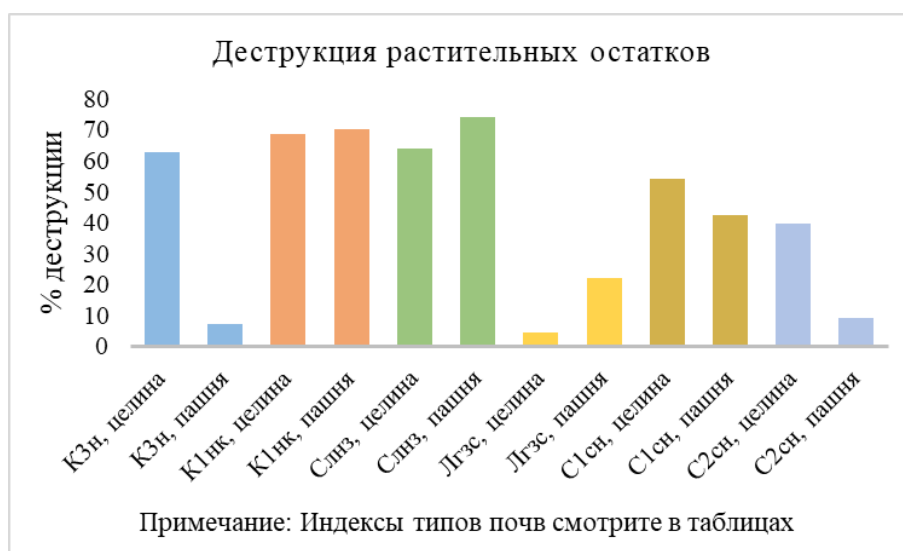


Рисунок 1 - Деструкция растительных остатков в почвах за три месяца

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённые исследования показали, что почвы Жамбылской области характеризуются умеренно низким гумусным состоянием, хорошей обеспеченностью калием, дефицитом подвижного фосфора, высокой насыщенностью основаниями и щелочной реакцией среды. Для повышения плодородия почв рекомендуется систематическое внесение органических удобрений, применение оптимальных систем обработки и внесение фосфорных удобрений.

Сельскохозяйственное использование приводит к снижению содержания гумуса и азота, а также к изменению кислотно-щелочных свойств почв. Основным лимитирующим фактором плодородия исследуемых почв является недостаток подвижного фосфора, что

требует корректировки системы применения фосфорных удобрений и применения агроулучшающих мероприятий.

Одной из причин снижения гумуса почв является интенсивная перепахка почв и другие виды агротехнических обработок. Чтобы снизить потери гумуса почв необходим переход на нулевую и минимальную обработки почв. Полученные данные по разложению растительных остатков показали, что в пашне данный процесс ускоряется.

Таким образом, полученные результаты подтверждают наличие чёткой профильной дифференциации гумусового состояния почв и указывают на существенное влияние как генетического типа почвы, так и антропогенного воздействия на содержание и качество органического вещества.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Данная статья опубликована в рамках программно-целевого финансирования научных исследований Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан на 2024-2026 годы по программе ИРН BR22885097 «Обеспечение рационального использования земель сельскохозяйственного назначения в интенсивном земледелии на основе новых подходов в сохранении и воспроизводстве плодородия почв»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Состояние мировых земельных и водных ресурсов для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства: системы на пределе : сводный доклад / ФАО. - Рим : ФАО, 2021. - 99 с.
2. Деградация почв и устойчивое земледелие : материалы Глобального форума по продовольствию и сельскому хозяйству (GFFA 2022) / Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО). - Рим : ФАО, 2022. - URL: <https://www.fao.org/newsroom/detail/agriculture-soils-degradation-FAO-GFFA-2022/> ru (дата обращения: 27.01.2026).
3. Добровольский Г. В., Никитин Е. Д. Экология почв. — М. : Изд-во МГУ, 2012. - 412 с.
4. Ковда В. А. Основы учения о почвах. - М. : Наука, 1973. - 448 с.
5. Салихов Т. К. Исследование почвенного покрова Таласского района Жамбылской области // Гидрометеорология и экология. - 2023. - № 3. - С. 76–83. - DOI: 10.54668/2789-6323-2021-102-3-68-73.
6. Масатбаев М. К., Хожанов Н. Н. Оценка зависимости компонентов гумуса почв от элементов климата в Жамбылской области // Исследования, результаты. - 2021. - № 1 (89). - С. 137–146.
7. Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользования. - М. : Колос, 1973. - 95 с.
8. Руководство по проведению крупномасштабного почвенного обследования в Казахской ССР. - Алма-Ата, 1979. — 137 с.
9. Аринушкина Е. П. Руководство по химическому анализу почв. - М.: Изд-во МГУ, 1977. - 489 с.
10. Методическое руководство по проведению комплексного агрохимического обследования почв сельскохозяйственных угодий. - п. Научный, 2004. - 35 с.
11. Орлов Д. С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. - М.: Изд-во МГУ, 1990. - 325 с.
12. Тюрин И. В. Органическое вещество почвы и его роль в плодородии. - М.: Наука, 1965. — 320 с.
13. World reference base for soil resources. - Rome : FAO, 2015. - 192 p.
14. Гречин И. П. и др. Практикум по почвоведению. - М. : Колос, 1964. - 423 с.
15. Орлов Д. С., Аниканова В. А., Маркин В. А. Особенности органического вещества орошаемых почв // Проблемы ирригации почв юга черноземной зоны. - М.: Наука, 1980. — С. 35–61.
16. Васильчук А. К., Васильчук Д. Ю., Буцанцева Н. А. и др. Соотношение содержания углерода и азота в почвах ландшафтов долины р. Сенца, Восточный Саян // Арктика и Антарктика. - 2020. - № 1. - DOI: 10.7256/2453-8922.2020.1.32245. - URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=32245 (дата обращения: 27.01.2026).
17. Гамзиков Г. П. Агрохимия. - М. : Колос, 2013. - 479 с.
18. Щербаков А. П. Агрохимия засоленных и солонцеватых почв. - М.: Колос, 1983. - 216 с.
19. Колесников С. И. Экотоксичность химических элементов // Эволюция и деградация почвенного покрова : материалы IV Междунар. науч. конф. - Ставрополь : Секвойя, 2022. - С. 190–191.

20. Осипов А. В., Слюсарев В. Н., Суминский И. И. Влияние нулевой обработки на агрофизические свойства чернозёма выщелоченного Западного Предкавказья при возделывании полевых культур // Энтузиасты аграрной науки. - 2020. - С. 232–237.

REFERENCES

1. Sostoyaniye mirovykh zemelnykh i vodnykh resursov dlya proizvodstva prodovolstviya i vedeniya selskogo khozyaystva: sistemy na predele : svodny doklad / FAO. - Rim : FAO, 2021. - 99 s.
2. Degradatsiya pochv i ustoychivoye zemledeliye : materialy Globalnogo foruma po prodovolstviyu i selskomu khozyaystvu (GFFA 2022) / Prodovolstvennaya i selskokhozyaystvennaya organizatsiya OON (FAO). - Rim : FAO, 2022. - URL: <https://www.fao.org/newsroom/detail/agriculture-soils-degradation-FAO-GFFA-2022/ru> (data obrashcheniya: 27.01.2026).
3. Dobrovolsky G. V., Nikitin Ye. D. Ekologiya pochv. - M. : Izd-vo MGU, 2012.- 412 s.
4. Kovda V. A. Osnovy ucheniya o pochvakh. - M. : Nauka, 1973. - 448 s.
5. Salikhov T. K. Issledovaniye pochvennogo pokrova Talasskogo rayona Zhambylskoy oblasti // Gidrometeorologiya i ekologiya. - 2023. - № 3. - S. 76–83. - DOI: 10.54668/2789-6323-2021-102-3-68-73.
6. Masatbayev M. K., Khozhanov N. N. Otsenka zavisimosti komponentov gumusa pochv ot elementov klimata v Zhambylskoy oblasti // Issledovaniya, rezultaty. - 2021. - № 1 (89). - S. 137–146.
7. Obshchesoyuznaya instruktsiya po pochvennym obsledovaniyam i sostavleniyu krupnomasshtabnykh pochvennykh kart zemlepolzovaniya. - M.: Kolos, 1973. - 95 s.
8. Rukovodstvo po provedeniyu krupnomasshtabnogo pochvennogo obsledovaniya v Kazakhskoy SSR. - Alma-Ata, 1979. - 137 s.
9. Arinushkina Ye. P. Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv. - M. : Izd-vo MGU, 1977. - 489 s.
10. Metodicheskoye rukovodstvo po provedeniyu kompleksnogo agrokhimicheskogo obsledovaniya pochv selskokhozyaystvennykh ugody. - p. Nauchny, 2004. - 35 s.
11. Orlov D. S. Gumusovye kisloty pochv i obshchaya teoriya gumifikatsii. - M. : Izd-vo MGU, 1990. - 325 s.
12. Tyurin I. V. Organicheskoye veshchestvo pochvy i ego rol v plodorodii. - M.: Nauka, 1965. - 320 s.
13. World reference base for soil resources. - Rome : FAO, 2015. - 192 p.
14. Grechin I. P. i dr. Praktikum po pochvovedeniyu. - M. : Kolos, 1964. - 423 s.
15. Orlov D. S., Anikanova V. A., Markin V. A. Osobennosti organicheskogo veshchestva oroshayemykh pochv // Problemy irrigatsii pochv yuga chernozemnoy zony. - M.: Nauka, 1980. - S. 35–61.
16. Vasilchuk A. K., Vasilchuk D. Yu., Butsantseva N. A. i dr. Sootnosheniye sodержaniya ugleroda i azota v pochvakh landshaftov doliny r. Sentsa, Vostochny Sayan // Arktika i Antarktika. - 2020. - № 1. - DOI: 10.7256/2453-8922.2020.1.32245. - URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=32245 (data obrashcheniya: 27.01.2026).
17. Gamzikov G. P. Agrokhiimiya. - M. : Kolos, 2013. - 479 s.
18. Shcherbakov A. P. Agrokhiimiya zasolyonnykh i solontsevatykh pochv. - M.: Kolos, 1983. - 216 s.

19. Kolesnikov S. I. Ekotoksichnost khimicheskikh elementov // Evolyutsiya i degradatsiya pochvennogo pokrova : materialy IV Mezhdunar. nauch. konf. - Stavropol: Sekvooya, 2022. - S. 190–191.

20. Osipov A. V., Slyusarev V. N., Suminsky I. I. Vliyaniye nulevoy obrabotki na agrofizicheskiye svoystva chernozyoma vyshchelochennogo Zapadnogo Predkavkazyia pri vozdeleyvanii polevykh kultur // Entuziasty agrarnoy nauki. - 2020. - S. 232–237.

ТҮЙІН

М.А. Ибраева^{1*}, С.И. Танирбергенов¹, А.А. Курманбаев¹, А.И. Сулейменова¹,
А.К. Абай¹

ЖАМБЫЛ ОБЛЫСЫ ТОПЫРАҚТАРЫНЫҢ ТИПІ МЕН АУЫЛШАРУАШЫЛЫҚТА ПАЙДАЛАНУЫНА БАЙЛАНЫСТЫ ГУМУСТЫҚ ЖАҒДАЙЫ МЕН АГРОХИМИЯЛЫҚ СИПАТТАМАСЫ

¹Ө.О. Оспанов атындағы Қазақ топырақтану және агрохимия ғылыми-
зерттеу институты, 050060, Алматы, Байрақ көшесі, 10, Қазақстан,

*e-mail: ibraevamar@mail.ru

Жамбыл облысының әртүрлі типтегі топырақтарының агрохимиялық көрсеткіштеріне тың және жыртылған алқаптарда салыстырмалы талдау жүргізіліп, заманауи агрохимиялық талдау әдістерін қолдану арқылы гумустық жағдайына жаңартылған бағалау жасалды. Егіншіліктің қарқындылығы мен антропогендік жүктемеге байланысты гумус қабаты мен агрохимиялық көрсеткіштердің өзгеру заңдылықтары анықталды. Жырты және суару топырақтың гумустық құрамының төмендеуіне, сондай-ақ қышқыл-сілтілік және тұздық қасиеттерінің өзгеруіне әкелетіні анықталды. Ең жоғары гумустық көрсеткіштер тың жағдайындағы ашық қоңыр карбонатты және шалғынды-сортаң топырақтарға тән, бұл қолайлы су режимімен және органикалық заттардың жиналуымен түсіндіріледі. Барлық топырақ типтерінде гумус мөлшерінің тереңдік бойынша заңды түрде азаюы байқалады. Жыртылған топырақтарда гумустық профиль біршама тегістелген. Жалпы азот мөлшері топырақтағы гумус құрамымен тығыз корреляцияда болады. Карбонатты және сілтілі режим басым топырақтарға тән гумустық қосылыстардың төмен жылжымалылығы зерттелген топырақтардағы суда еритін гумус мөлшерінің 0,001–0,009 %-дан аспауымен дәлелденеді. Жамбыл облысы топырақтарының зерттелген горизонттарының басым бөлігінде C:N арақатынасының 6–10 аралығында болуы органикалық заттардың ыдырау дәрежесінің жоғары екенін және олардың минералдануына қолайлы жағдай бар екенін көрсетеді. Зерттелген топырақтардың көпшілігінде жылжымалы фосфор мөлшері төмен және өте төмен деңгейде, бұл сілтілі реакциясы және кальций мөлшері жоғары топырақтарға тән. Алмаспалы калийдің жоғары көрсеткіштері жыртылған горизонттарда байқалып, топырақтардың калиймен табиғи қамтамасыз етілуінің жақсы екенін көрсетеді. Зерттелген топырақтар негіздермен, әсіресе кальций мен магниймен жоғары қаныққан. Натрий мөлшерінің жоғары болуы шалғынды-сортаң және суармалы топырақтарда сортаңдану процесінің дамуына және олардың агрофизикалық қасиеттерінің нашарлауына әкелуі мүмкін. Топырақ ерітіндісінің реакциясы сілтілі, ал оның күшеюі суару жағдайында жыртылған учаскелерде фосфор мен микроэлементтердің өсімдіктерге қолжетімділігін төмендетуі ықтимал. Алынған нәтижелер топырақ гумусының айқын профильдік дифференциациясы бар екенін растайды және органикалық заттардың мөлшері мен сапасына топырақтың генетикалық типі мен антропогендік әсердің елеулі ықпал ететінін көрсетеді.

Түйінді сөздер: қарашірік, боз топырақтар, қоңыр топырақтар, агрохимиялық көрсеткіштер, фосфор, калий.

SUMMARY

M.A. Ibrayeva^{1*}, S.I. Tanirbergenov¹, A.A. Kurmanbayev¹, A.I. Suleimenova¹,
A.K. Abay¹

HUMUS STATE AND AGROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF SOILS OF THE ZHAMBYL
REGION DEPENDING ON THE TYPE AND AGRICULTURAL USE

¹*Kazakh Research Institute of Soil Science and Agrochemistry named after
U.U. Uspanov, 050060, Almaty, Bayraq St.. 10, Kazakhstan,*

**e-mail: ibraevamar@mail.ru*

A comparative analysis of the agrochemical indicators of soils of various types in the Zhambyl region was carried out on virgin and cultivated lands, along with an updated assessment of the humus state using modern agrochemical analysis methods. Patterns of changes in the humus layer and agrochemical indicators depending on the intensity of agriculture and anthropogenic load were identified. It was found that plowing and irrigation lead to a decrease in soil humus content and changes in acid-alkaline and salt properties. The highest humus content is characteristic of light brown carbonate and meadow-saline virgin soils, which is due to a more favorable water regime and accumulation of organic matter. In all soil types, there is a regular decrease in humus content with depth. In arable soils, the humus profile is more even. The total nitrogen content in soils closely correlates with the humus content. The low mobility of humus compounds, characteristic of soils with a predominance of carbonate and alkaline conditions, is indicated by the water-soluble humus content in the studied soil types, which does not exceed 0.001–0.009%. The C:N ratio of 6 to 10 in most of the studied soil horizons of the Zhambyl region indicates a sufficiently high degree of organic matter decomposition and favorable conditions for its mineralization. The content of mobile phosphorus in most of the studied soils is at a low and very low level, which is characteristic of soils with an alkaline reaction and a high calcium content. The good natural supply of exchangeable potassium is indicated by the fact that in almost all soils, potassium is characterized by high values in arable horizons. The soils studied are also characterized by a high degree of base saturation, mainly with calcium and magnesium. Increased sodium content in meadow-saline and irrigated soils can lead to the development of salinity and deterioration of their agrophysical properties. The soil solution is alkaline, and its alkalinity can reduce the availability of phosphorus and micronutrients to plants in arable areas under irrigation conditions. The results obtained confirm the presence of a clear profile differentiation of the humus of soils and indicate a significant influence of both the genetic type of soil and anthropogenic impact on the content and quality of organic matter.

Keywords: humus, serozems, chestnut soils, agrochemical indicators, phosphorus, potassium.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

1. Ибраева Мария Аменовна – главный научный сотрудник отдела плодородия и биологии почв, к.с.-х.н., ассоциированный профессор, <https://orcid.org/0000-0002-8635-2909>, e-mail: ibraevamar@mail.ru

2. Танирбергенов Самат Исембаевич – заместитель Председателя Правления по науке, PhD, ассоциированный профессор, <https://orcid.org/0000-0002-6403-0984>, e-mail: tanir_sem@mail.ru

3. Курманбаев Аскар Абылайканович - главный научный сотрудник отдела плодородия и биологии почв, д.б.н., профессор, <https://orcid.org/0000-0003-4384-7634>, e-mail: wberel@gmail.com

4. Сулейменова Алтынай Изтелеуовна – заведующая отделом плодородия и биологии почв, магистр сельскохозяйственных наук, докторант, <https://orcid.org/0009-0006-2130-7572>, e-mail: s.altynai87@mail.ru

5. Абай Аян Күмісбекұлы – младший научный сотрудник отдела плодородия и биологии почв, магистр сельскохозяйственных наук, докторант, <https://orcid.org/0000-0001-9470-9229>, e-mail: rjaad@mail.ru

ЭКОЛОГИЯ ПОЧВ

ГНРТИ 87.21.09

DOI: 10.51886/1999-740X_2026_1_36

М.Ш. Сулейменова^{1*}, Л.А. Сейтмагзимова¹, С.У. Стамкулов¹, С.С. Жолдыбаев^{2*},
Е.В. Коропоткина²

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ГОРОДА СЕМЕЙ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ И ОЦЕНКА РИСКОВ

¹Алматинский технологический университет, 050012, Алматы,

ул. Толе би, 100, Казахстан, *e-mail: s.mariyash@mail.ru, sunkar85@mail.ru

²ТОО «Республиканский научно-производственный и информационный центр «Казэкология», 050010, Алматы, ул. Айтеке би, 36, Казахстан

Аннотация. Проведены исследования почв города Семей в зимний и летний периоды в течение 2024 года. Определены в почве валовые формы: As, Co, Pb, Cu, Zn, Ni, Mn, V, Sr, Sn, Mo, Ba, Ti, Cr, Ag, Li, Nb, Be, Ga, Bi, P, Sc, Y; подвижные формы: Pb, Ni, Zn, Cu, Co; а также содержание нефтепродуктов. Содержание загрязняющих веществ определяли методом пламенной атомно-абсорбционной спектрометрии. Для всех загрязняющих веществ выполнена оценка на соответствие их нормативным показателям в почве. В основу оценки состояния и степени загрязнения почвы положены величины предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в почвах. Выполнены расчеты показателей суммарного загрязнения почв тяжелыми металлами и оценены риски. Установлено, что степень загрязнения почвенного покрова г. Семей относится к допустимой, уровни риска - от низкого до умеренно локального.

Ключевые слова: загрязняющие вещества, тяжелые металлы, суммарный показатель загрязненности почвы, уровни загрязнения, уровни рисков, коэффициент концентрации загрязнителя.

ВВЕДЕНИЕ

Разнообразие почв Восточного Казахстана обусловлено климатическими условиями и рельефом региона. Здесь в равнинной части распространены каштановые почвы, в степных районах и горных системах Алтая - черноземы, горно-луговые типы почв, а в предгорьях и долинах - солонцы и солончаки [1].

Несмотря на наличие многочисленных работ по почвам Восточного Казахстана, посвящённых региональной типологии, природным условиям и справочным характеристикам почвенного покрова [1-3], а также исследованиям на территориях, примыкающих к Семипалатинскому испытательному полигону [4, 5], целостных и сопоставимых по методике исследований городских почв г. Семей длительное время не было. Отдельные публикации затрагивали лишь Семипалатинский регион,

без представления количественных рядов и нормируемых показателей [6], либо рассматривали отдельные районы внутри городской агломерации (например, Восточный посёлок) с ограниченным аналитическим набором и без расчёта суммарного показателя загрязнения (Зс) [7]. Есть и работы, сфокусированные на отдельных элементах или механическом составе, что не формирует общегородской картины [8, 9].

Для изучения почв в регионе наибольший интерес представляет город Семей (бывший Семипалатинск). В настоящее время город Семей является центром области Абай. Город расположен по берегам реки Иртыш, занимает территорию площадью 210 км², население города свыше 328 тысяч человек. Семей является важным культурным, образовательным, торговым и логистическим центром северо-востока Казахстана.

В 2024 году ТОО «РНПИЦ «Казэкология» осуществило целевой мониторинг городских почв Семей по единому плану зимне-летних наблюдений. В рамках исследования были определены валовые формы элементов (As, Co, Pb, Cu, Zn, Ni, Mn, V, Sr, Sn, Mo, Ba, Ti, Cr, Ag, Li, Nb, Be, Ga, Bi, P, Sc, Y), подвижные формы (Pb, Ni, Zn, Cu, Co), а также содержание нефтепродуктов. Дополнительно выполнен расчёт суммарного показателя загрязнения (Zc) и проведена оценка экологических рисков в соответствии с действующими нормативами и методическими документами [10–16]. Настоящая статья обобщает полученные результаты и восполняет выявленный пробел - отсутствие современного, методически сопоставимого обзора состояния городских почв Семей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Отбор образцов почв на территории города Семей осуществляли в соответствии с требованиями ГОСТ 17.4.4.02-2017 «Охрана природы (ССОП). Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа» [17].

Почвенные образцы отбирались методом конверта (прикопки) с верхних горизонтов участков (0-5 см; 5-15 см), наиболее подверженных воздействию загрязнений и накоплениям тяжелых металлов, нефтепродуктов. Радиус отбора проб для формирования смешанных образцов почв составлял 25 м². Пробы отбирались в пяти точках по углам конверта и в центре [17].

Определение содержания кадмия, хрома, кобальта, меди, свинца, марганца, никеля, цинка и других загрязняющих веществ в почве выполняли пламенной атомно-абсорбционной спектрометрией [18]. Данный метод характеризуется высокой чувствительностью и точностью, позволяет выявлять содержание исследуемых элементов в

следовых концентрациях и возможности выполнения анализа сразу нескольких металлов в одной пробе.

Нефтепродукты в почве определяли флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02», аналитическом приборе группы компаний «Люмэкс». Исследования выполнялись в соответствии с действующими методиками анализов [19, 20].

Результаты химико-аналитических измерений подвергались статистической обработке с целью оценки достоверности полученных данных. Измерения растворов согласно методике, выполнялись, по крайней мере дважды, и если значения попадали в допустимый интервал (95%-й доверительный интервал), то значения усреднялись согласно примечанию 2 п.3.5.4 [18]. Относительная ошибка не превышала 5%. Анализы проводились сертифицированной лабораторией.

Оценка рисков выполнена в качественно-сравнительном формате на основе превышений ПДКп/ОБУВ по валовым и подвижным формам загрязняющих веществ; суммарного показателя загрязнения Zc по РНД 03.3.0.4.01-96.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Пробы почв отбирались в 15 точках города Семей (координаты указаны в таблице 1) в январе и июле 2024 года.

В зимний период 2024 года пробы почв отобраны и проанализированы на содержание валовых форм тяжелых металлов (Pb, Cr, Cu, Zn) и нефтепродуктов. Результаты анализов и точки отбора проб почв представлены в таблице 1.

В основу оценки состояния и степени загрязнения почвы положены величины предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в почвах [13].

Концентрации загрязняющих веществ, для которых ПДК не разработаны, оценивались в сравнении со

средними их содержаниями в почвах мира или Кларками в почвах по А.П. Виноградову [21, 22].

Установлено, что в пробах почв, отобранных в зимний период в различных районах города Семей, концентрации свинца находились в пределах –

11-33 мг/кг, хрома 20-57 мг/кг, меди – 9-26,5 мг/кг, цинка – 24-60 мг/кг, нефтепродуктов – 9,96-122 мг/кг. В целом по валовым показателям степень загрязнения почвенного покрова на обследованной территории относится к допустимой.

Таблица 1 - Валовые содержания тяжелых металлов и нефтепродуктов в пробах почвы, отобранных зимой 2024 г. в г. Семей

№ п/п	Содержание микрокомпонента, мг/кг					Место отбора, координаты
	Pb	Cr	Cu	Zn	нефтепродукты	
1	11,6	40,3	19,40	42,2	10,00	(50.422789, 80.252648)
2	23,6	43,6	21,60	55,4	122,00	(50.430149, 80.252660)
3	18,8	48,7	22,40	51,6	58,25	(50.392110, 80.227554)
4	33,8	57,4	22,80	60,2	82,00	(50.405176, 80.201341)
5	14,0	37,0	10,80	25,2	47,75	(50.412200, 80.242496)
6	26,6	56,1	21,63	61,4	80,50	(50.401050, 80.222399)
7	11,3	21,2	9,63	24,0	67,75	(50.417137, 80.248220)
8	21,2	30,2	10,97	24,4	104,00	(50.421983, 80.250775)
9	31,7	60,8	23,60	54,6	12,95	(50.429574, 80.229022)
10	22,5	33,4	17,70	49,8	25,30	(50.369265, 80.260574)
11	12,9	79,3	26,50	56,6	88,50	(50.397848, 80.221268)
12	15,5	25,7	19,90	33,0	11,80	(50.424574, 80.248682)
13	19,2	31,8	22,20	37,7	17,50	(50.419310, 80.251682)
14	11,4	21,1	13,30	28,9	9,90	(50.420545, 80.247990)
15	10,5	18,8	11,60	25,0	7,80	(50.422192, 80.254590)
С ср.	19,0	40,4	18,30	42,0	49,70	
ПДК _п , мг/кг	32,0	не уст.	23,0	110,0	не уст.	(валовая форма)
ПДК _п , мг/кг	6,0	не уст.	3,0	23,0	не уст.	(подвижная форма)
Среднее содержание в почвах мира	10,0	200,0	20,0	50,0		(по А.П. Виноградову)
Кларк в земной коре [24]	16,0	83,0	47,0	83,0		(по А.П. Виноградову)
Примечание: не уст. – не установлено.						

Летние пробы анализировались на содержание 25 микрокомпонентов, включая нефтепродукты. В таблице 2 представлены усредненные показатели спектральных и химических анализов проб почв, отобранных в летний период 2024 года.

При определении концентраций валовых форм мышьяка использовались данные, полученные химическим анализом, так как данные спектрального анализа меньше предела обнару-

жения. Из таблицы 2 видно, что почвы характеризуются повышенными валовыми концентрациями меди, свинца, кобальта, цинка и мышьяка. Эти показатели превышали значения ПДК [13].

Почвы характеризуются и повышенными концентрациями бария, се ребра, ниобия, лития, висмута. Количество бария, серебра и висмута значительно превышает их среднее содержание в земной коре.

Анализ распределения концентраций каждого из изученных микроэлементов показал следующее.

Медь. Концентрации валовой меди по глубине превышают нормируемые показатели. Валовая медь в почвах г. Семей содержится в среднем в пределах 2,0 ПДК_в. Подвижные формы меди в почвах на уровне – 0,81–1,07 ПДК_п. В исследуемых почвах отмечено при-

родное повышенное содержание валовых форм меди.

Свинец. В исследуемых почвах валовый свинец содержится на уровне 1,0-2,0 ПДК_в. (в среднем 1,85 ПДК_в). Изучая характер распределения валовых форм свинца установлено, что в нижних почвенных горизонтах его меньше, чем в верхних, что говорит об антропогенном влиянии.

Таблица 2-Содержание тяжелых металлов в пробах почв, отобранных летом 2024 г.

Содержание, мг/кг	Глубина горизонта, см			ПДК _в , (валов.) мг/кг	ПДК _п , (подв.) мг/кг	Среднее содержание в почвах мира	Кларк в земной коре
	0-10	10-25	средняя				
Cu	<u>45.24</u> -*) 3,23 -*)	<u>48.00</u> 2,45	<u>45.77</u> 3,08	23,0	3,0	20,0	47,0
Pb	<u>65.95</u> 12,29	<u>32.00</u> 9,62	<u>59.42</u> 11,78	32,0	6,0	10,0	16,0
Mn	595,24	640,00	603,85	1500,0	-	850,0	1000,0
Ti	2976,19	640,00	3057,69	-	-	4600,0	4500,0
V	58,10	72,00	60,77	150,0	-	100,0	90,0
Ga	12,14	12,00	12,12	-	-	30,0	19,0
Cr	52,86	42,00	50,77	-	-	200,0	83,0
Ni	<u>32.38</u> 1,39	<u>34.00</u> 1,79	<u>32.69</u> 1,47	35,0	4,0	40,0	58,0
Co	<u>15.00</u> 1,45	<u>17.00</u> 1,62	<u>15.38</u> 1,48	-	5,0	8,0	18,0
Sc	6,71	9,20	7,19	-	-	7,0	10,0
Mo	1,52	2,10	1,63	-	-	2,0	1,1
Sn	3,95	4,40	4,04	-	-	10,0	2,5
Zn	<u>192.38</u> 29,67	<u>210.00</u> 5,48	<u>195.77</u> 25,02	110,0	23,0	50,0	83
As	9,91	10,66	10,05	2,0	-	5,0	1,7
Sr	104,76	110,00	105,77	-	-	300,0	340,0
Y	14,29	16,00	14,62	-	-	50,0	20,0
Ba	3428,57	3200,0	3384,62	-	-	500,0	650,0
Ag	0,29	0,24	0,28	-	-	0,1	0,07
Zr	159,52	170,0	161,54	-	-	300,0	170,0
Li	34,29	30,00	33,46	-	-	30,0	32,0
Nb	7,62	7,60	7,62	-	-	-	0,002
Be	1,60	1,80	1,63	-	-	6,0	3,8
Bi	1,38	1,40	1,38	-	-	0,2	0,009
P	578,57	560,00	575,00	-	-	800,0	930,0
нефтепродукты	48,06	23,19	43,28	не установлено			

* В числителе валовое содержание металлов, а в знаменателе – их подвижные формы.

Подвижные формы свинца в почвах составили 2,0-1,6 мг/кг (в среднем 2,0 ПДК_п). Соотношение превышения валовых и подвижных форм свинца указывает на известный факт связывания металлов органическим веществом почвы [11]. Ранее проведенными исследованиями было установлено, что такая техногенная аномалия почв сформировалась под воздействием воздушного поступления выбросов [10]. Таким образом, накопление подвижных и валовых форм свинца связано с некоторым незначительным техногенным и значительным антропогенным давлением со стороны городов.

Цинк. В исследуемых образцах почв валовые формы цинка содержатся на уровне 1,75-1,9 ПДК_в. (в среднем 1,8 ПДК_в). Отмечается увеличение концентрации цинка по глубине. В то время как подвижная форма цинка значительно снижается по глубине с 1,29 до 0,24 ПДК_п, что скорее всего обусловлено антропогенным давлением со стороны города.

Мышьяк. Усредненные концентрации валовых форм мышьяка превышают установленные нормативы ПДК_в в 5,0-5,3 раза. При этом его концентрации увеличиваются по глубине. Все эти наблюдения подтверждают существование природной геохимической аномалии по исследуемому элементу. Характер распределения концентраций мышьяка по почвенному профилю не позволяет говорить о наличии техногенного давления, здесь присутствует природная геохимическая аномалия рассматриваемого элемента.

Кобальт. Этот микроэлемент не имеет установленного валового ПДК_в, поэтому мы сравнили его концентрации со средними концентрациями в почвах мира (8,0 мг/кг) [23-25]. В исследуемых почвах имеется природное повышенное содержание валового кобальта на уровне 1,9-2,1 долей среднего содержания его в почвах мира. Подвижные формы

кобальта не превышают установленного норматива ПДК_п в почвах и составляют в среднем 0,3 ПДК_п.

Никель. Концентрации валовых и подвижных форм никеля и подвижной форм практически не превышают установленных нормативов.

Барий. Этот микроэлемент не имеет установленного ПДК_п, поэтому его сравнивали со средними концентрациями в почвах мира (500 мг/кг) [23-25]. Отмечено природное повышенное содержание бария на уровне 6,85-6,40 раз среднего содержания его в почвах мира.

Литий. Распределение лития по глубине почв составило 1,1-1,0 раза среднего содержания в почвах мира. Техногенное давление в этом случае отсутствует.

Ниобий. Среднее содержание ниобия в почвах мира по А.П. Виноградову - 0,002 мг/кг [23-25]. В исследуемых почвах ниобий содержится на уровне 7,6 мг/кг по всему почвенному профилю. Распределение концентраций по почвенным горизонтам говорит о геохимической аномалии по рассматриваемому элементу, техногенное давление в этом случае отсутствует.

По элементам, для которых не установлены значения по валовым формам превышения ПДК_в, их содержание в исследуемых почвах было следующее: Ag - 0,1; Mo - 1,52-2,10; Cr - 42,00-52,86; P - 560,00-578,57; Ti - 2976,19-3400,00; Sn - 3,95-4,40; Cr - 42,00-52,86; Zr - 59,52-170,00; Be - 1,6-1,8; Y - 14,29-16,00; Sc - 6,71-9,20 мг/кг [23-25].

Марганец и ванадий. Средние концентрации марганца и ванадия не превысили установленных нормативов в почвах и составляли: марганец - 595,24-640,00 мг/кг (ПДК_п - 1500 мг/кг), ванадий 58,10-72,0 мг/кг (ПДК_п - 150 мг/кг).

Присутствие бора, ртути, таллия, тантала, лантана, церия, иттербия, индия, урана, гадолиния, гафния результатами исследований не обнаружено.

Оценка уровня загрязнения почвенного покрова г. Семей и оценка рисков.

Чтобы определить уровни загрязнения исследуемой территории рассчитаны показатели суммарного загрязнения по формулам 1 и 2 в соответствии с нормативными требованиями [14]:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n Kki - (n - 1) \quad (1)$$

$$\text{где } Kki = \frac{Ci}{ПДК_i} \quad (2)$$

Kki – коэффициент концентрации загрязнителя; n – число веществ.

Расчет показателя суммарного загрязнения произведен по валовым и

подвижным показателям микроэлементов.

В таблицах 3 и 4 представлены результаты расчета показателей суммарного загрязнения тяжелыми металлами и расчет Z_c по почвам г. Семей за 2024 год.

Из данных таблиц следует, что основным антропогенным загрязнителем исследуемой территории является свинец, а также цинк и медь. Загрязнение почв медью и цинком носит как природный, так и техногенный характер. Кобальт, никель и мышьяк также присутствуют в повышенных концентрациях, но их концентрации носят природный характер.

Таблица 3 - Результаты уровней загрязнения и суммарных показателей загрязнения почв г. Семей, рассчитанных по подвижным формам загрязняющих веществ (зимние пробы 2024 г.)

Глубина горизонта, см	Уровни загрязнения (K_{ki})					$\sum Kki$	Z_c
	Cu	Zn	Pb	Ni	Co		
0 - 5	1,08	1,29	2,05	0,35	0,29	5	1
5 - 15	0,82	0,24	1,60	0,45	0,32	3	<1
Среднее	1,03	1,09	1,96	0,37	0,30	5	1

Данные настоящего исследования сопоставлялись с официальными статистическими данными РГП «Казгидромет» по Восточно-Казахстанской и Абайской областям [12].

Следует отметить, что официальные данные требуют уточнения, так как не указано какие именно формы ТМ определялись: валовые или подвижные. Кроме того, сравнение возможно только если пробы отбирались в одно и тоже время, а также с учетом фоновых концентраций загрязнителей. Данные РГП «Казгидромет» охватывают средние значения ТМ в почве в течение апреля-июля-октября. Мы же можем сравнить только с летними отборами проб. Поэтому такое сравнение не совсем корректно, и носит скорее сравнительно-информационный характер.

Состояние загрязнения почв тяжёлыми металлами в городе Семей по данным РГП «Казгидромет» за апрель-

июль-октябрь 2024 года показывают, что в пробах почвы, отобранных в различных районах, концентрации хрома находилась в пределах 0,14-2,65 мг/кг, цинка – 5,01-50,34 мг/кг, свинца – 8,31-71,63 мг/кг (0,26-2,2 ПДК_п), меди – 0,52-4,15 мг/кг (0,17-1,38 ПДК_п), кадмий – 0,08-0,45 мг/кг. В районе СЗЗ «Семейцемент» (ул. Глинки раст. от ист. 1 км) концентрация свинца – 1,1-2,2 ПДК. В районе пр. Ауэзова (от ТЭЦ 1 км) концентрация свинца – 1,0-1,2 ПДК. В районе школы №3 (2 км от центральной котельной) концентрация свинца – 1,1 ПДК. В пробах почвы содержание хрома находилось в пределах нормы. Какая форма хрома определялась, к сожалению, не указана.

Превышения ПДК по свинцу по данным ГКП «Казгидромет» в г. Семей 1,0-2,2 ПДК. В нашем случае летние отборы проб показали средний показатель по свинцу 1,86 ПДК.

Сопоставляя результаты расчетов суммарного показателя загрязнения почвы Zc с оценочными критериями (таблица 5), можно увидеть, что по валовым и подвижным показателям степень загрязнения почвенного покрова

г. Семей относится к допустимой: 1 и 11 по расчетам (менее 16 по таблице).

В таблице 6 представлены результаты оценки рисков по матрице скрининга в соответствии с методическими ориентирами [21-23].

Таблица 4 - Результаты расчета суммарных показателей загрязнения почв г. Семей, рассчитанных по валовым показателям загрязняющих веществ (летние пробы почв 2024 г.)

Глубина горизонта, см	Уровни загрязнения (Kk _i)											
	Co	Zn	Y	Cu	Sn	Mo	Ba	Ni	Mn	V	Ti	Pb
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0-15	1,88	1,75	0,29	1,97	0,40	0,76	6,86	0,93	0,40	0,39	0,65	2,06
5-15	2,13	1,91	0,32	2,09	0,44	1,05	6,40	0,97	0,43	0,48	0,74	1,00
Средняя	1,92	1,78	0,29	1,99	0,40	0,82	6,77	0,93	0,40	0,41	0,66	1,86

Продолжение таблицы 4

Глубина горизонта, см	Уровни загрязнения (Kk _i)										
	Cr	Ag	Zr	Li	Be	Ga	P	As	Sc	$\sum Kk_i$	Zc
1	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0-15	0,26	2,86	0,53	1,14	0,42	0,40	0,72	4,95	0,96	31	11
5-15	0,21	2,40	0,57	1,00	0,47	0,40	0,70	5,33	1,31	30	10
Средняя	0,25	2,77	0,54	0,12	0,25	0,40	0,72	5,03	1,03	31	11

Таблица 5 - Оценочные критерии состояния почвы [14]

Параметры	Состояние			
	допустимое	опасное	критическое	катастрофическое
Суммарный показатель загрязнения Zc	менее 16	16-32	32-128	более 128

Результаты скрининговой оценки.

1. Город в целом: при Zc < 16 состояние почвенного покрова в 2024 г. соответствует допустимому уровню; санитарно-гигиенические риски по сумме факторов - низкие/контролируемые.

2. Свинец (Pb): локально вблизи транспортных коридоров - признаки умеренного риска для детской подгруппы при пылевом воздействии (подвижные формы повышены). Рекомендуется

локальный мониторинг и пылеподавление.

3. Мышьяк (As): выявленная аномалия имеет природный фоновый характер (содержание валовых форм выше ПДК при отсутствии повышения подвижных форм). Техногенное давление маловероятно; санитарные риски оцениваются как низкие/контролируемые, но требуют периодической верификации при точечных превышениях.

Таблица 6 - Матрица скрининга (качественная, по данным 2024 г.)

Элемент	Преобладающий путь	Уровень риска	Основание/замечания	Рекомендации
Pb	ингаляция пыли/пероральный у детей	умеренный локально (вблизи магистралей)	подвижные формы повышены в верхних горизонтах	пылеподавление, озеленение, локальный мониторинг
As	пероральный (валовые формы), подвижные низкие	низкий (фон-литогенный характер)	валовые > ПДКп; подвижные формы не повышены	периодический мониторинг подвижных форм
Zn	пероральный/ингаляционный (пыль)	низкий	валовые повышены, подвижные умеренные	озеленение, исключение оголённого грунта
Cu	пероральный/ингаляционный	низкий	как у Zn	то же
Ni	пероральный	низкий (единичные превышения)	превышения редки	постоянный мониторинг

4. Цинк и медь (Zn, Cu): валовые концентрации повышены, подвижные - умеренные; риски - низкие/контролируемые при стандартном обращении с почвой (озеленение, отсутствие оголённых участков).

5. Прочие элементы (Mn, V, Ni и др.): превышения редки и слабовыраженные; риски - низкие.

Управленческие рекомендации

1) Поддерживать регулярный городской мониторинг содержания валовых и подвижных форм приоритетных элементов (Pb, Zn, Cu, As) по сезону.

2) Реализовать меры пылеподавления вдоль транспортных магистралей (влажная уборка, укрепление/озеленение откосов, сокращение оголённых участков грунта).

3) На участках с фоновыми превышениями As – вести наблюдения за подвижными формами; при их повышении - прицельное выявление источников.

4) При благоустройстве дворовых территорий - использовать чистые

грунтовые материалы и мульчирование, обеспечивая барьер между населением и почвой.

ВЫВОДЫ

Анализ исследований загрязнения почв города Семей в зимний и летний периоды 2024 года показал:

1. По суммарному показателю *Zc* городские почвы Семей (зима/лето-2024) относятся к допустимому уровню ($Zc < 16$); санитарно-гигиенические риски - низкие/контролируемые.

2. Пространственная специфика: локально *Pb* повышен вдоль магистралей; *As* преимущественно фон - литогенный (валовые > ПДКп при низких подвижных); *Zn, Cu* - валовые повышены при умеренных подвижных; *Ni* - редкие/незначительные превышения.

3. Рекомендуемые меры: пылеподавление и озеленение вдоль дорог, исключение оголённого грунта (покрытие/мульча) во дворах, прицельный контроль подвижных форм *As* и регулярный мониторинг приоритетных тяжелых металлов (*Pb, Zn, Cu, Ni*).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколов А.А. Общие особенности почвообразования и почв Восточного Казахстана. – Алма-Ата: Наука КазССР – 1977. – 231 с.
2. Почвы Казахской ССР. Вып. 10: Семипалатинская область / под ред. М.К. Колходжаева и др. Алма-Ата: Наука, 1968. – 476 с.
3. Клебанович В., Ефимова И.А., Прокопович С.Н. Почвы и земельные ресурсы Казахстана. – Минск: БГУ, 2016. – 46 с.
4. Сапакова А.К. Экологическая оценка почвенно-растительного покрова Семипалатинского Прииртышья на содержание свинца. Автор. канд. биол. наук. Новосибирск, 2005 – 24 с.
5. Киргизбаева А.А. и др. Техногенное загрязнение земель Семипалатинского испытательного ядерного полигона тяжёлыми металлами // Вестник КазНУ. Серия химическая, 2014. – №1 (73). – С. 69–73.
6. Кабышева Ж.К. и др. Экологическое состояние почв Семипалатинского региона // Вестник университета Шакарима. Серия технические науки. – 2020. – №4 (92) – С. 218–221.
7. Нуриманов М.Н. и др. Анализ состава почвы Восточного посёлка Семей // Вестник университета Шакарима. Серия технические науки, 2020. – №4 (92). – С. 221–223.
8. Бастаубаева Ш. и др. Итоги почвенных научных исследований в КАЗНИИЗиКР // Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты – 2024. - № 2-1. - С. 248–263. - DOI: <https://doi.org/10.37884/2-1-2024/561>.
9. Абдуажитова А.М., Липихина А.В., Жакупова Ш.Б. Экологическая оценка почвенного покрова Семейского региона на содержание тяжёлых металлов // Успехи современного естествознания. - 2014. – № 5-1. – С. 122-125.
10. Отчёт по мониторингу (зимний период) в рамках проекта целевых показателей качества ОС для области Абай. Алматы: ТОО «РНПИЦ «Казэкология» – 2024. – 52 с.
11. Отчёт по мониторингу (летний период) в рамках проекта целевых показателей качества ОС для области Абай. Алматы: ТОО «РНПИЦ «Казэкология». – 2024. – 102 с.
12. Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды по Восточно-Казахстанской и Абайской областям (2024) [Электронный ресурс]: Казгидромет. – URL: <https://www.kazhydromet.kz/ru/ecology/ezhemesyachnyy-informacionnyy-byulleten-o-sosto-yanii-okruzhayuschey-sredy/2024>
13. Об утверждении Гигиенических нормативов к безопасности среды обитания : приказ Министра здравоохранения РК от 21.04.2021 № ҚР ДСМ-32 [Электронный ресурс]. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2100022595>.
14. РНД 03.3.0.4.01-96. Методические указания по определению уровня загрязнения компонентов окружающей среды токсичными веществами отходов производства и потребления (в т. ч. классификация Zc). - Алматы: Минэкобиоресурсов РК, 1996. - 121 с.
15. Экологический кодекс Республики Казахстан от 2 января 2021 года № 400-VI ЗРК.
16. Об утверждении Правил разработки целевых показателей качества окружающей среды... : приказ и. о. Министра экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан от 19 июля 2021 г. № 257.

17. ГОСТ 17.4.4.02-2017. Охрана природы (ССОП). Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа [Электронный ресурс]. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293737/4293737734.pdf>.

18. СТ РК ИСО 11047-2008 (Метод А). Качество почвы. Определение содержания кадмия, хрома, кобальта, меди, свинца, марганца, никеля и цинка пламенной атомно-абсорбционной спектрометрией.

19. ПНД Ф 16.1:2.21-98. КХАП. Методика измерений массовой доли нефтепродуктов в пробах почв и грунтов флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02» [Электронный ресурс]. – URL: <https://lumex.kz/upload/iblock/a36/ritge6k3h51ucvfjqsaqukw9gzho9k3.pdf>.

20. Об утверждении Методики по проведению крупномасштабных почвенных изысканий земель : приказ Министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 22 февраля 2023 г. № 75 [Электронный ресурс]. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2300031999/links>.

21. Vinogradov A.P. Average content of chemical elements in the main types of igneous rocks of the earth's crust // *Geochemistry*. - 1962 - № 7 - P. 555-571.

22. Виноградов А. П. Полное собрание трудов : в 18 т. Т. 4 : Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах / под ред. Ю. А. Костицына ; науч. ред. Е. М. Коробова ; сост. Л. Д. Виноградова ; Ин-т геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского. — М. : РАН, 2021. — 298 с.

23. СТ РК ISO 15800-2014. Качество почвы. Определение характеристик, необходимых для оценки воздействия на человека.

24. Методические рекомендации по проведению оценки риска здоровью населения от воздействия химических факторов : прил. к приказу Комитета по защите прав потребителей МНЭ РК от 13.12.2016 № 193-ОД.

25. Об утверждении критериев оценки экологической обстановки территорий : приказ и. о. Министра экологии, геологии и природных ресурсов РК от 13.08.2021 № 327 (с изм. от 02.07.2024).

REFERENCES

1. Sokolov A.A. Obshchiye osobennosti pochvoobrazovaniya i pochv Vostochnogo Kazakhstana. – Alma-Ata: Nauka KazSSR – 1977. – 231 s.

2. Pochvy Kazakhskoy SSR. Vyp. 10: Semipalatinskaya oblast / pod red. M.K. Kolkhodzhayeva i dr. Alma-Ata: Nauka, 1968. – 476 s.

3. Klebanovich V., Yefimova I.A., Prokopovich S.N. Pochvy i zemelnye resursy Kazakhstana. – Minsk: BGU, 2016. – 46 s.

4. Sapakova A.K. Ekologicheskaya otsenka pochvenno-rastitelnogo pokrova Semipalatinskogo Priirtyshya na sodержaniye svintsa. Avtor. kand. biol. nauk. Novosibirsk, 2005 – 24 s.

5. Kirgizbayeva A.A. i dr. Tekhnogennoye zagryazneniye zemel Semipalatinskogo ispytatelnogo yadernogo poligona tyazhyolymi metallami // *Vestnik KazNU. Seriya khimicheskaya*, 2014. – №1 (73). – S. 69-73.

6. Kabysheva Zh.K. i dr. Ekologicheskoye sostoyaniye pochv Semipalatinskogo regiona // *Vestnik universiteta Shakarima. Seriya tekhnicheskkiye nauki*. – 2020. – №4 (92) – S. 218-221.

7. Nurimanov M.N. i dr. Analiz sostava pochvy Vostochnogo posyolka Semeya // *Vestnik universiteta Shakarima. Seriya tekhnicheskkiye nauki*, 2020. – №4 (92). – S. 221-223.

8. Bastaubayeva Sh. i dr. Itogi pochvennykh nauchnykh issledovaniy v KAZNIIZiKR // Izdenister, nətizheler – Issledovaniya, rezultaty – 2024. - № 2-1. - С. 248–263. - DOI: <https://doi.org/10.37884/2-1-2024/561>.

9. Abduazhitova A.M., Lipikhina A.V., Zhakupova Sh.B. Ekologicheskaya otsenka pochvennogo pokrova Semeyskogo regiona na sodержaniye tyazhyolykh metallov // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. - 2014. – № 5-1. – S. 122-125.

10. Otchyot po monitoringu (zimny period) v ramkakh proyekta tselevykh pokazateley kachestva OS dlya oblasti Abay. Almaty: TOO «RNPITs «Kazekologiya» – 2024. – 52 s.

11. Otchyot po monitoringu (letny period) v ramkakh proyekta tselevykh pokazateley kachestva OS dlya oblasti Abay. Almaty: TOO «RNPITs «Kazekologiya». – 2024. – 102 s.

12. Informatsionny byulleten o sostoyanii okruzhayushchey sredy po Vostochno-Kazakhstanskoy i Abayskoy oblasti (2024) [Elektronny resurs]: Kazgidromet. – URL: <https://www.kazhydromet.kz/ru/ecology/ezhemesyachnyy-informacionnyy-byulleten-o-sostoyanii-okruzhayushchey-sredy/2024>.

13. Ob utverzhdenii Gigiyenicheskikh normativov k bezopasnosti sredy obitaniya : prikaz Ministra zdavookhraneniya RK ot 21.04.2021 № ҚР DSM-32 [Elektronny resurs]. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2100022595>.

14. RND 03.3.0.4.01-96. Metodicheskiye ukazaniya po opredeleniyu urovnya zagryazneniya komponentov okruzhayushchey sredy toksichnymi veshchestvami otkhodov proizvodstva i potrebleniya (v t. ch. klassifikatsiya Zc). - Almaty: Minekobiore-sursov RK, 1996. - 121 s.

15. Ekologichesky kodeks Respubliki Kazakhstan ot 2 yanvarya 2021 goda № 400-VI ZRK.

16. Ob utverzhdenii Pravil razrabotki tselevykh pokazateley kachestva okruzhayushchey sredy... : prikaz i. o. Ministra ekologii, geologii i prirodnykh resursov Respubliki Kazakhstan ot 19 iyulya 2021 g. № 257.

17. GOST 17.4.4.02–2017. Okhrana prirody (SSOP). Pochvy. Metody otbora i podgotovki prob dlya khimicheskogo, bakteriologicheskogo, gelmintologicheskogo analiza [Elektronny resurs]. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293737/4293737734.pdf>.

18. ST RK ISO 11047-2008 (Metod A). Kachestvo pochvy. Opredeleniye sodержaniya kadmiya, khroma, kobalta, medi, svintsa, margantsa, nikelya i tsinka plamennoy atomno-absorbtsionnoy spektrometriyey.

19. PND F 16.1:2.21–98. KKhAP. Metodika izmereny massovoy doli nefteproduktov v probakh pochv i gruntov fluorimetricheskim metodom na analizatore zhidkosti «Flyuorat-02» [Elektronny resurs]. – URL: <https://lumex.kz/upload/iblock/a36/ritge6k3h51ycvfjqsaqukw9gzho9k3.pdf>.

20. Ob utverzhdenii Metodiki po provedeniyu krupnomasshtabnykh pochvennykh izyskany zemel : prikaz Ministra selskogo khozyaystva Respubliki Kazakhstan ot 22 fevralya 2023 g. № 75 [Elektronny resurs]. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2300031999/links>.

21. Vinogradov A.P. Average content of chemical elements in the main types of igneous rocks of the earth's crust // Geochemistry. - 1962 - № 7 - P. 555-571.

22. Vinogradov A. P. Polnoye sobraniye trudov : v 18 t. T. 4 : Geokhimiya redkikh i rasseyannykh elementov v pochvakh / pod red. Yu. A. Kostitsyna ; nauch. red. Ye. M. Korobova ; sost. L. D. Vinogradova ; In-t geokhimii i analiticheskoy khimii im. V. I. Vernadskogo. - M. : RAN, 2021. — 298 s.

23. ST RK ISO 15800-2014. Kachestvo pochvy. Opredeleniye kharakteristik, neobkhodimyykh dlya otsenki vozdeystviya na cheloveka.

24. Metodicheskiye rekomendatsii po provedeniyu otsenki riska zdorovyu naseleniya ot vozdeystviya khimicheskikh faktorov : pril. k prikazu Komiteta po zashchite prav potrebiteley MNE RK ot 13.12.2016 № 193-OD.

25. Ob utverzhdenii kriteriyev otsenki ekologicheskoy obstanovki territory : prikaz i. o. Ministra ekologii, geologii i prirodnyykh resursov RK ot 13.08.2021 № 327 (s izm. ot 02.07.2024).

ТҮЙІН

М.Ш. Сулейменова^{1*}, Л.Ә. Сейтмагзимова¹, С.У. Стамқұлов¹,

С.С. Жолдыбаев^{2*}, Е.В. Коропоткина²

АУЫР МЕТАЛДАРМЕН ТОПЫРАҚТЫҢ ЛАСТАНУЫН ГЕОХИМИЯЛЫҚ БАҒАЛАУ ЖӘНЕ ТӘУЕКЕЛДЕРДІ БАҒАЛАУ

¹Алматы технологиялық университеті,

050012, Алматы, Төле би көшесі, 100, Қазақстан;

²«Қазэкология» Республикалық ғылыми-өндірістік және ақпараттық орталығы» ЖШС, 050010, Алматы, Әйтеке би көшесі, 36, Қазақстан,

*e-mail: s.mariyash@mail.ru, sunkar85@mail.ru

2024 жыл бойы Семей қаласының топырақтарына қысқы және жазғы кезеңдерде зерттеулер жүргізілді. Топырақта келесі элементтердің жалпы түрі анықталды: As, Co, Pb, Cu, Zn, Ni, Mn, V, Sr, Sn, Mo, Ba, Ti, Cr, Ag, Li, Nb, Be, Ga, Bi, P, Sc, Y; жылжымалы формалары: Pb, Ni, Zn, Cu, Co; сондай-ақ мұнай өнімдерінің мөлшері зерттелді. Ластаушы заттардың мөлшері жалынды атомдық-абсорбциялық спекторметрия әдісімен анықталды. Барлық ластаушы заттар бойынша олардың топырақтағы нормативтік көрсеткіштерге сәйкестігіне бағалау жүргізілді. Топырақтың жай-күйі мен ластану дәрежесін бағалау ластаушы заттардың топырақтағы шекті рұқсат етілген концентрациялары (ШРК) негізінде жүзеге асырылды. Ауыр металдармен топырақтың жиынтық ластану көрсеткіштері есептеліп, тәуекел деңгейлері бағаланды. Зерттеу нәтижелері бойынша Семей қаласының топырақ жамылғысының ластану дәрежесі рұқсат етілген деңгейге жатады, ал тәуекел деңгейлері төменнен орташа жергілікті деңгейге дейін деп бағаланды.

Түйінді сөздер: ластаушы заттар, ауыр металдар, жалпы мөлшері, жылжымалы формалар, топырақтың жиынтық ластану көрсеткіші, ластану деңгейлері, тәуекел деңгейлері, ластаушының концентрация коэффициенті.

SUMMARY

M.Sh. Suleimenova^{1*}, L.A. Seytmagzimova¹, S.U. Stamkulov¹,

S.S. Zholdybaev^{2*}, E.V. Koropotkina²

GEOCHEMICAL ASSESSMENT OF SOIL POLLUTION OF FAMILIES WITH HEAVY METALS AND RISK ASSESSMENT

¹Almaty Technological University, 050012, Almaty, Tole bi St., 100, Kazakhstan;

*e-mail: s.mariyash@mail.ru, sunkar85@mail.ru

²RPC Kazekologiya LLP, 050010, Almaty, Aiteke bi St., 36, Kazakhstan

Studies of the soils of the city of Semey were carried out in the winter and summer periods during 2024. Gross forms defined in soil are As, Co, Pb, Cu, Zn, Ni, Mn, V, Sr, Sn, Mo, Ba, Ti, Cr, Ag, Li, Nb, Be, Ga, Bi, P, Sc, Y; mobile forms: Pb, Ni, Zn, Cu, Co; and petroleum product content. The content of contaminants was determined by flame atomic absorption spectrometry. All pollutants were assessed for compliance with their regulatory indicators in the soil. The assessment of the

state and degree of soil pollution is based on the values of the maximum permissible concentrations (MPC) of pollutants in soils. Calculations of indicators of total soil pollution with heavy metals were performed and risks were assessed. It was established that the degree of pollution of the soil cover of Semey is acceptable, the risk levels are from low to moderately local.

Keywords: pollutants, heavy metals, gross content, mobile forms, total soil contamination index, pollution levels, risk levels, pollutant concentration coefficient.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

1. Сулейменова Мария Шаяхметовна – заведующая кафедрой химии, химической технологии и экологии, к.х.н., профессор, <https://orcid.org/0000-0001-5455-6475>, e-mail: s.mariyash@mail.ru

2. Сейтмагзимова Лаззат Адебовна – ассистент-профессор кафедры химии, химической технологии и экологии, к.т.н., <https://orcid.org/0009-0006-5693-2714>, e-mail: lseytmag@mail.ru

3. Сакен Утембекович Стамкулов – ассистент-профессор кафедры химии, химической технологии и экологии, к.т.н., <https://orcid.org/0009-0008-8883-1795>, e-mail: saoust@yandex.ru

4. Сункар Советжанович Жолдыбаев – директор испытательной лаборатории, <https://orcid.org/0000-0001-9637-9913>, e-mail: sunkar85@mail.ru

5. Елена Валерьевна Коропоткина - начальник отдела экологического проектирования и нормирования, к.г.н., <https://orcid.org/0009-0003-6427-5310>, e-mail: baimakova1@mail.ru

ГРНТИ 68.35.47; 68.05.43; 87.35.29

DOI: 10.51886/1999-740X_2026_1_49

**М.Г. Хиясов¹, Б.Н. Насиев^{1*}, Н.Ж. Жанаталапов¹, А.К. Беккалиев¹,
А.Е. Өкшебаев¹**

ИЗМЕНЧИВОСТЬ КАЧЕСТВА ПОЧВЫ В РЕЗУЛЬТАТЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ВЫПАСА

*¹Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, 090009, Уральск, ул. Жангир хана, 51, Казахстан, *e-mail: veivit.66@mail.ru*

Аннотация. Сохранение качества почвы пастбищных экосистем является ключевым фактором производства полноценных кормов для животноводства и обеспечения продовольственной безопасности на национальном уровне. Для эффективного планирования землепользования и устойчивого управления пастбищными ресурсами в Казахстане и других странах, оценка качества почвы и динамики изменения её свойств под воздействием выпаса сельскохозяйственных животных, имеет важное практическое значение. Настоящее исследование направлено на оценку современного состояния почв пастбищ Западного Казахстана в зависимости от способов выпаса как значимого антропогенного фактора деградации пастбищных экосистем. Исследование, проведённое в полупустынной зоне Западного Казахстана на базе крестьянского хозяйства «Мирас», показало, что ротационный выпас является наиболее эффективным способом сохранения качества почвы по сравнению с интенсивным выпасом без периода отдыха. Физико-химические свойства почвы продемонстрировали изменчивость под воздействием выпаса, при этом оптимальные показатели плотности, структуры, содержания гумуса, подвижного фосфора и обменного натрия были зафиксированы на пастбищах с ротационным выпасом. Полученные результаты могут быть использованы для оценки качества почв пастбищ, разработки мер по предотвращению деградации и анализа сельскохозяйственных земель в регионах со схожими системами управления пастбищными экосистемами.

Ключевые слова: пастбища, устойчивое управление, способы выпаса, качество почвы, агрофизические и агрохимические показатели, деградация.

ВВЕДЕНИЕ

К 2050 году население земли достигнет 9,1 миллиарда человек, и одним из рычагов удовлетворения потребности населения в продовольствии будет развитие секторов кормопроизводства и животноводства [1].

По разным оценкам, кормовые угодья занимают около 26% площади суши и до 70% сельскохозяйственных земель мира. Пастбища обеспечивают важные экосистемные функции, участвуют в круговороте питательных веществ и играют значимую роль в климатических процессах благодаря крупным запасам и потокам углерода [2, 3].

В условиях изменения климата и деградации почв сохранение их качества является ключевым фактором устойчивости пастбищ и долгосрочной продуктивности. Деградация почв пастбищ вследствие дефолиации и вытаптывания является серьёзной проблемой во многих странах. Игнорирование этих процессов опасно, поскольку постоянные пастбища занимают около 40% сельскохозяйственных земель Западной Европы и до 70% в Казахстане [4]. Около 20% пастбищ мира деградировали из-за чрезмерного выпаса, эрозии и уплотнения почв. В Казахстане деградировано более 48 млн га пастбищ [5].

Интенсивность, сроки и плотность выпаса, интервалы между выпасами и видовой состав скота относятся к основным факторам, определяющим функционирование и устойчивое управление пастбищными экосистемами. Они воз-

действуют на физико-химические свойства почвы, содержание органического углерода и азота, обеспеченность элементами питания, плотность сложения и рН, что в конечном итоге влияет на сохранение почвенного качества, предотвращение деградации и продуктивность растительного покрова [6;7].

Биогеохимические и физические реакции почвы на выпас скота определяются сочетанием режима выпаса, климатических условий, свойств почвы, длительности управления и структуры растительного покрова [8]. Steffens и др., [9] утверждают, что выпас ухудшает физические и химические параметры почв, но пастбища могут быть улучшены путем снижения интенсивности или исключения их из пастбищеоборота.

Методы управления, такие как ротационный выпас, способствуют восстановлению качества почвы с меньшими затратами труда и управления [10]. По данным Yuping Rong и др., [11] восьмилетняя ротация пустынных пастбищ с периодом отдыха увеличила содержание общего азота на 110% и фосфора на 114% в слое 0–10 см.

Стратегии выпаса, особенно ротационный, вызывают растущий интерес на национальном и мировом уровнях как потенциально «климатически устойчивые» методы улучшения пастбищ. Понимание свойств почвы имеет ключевое значение для управления пастбищами, так как они определяют продуктивный потенциал кормовых угодий [5].

Экосистемы пастбищ Казахстана, играя ключевую роль в производстве продовольствия, сталкиваются с проблемами из-за очевидного глобального изменения климата и деградации [12]. В связи с этим, в рамках защиты и организации стратегии по рациональному использованию пастбищных экосистем в Казахстане был принят Закон «О

пастбищах» и нормы данного закона требуют от фермеров защиты почвы пастбищ, используя эффективные способы выпаса сельскохозяйственных животных на пастбищах [13].

На протяжении многих лет пастбища использовались в качестве важного инструмента по обеспечению продовольственной безопасности, однако на сегодняшний день нет документально подтвержденных данных исследований о влиянии способов выпаса на свойства почвы в районе исследований. Это становится одним из основных пробелов в устойчивом управлении пастбищными угодьями.

Таким образом, целью данного исследования было оценить изменчивость почвы в результате динамических воздействий выпаса сельскохозяйственных животных на пастбищных угодьях полупустынной зоны Западного Казахстана. В Казахстане примеров оценки качества почвы пастбищ очень мало, в связи с этим изучение данной проблемы является актуальным и своевременным.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В 2024-2026 годы в Западно-Казахстанском аграрно-техническом университете имени Жангир хана на базе крестьянского хозяйства «Мирас» Западного Казахстанской области проводятся научные исследования по оценке влияния способов выпаса сельскохозяйственных животных на качество почвы пастбищ. Данное крестьянское хозяйство является типичным для южной полупустынной зоны, где сосредоточено более 65% пастбищ Западно-Казахстанской области.

Для оценки качества почвы выбран полевой опыт с использованием разных способов выпаса сельскохозяйственных животных на пастбищах (таблица 1).

Таблица 1 - Схема полевого опыта по изучению качества почвы на пастбищах полупустынной зоны Западного Казахстана

Варианты способов выпаса	Условия использования экспериментальных полей
Отсутствие выпаса (контроль)	Выпас отсутствует - участок выбран в качестве эталона для сравнения качества почвы пастбищ.
Ротационный выпас - поле 1	Выпас 120 голов КРС производится в системе пастбищеоборота (поле 1), площадь 560 га.
Ротационный выпас - поле 2	Выпас 80 голов КРС производится в системе пастбищеоборота (поле 2), площадь 560 га.
Интенсивный выпас	Выпас 120 голов КРС производится без отдыха в сезоны весна, лето, осень, площадь 560 га.

Для оценки качества почвы и его изменения были отобраны образцы почв на пастбищах с разными способами выпаса в слое 0-30 см. Повторность отбора 4-х кратная. Агрохимические анализы почвы проводились в аккредитованной лаборатории ЗКАТУ имени Жангир хана.

Почвы пастбищ крестьянского хозяйства - светло-каштановые, определены по морфологическим признакам генетических горизонтов профиля.

Для установления процессов деградации почвы пастбищ в результате выпаса сельскохозяйственных животных, использовали принятые критерии, утвержденные Приказом Министра сельского хозяйства Республики Казахстан №185 от 27 апреля 2017 [14].

Определение плотности почвы производили методом цилиндров по Н.А. Качинскому. Влажность почвы определяли согласно ГОСТ 28268-89 [15].

Для определения содержания в почве агрономически ценных агрегатов образцы подвергали анализу структурного состояния с использованием сит разного размера [15].

По методике И.В. Тюрина определяли содержание в почве гумуса [15]. Зная содержание гумуса и плотность почвы, устанавливали запас гумуса в 0-30 см слое почвы.

Подвижные формы фосфора в почве определяли фотометрическим методом И. Мачигина, тем же методом -

содержание обменного натрия, по содержанию которого через ёмкость катионного обмена оценивали степень солонцеватости почвы [15].

Полученные данные подвергались статистической обработке методом однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA). Для наглядного отображения изменений средних значений использовались графики Box Plot. Построение диаграмм и анализ данных выполнялись в программе JASP®.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Чрезмерный выпас скота оказывает сильное влияние на пастбищные экосистемы, где в результате интенсивного выпаса установлено ухудшение физических и химических свойств почвы пастбищ, что согласуется с нашими исследованиями [9].

Согласно результатам анализа, содержание гумуса на эталонном участке составило 1,29%. При интенсивном выпасе содержание гумуса уменьшилось до 0,82%. Ротационный выпас оказал незначительное влияние на показатели гумуса: по сравнению с эталонным участком содержание гумуса на пастбищах ротационного выпаса (поле 1 и поле 2) уменьшилось на 0,09% и 0,05%, составив соответственно 1,20-1,24%.

По результатам однофакторного дисперсионного анализа (рисунок 1) принимается гипотеза о том, что среднее содержание гумуса зависит от вариантов использования пастбищ.

Уровень статистической значимости различий в средних значениях по вариантам опыта составил $p\text{-level} < 0,001$. Следовательно, способы выпаса оказывают существенное влияние на результативный признак процентного содержания гумуса.

Запас гумуса является определяющим признаком деградации почв пастбищ [14]. В исследованиях на эталонном участке запас гумуса составил 47,21 т/га. При интенсивном выпасе его запас уменьшился на 27,05%, что соответствует 2 степени деградации. При ротационном выпасе снижение запаса гумуса по сравнению с контролем было

незначительно, и составило в данных вариантах 45,00 т/га и 45,76 т/га соответственно, свидетельствуя об отсутствии деградации по этому показателю (рисунок 2). По результатам однофакторного дисперсионного анализа подтвердилось влияние вариантов использования пастбищ на запас гумуса. Существенность различий в средних значениях подтверждена на уровне $p\text{-level} < 0.01$.

Из данных анализа видно, что по результатам опыта наибольшее отклонение от контрольного варианта имеет вариант интенсивного выпаса.

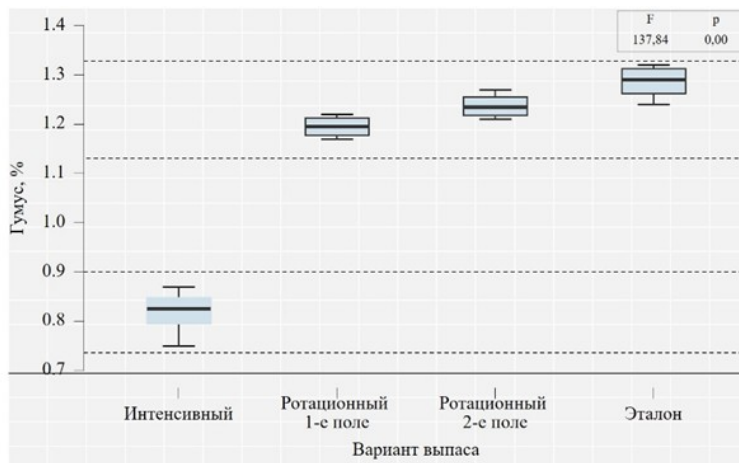


Рисунок 1 - Изменение содержания гумуса в почве в зависимости от способов выпаса сельскохозяйственных животных на пастбищах

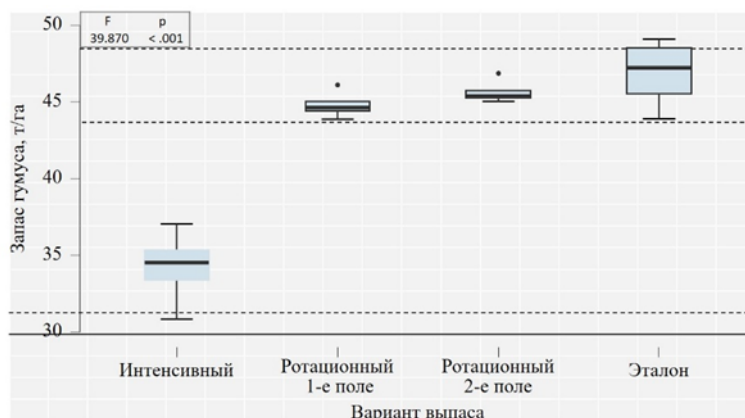


Рисунок 2 - Изменение запаса гумуса в почве в зависимости от способа выпаса животных на пастбищах

На уровне значимости $P < 0,001$ мы можем предполагать о наличии зависимости между содержанием гумуса в почве и способами выпаса сельскохозяйственных животных на пастбищах.

Наши исследования подтверждают выводы, что интенсивный выпас негативно воздействует на физические свойства почвы, вызывая ее деградацию. При плотности почвы $1,22 \text{ г/см}^3$ на эталонном участке, использование интенсивного выпаса привело к увеличению плотности до $1,40 \text{ г/см}^3$ или на $14,75\%$, что соответствует 3 степени деградации [15]. На $2,46\%$ и $0,82\%$ увеличилась плотность почвы при использовании ротационного выпаса на

пастбищах: поле 1 ($1,25 \text{ г/см}^3$) и поле 2 ($1,23 \text{ г/см}^3$), что указывает на отсутствие деградации почвы в результате выпаса сельскохозяйственных животных (рисунок 3). Уровень статистической значимости отличия средних величин по вариантам опыта $p\text{-level} < 0,001$. Стандартные ошибки средних значений от контроля (отсутствие выпаса) по плотности почвы по вариантам составили (г/см^3): интенсивный выпас - $0,18$; ротационный выпас, поле 1 - $0,03$, ротационный выпас, поле 2 - $0,01$. Следовательно, средняя плотность почвы меняется в зависимости от варианта использования пастбищ.

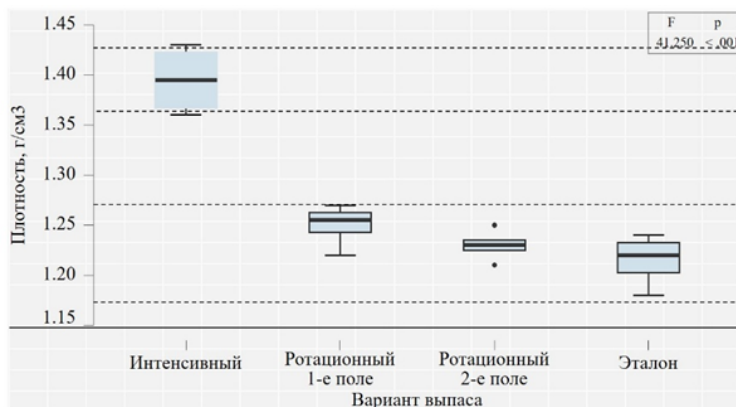


Рисунок 3 - Изменение плотности почвы в зависимости от способа выпаса животных на пастбищах

Анализируя данные, можно сделать вывод, что при интенсивном выпасе плотность почвы намного выше по сравнению с остальными вариантами. Небольшие отличия в средних наблюдаются в вариантах с использованием ротационного выпаса (2-е поле) и отсутствием выпаса. В группах Ротационный выпас, поле 1 и Ротационный выпас, поле 2 наблюдаются наименьшие вариации признака (стабильность).

Чрезмерное вытаптывание пастбищ приводит и к ухудшению структуры почвы [5]. По данным наших исследований содержание агрономически ценных агрегатов на эталонном

участке составило $75,05\%$, при коэффициенте структурности - $3,14$, что в соответствии с существующей градацией характеризуется, как хороший уровень. На пастбищах с использованием интенсивного выпаса сельскохозяйственных животных содержание агрономически ценных агрегатов уменьшилось до $52,91\%$, следовательно, коэффициент структурности снизился до $1,27$, соответствуя удовлетворительному уровню (таблица 2).

Ротационное использование пастбищ мало повлияло на содержание агрономически ценных агрегатов, степень деградации на пастбищах ротацион-

ного выпаса поле 1 и поле 2 соответствовала высокому уровню структурности и составляла 66,45% и 67,79% соответственно, коэффициент структурности составил 2,03 и 2,06.

Проведенный F-тест показал влияние варианта использования пастбищ на содержание агрономически цен-

ных агрегатов на уровне значимости $p\text{-level} < 0.001$. Следовательно, изменение способов выпаса сельскохозяйственных животных оказывают существенное влияние на содержание агрономически ценных агрегатов почв пастбищ.

Таблица 2 - Показатели качества почвы пастбищ в зависимости от способов выпаса сельскохозяйственных животных, среднее за 2019-2023 гг., слой почвы 0-30 см

Показатели качества почвы	Варианты опыта	Наблюдения	Среднее	Стандартное отклонение	Дисперсия	Максимум	F test p-level*
Структура, %	Интенсивный выпас	4	52,91	0,80	0,63	53,59	<0,001
	Ротационный выпас - поле 1	4	66,45	0,70	0,49	67,27	
	Ротационный выпас - поле 2	4	67,79	1,40	1,96	69,04	
	Отсутствие выпаса	4	75,05	1,59	2,52	77,04	
Содержание подвижного фосфора, мг/100 г	Интенсивный выпас	4	0,64	0,03	0,00	0,67	<0,001
	Ротационный выпас - поле 1	4	0,90	0,03	0,00	0,94	
	Ротационный выпас - поле 2	4	0,95	0,02	0,00	0,97	
	Отсутствие выпаса	4	1,07	0,05	0,00	1,10	
Содержание обменного натрия, смоль/кг	Интенсивный выпас	4	1,67	0,03	0,00	1,70	<0,001
	Ротационный выпас - поле 1	4	1,42	0,04	0,00	1,45	
	Ротационный выпас - поле 2	4	1,39	0,03	0,00	1,42	
	Отсутствие выпаса	4	1,29	0,03	0,00	1,32	

Способы выпаса ухудшают и агрохимические показатели почвы. Это связано с сокращением высоты растительности, покрытия и биомассы с увеличением интенсивности выпаса [16]. Это согласуется с данными наших исследований, где способы выпаса животных оказали влияние на содержание в почве подвижного фосфора. На пастбищах с интенсивным выпасом содержание подвижного фосфора было 0,64 мг/100 г,

что на 0,43 мг/100 г меньше, чем на эталонном участке. Разница содержания фосфора на ротационных пастбищах поле 1 и поле 2 с эталонным участком составила 0,17 мг/100 г и 0,12 мг/100 г.

Влияние способов выпаса на содержание подвижного фосфора подтверждается статистической значимостью отличий средних значений по вариантам опыта (F test p-level). Значимость показателя содержания подвиж-

ного фосфора в зависимости от способа выпаса принимает значение $p < 0,001$.

Ухудшение агрофизических и агрохимических свойств почвы из-за интенсивного выпаса приводит к повышению содержания обменного натрия. В исследованиях использование интенсивного выпаса способствует увеличению содержания обменного натрия до 1,67 смоль/кг и повышению его содержания в ёмкости катионного обмена до 10,6%, тем самым изменяя степень солонцеватости почвы с слабосолонцеватой до среднесолонцеватой.

В то же время, ротационный выпас животных на пастбищах (поле 1 и поле 2) способствовал незначительному увеличению содержания обменного натрия в почве до 1,42 смоль/кг и 1,39 смоль/кг, соответственно, тогда как на эталонном участке, со слабосолонцеватой степенью почвы, содержание обменного натрия - 1,29 смоль/кг. Данная разница в содержании обменного натрия в почвах пастбищ ротационного выпаса и эталонного участка не повлияла на изменение степени солонцеватости.

По данным статистического анализа (F test p -level) значимость отклика показателя результативного показателя от вариантов выпаса, принимает значение $p < 0,001$. Следовательно, изменение вариантов выпаса оказывает существенное влияние на содержание обменного натрия. Варианты выпаса в данной выборке вызывают существенный отклик у количественного показателя содержание обменного натрия.

Изучение воздействия способа выпаса на пастбища показало, что вредное динамическое воздействие животных на плотность почвы, становится более серьезным по мере увеличения нагрузки на единицу площади пастбищ и интенсивности стравливания. Нами установлено увеличение уплотнения почвы пастбищ до 1,40 г/см³

или на 14,75% по сравнению с контролем, и третья степень деградации почвы по показателю плотности на варианте интенсивного выпаса.

Следует отметить, что содержание агрономически ценных агрегатов и коэффициент структурности увеличивается по направлению от пастбищ интенсивного выпаса скота к контрольному варианту. Вероятно, это можно объяснить тем фактом, что при отсутствии выпаса на почву оказано меньшее негативное воздействие, она оставалась в покое в течение более длительного периода времени, и в этом случае возникли такие гидродинамические условия, при которых образовывалось больше гумусовых веществ, идеально пропитывающих агрегаты. На пастбищах интенсивного выпаса сельскохозяйственных животных в результате снижения запасов гумуса почва деградировалась до 2 степени. Наименьшая разница в содержании гумуса (0,05-0,09%) и его запасов (3,07-4,68%), а также оптимальная структура почвы (66,45-67,79%) наблюдалась на вариантах ротационного выпаса - поле 1 и ротационного выпаса - поле 2 ($p < 0,001$).

Как отмечают Fenetahun и др. [17] химические свойства почвы зависят от структуры почвы, проводимости воздуха и воды и в значительной степени от управления выпасом скота. В результате выпас скота незначительно повлиял на концентрацию химических свойств почвы, обнаруженных на пастбищном участке, что согласуется с нашими данными, где на пастбищах ротационного выпаса установлено более высокое содержание подвижного фосфора - 0,90-0,95 г/100 г. Основная причина, по которой распределение подвижного фосфора было выше на пастбищах с ротационным выпасом, связана с формированием более высокой биомассы травы, что приводит к увеличению доступности питательных

веществ в почве во время ее разложения. В случае непрерывного выпаса скота пастбищные угодья подвергаются деградации: уменьшается надземная биомасса растительности, что, наряду со снижением содержания гумуса (0,82%), приводит и к уменьшению содержания подвижного фосфора (0,64 мг/100 г почвы).

Вытаптывание животными пастбищ уплотняет почву, разрушает почвенные агрегаты, приводит к её засолению, способствуя их деградации [18]. В опыте при интенсивном выпасе отмечен переход степени засоления от слабого до среднего уровня за счет увеличения ёмкости катионного обмена с 14,53 смоль/кг до 15,75 смоль/кг и содержания обменного натрия в ёмкости катионного обмена с 8,88% до 10,60%.

Ротационный выпас скота оказывает незначительное влияние на состояние почвы по сравнению с непрерывным выпасом скота. При ротационном выпасе по сравнению с контролем содержание обменного натрия в ёмкости катионного обмена увеличилось незначительно и составило 1,39-1,42 смоль/кг ($p < 0,001$) или 7,75-10,08%, и почва сохранила слабую степень солонцеватости.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований доказана гипотеза перспективности использования ротационного способа выпаса сельскохозяйственных животных на пастбищах полупустынной зоны Западного Казахстана. При регулируемом выпасе посредством

ротации пастбищ, по сравнению с интенсивным способом, поддерживается качество почвы пастбищных экосистем. За счет ротации пастбищ содержание гумуса остается на уровне 1,20-1,24% при запасах гумуса 45,00-45,76 т/га, почва пастбищ сохраняет «хорошую» структуру (66,45-67,79%) и коэффициент структурности (2,03-2,06) - близко к эталону, оптимальному уровню плотности (1,23-1,25 г/см³) и степени засоленности (слабосолонцеватые). Напротив, при интенсивном выпасе сельскохозяйственных животных в результате увеличения нагрузки на пастбища за счет перевыпаса со снижением запаса гумуса и с повышением плотности, почва деградирует до 2-3 степени, а с увеличением содержания натрия в ёмкости катионного обмена почва приобретает признаки засоления.

Чтобы защитить пастбищные почвы от деградации, мы рекомендуем оптимизировать методы управления с активным использованием ротационного способа выпаса сельскохозяйственных животных на пастбищах в соответствии с климатическими условиями регионов и типом пастбищных угодий.

Ротационный выпас сельскохозяйственных животных также имеет актуальность при адаптации методов управления пастбищ, направленных на минимизацию негативных последствий глобального потепления и на поддержание и улучшение качества почвы в условиях повсеместной деградации земель.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Данное исследование проводится в Западно-Казахстанском аграрно-технологическом университете имени Жангир хана и профинансировано Министерством сельского хозяйства Республики Казахстан в рамках НТП BR22883585 «Разработка эффективных технологий повышения продуктивного потенциала и рационального использования пастбищ».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. How to Feed the World in 2050 [Electronic resource]. - URL: https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper_How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf. (accessed: 25.12.2025).
2. FAO. Challenges and Opportunities for Carbon Sequestration in Grassland Systems: Technical Report on Grassland Management and Climate Mitigation. - Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2010. - 65 p.
3. Nasiyev B.N., Gabdulov M., Zhanatalapov N., Makanova G., Izbasova G. Studying of the phenology. Abundance and harmfulness of locusts in the semi-desert zone and the organization of locust control measures // Biosciences biotechnology research Asia. - 2015. - Vol. 12, № 2. - P. 1759-1766.
4. Nasiyev B., Karynbayev A., Khiyasov M., Bekkaliyev A., Zhanatalapov N., Begeyeva M., Bekkaliyeva A., Shibaikin B. Influence of Cattle Grazing Methods on Changes in Vegetation Cover and Productivity of Pasture Lands in the Semi-Desert Zone of Western Kazakhstan // International Journal of Design & Nature and Ecodynamics. - 2023. - Vol. 18, № 4. - P. 767-774. - DOI: <https://doi.org/10.18280/ijdne.180402>.
5. Nasiyev B.N., Bekkaliyev A.K., Zhanatalapov N.Zh., Shibaikin B., Yeleshev R. Changes in the physicochemical parameters of chestnut soils in Western Kazakhstan under the influence of the grazing technologies // Periódico Tchê Química. - 2020. - Vol. 17, № 35. - P. 192-202. - DOI: <http://deboni.he.com.br/Periodico35.pdf>
6. Piñeiro G., Paruelo J.M., Oesterheld M., Jobbágy E.G. Pathways of Grazing Effects on Soil Organic Carbon and Nitrogen // Rangeland Ecol. Management. - 2010. - Vol. 63, № 1. - P. 109-119. - DOI: <https://doi.org/10.2111/08-255.1>
7. Milazzo F., Francksen R.M., Abdalla M., Ravetto Enri S., Zavattaro L., Pittarello M., Hejduk S., Newell-Price P., Schils R.L.M., Smith P. An Overview of Permanent Grassland Grazing Management Practices and the Impacts on Principal Soil Quality Indicators // Agronomy. - 2023. - №13. - P. 1366. - DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13051366>.
8. Nasiyev B., Dukeyeva A. Influence of Mineral Fertilizers and Methods of Basic Tillage on the Yield and Oil Content of Sunflower // OnLine Journal of Biological Sciences. - 2023. - Vol. 23, № 3. - P. 296-306. - DOI: <https://doi.org/10.3844/ojbsci.2023.296.306>.
9. Steffens M., Kölbl A., Totsche K.U., Kögel-Knabner I. Grazing effects on soil chemical and physical properties in a semiarid steppe of Inner Mongolia (P.R. China) // Geoderma. - 2008. - №143. - P.63-72. - DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.09.004>.
10. Nasiyev B.N. The study of the processes, degradation factors and the selection of crops for the restoration of bioresources capacity of the grassland of semi-desert zones // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. - 2016. - Vol. 7, № 3. - P. 2637-2646. - URL: [http://www.rjpbcs.com/pdf/2016_7\(3\)/\[323\].pdf](http://www.rjpbcs.com/pdf/2016_7(3)/[323].pdf).
11. Yuping R., Fei Y., Lei M. Effectiveness of exclosures for restoring soils and vegetation degraded by overgrazing in the Junggar Basin, China // Grassland Science. - 2014. - Vol. 60. - P. 118-124.
12. Nasiyev B., Zhanatalapov N., Bushnev A. The influence of seeding time on growth development and productivity of sunflower in the dry steppe area // Ecology, Environment and Conservation. - 2018. - Vol. 24, № 4. - P. 1617-1623. - URL: http://www.envirobiotechjournals.com/article_abstract.php?aid=9190&iid=265&jid=3.
13. Республика Казахстан. Закон РК: О пастбищах: принят 20 февраля 2017 года, № 47-VI. https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=34242826.
14. Приказ Министра сельского хозяйства Республики Казахстан. Об утверждении Методики проведения мероприятий по борьбе с деградацией и

опустыниванием пастбищ, в том числе аридных: принят 27 апреля 2017 года, № 185. - URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=33034404.

15. Габдулов М.А. Методы полевых и лабораторных исследований. - Уральск: ЗКАТУ им. Жангир хана, 2018. - 105 с.

16. Shamsutdinov Z.Sh., Ubaydullaev Sh.R., Shamsutdinov N.Z., Nasiev B.N. Productivity of grass plants in the phytogenic field of black saxaul (*Haloxylon aphyllum* (Minkw.) Iljin) in the Karnabchul desert // *Arid Ecosystems*. - 2014. - № 4. - P. 169-177.

17. Fenetahun Y., Yuan Y., Xinwen X., Fentahun T., Nzabarinda V., Yong-dong W. Impact of Grazing Intensity on Soil Properties in Teltele Rangeland, Ethiopia // *Front. Environ. Sci.* - 2021. - №9. - P. 664104. - URL: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.664104>

18. Dong S.K., Wen L., Li Y.Y., Wang X.X., Zhu L., Li X.Y. Soil-Quality Effects of Grassland Degradation and Restoration on the Qinghai-Tibetan Plateau // *Soil Science Society of America Journal*. - 2012. - Vol. 76. - P. 2256-2264.

REFERENCES

1. How to Feed the World in 2050 [Electronic resource]. - Access mode: https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf. (accessed: 25.12.2025).

2. FAO. Challenges and Opportunities for Carbon Sequestration in Grassland Systems - Technical Report on Grassland Management and Climate Mitigation. - Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2010. - 65 p.

3. Nasiyev B.N., Gabdulov M., Zhanatalapov N., Makanova G., Izbasova G. Studying of the phenology. Abundance and harmfulness of locusts in the semi-desert zone and the organization of locust control measures // *Biosciences biotechnology research Asia*. - 2015. - Vol. 12, № 2. - P. 1759-1766.

4. Nasiyev B., Karynbayev A., Khiyasov M., Bekkaliyev A., Zhanatalapov N., Begeyeva M., Bekkaliyeva A., Shibaikin B. Influence of Cattle Grazing Methods on Changes in Vegetation Cover and Productivity of Pasture Lands in the Semi-Desert Zone of Western Kazakhstan // *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*. - 2023. - Vol. 18, № 4. - P. 767-774. - DOI: <https://doi.org/10.18280/ijdne.180402>

5. Nasiyev B.N., Bekkaliyev A.K., Zhanatalapov N.Zh., Shibaikin B., Yeleshev R. Changes in the physicochemical parameters of chestnut soils in Western Kazakhstan under the influence of the grazing technologies // *Periódico Tchê Química*. - 2020. - Vol. 17, № 35. - P.192-202. - URL: <http://deboni.he.com.br/Periodico35.pdf>.

6. Piñeiro G., Paruelo J.M., Oesterheld M., Jobbágy E.G. Pathways of Grazing Effects on Soil Organic Carbon and Nitrogen // *Rangeland Ecol. Management*. - 2010. - Vol. 63, № 1. - P. 109-119. - DOI: <https://doi.org/10.2111/08-255.1>.

7. Milazzo F., Francksen R.M., Abdalla M., Ravetto Enri S., Zavattaro L., Pittarello M., Hejduk S., Newell-Price P., Schils R.L.M., Smith P. An Overview of Permanent Grassland Grazing Management Practices and the Impacts on Principal Soil Quality Indicators // *Agronomy*. - 2023. - № 13. - P. 1366. - DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13051366>.

8. Nasiyev B., Dukeyeva A. Influence of Mineral Fertilizers and Methods of Basic Tillage on the Yield and Oil Content of Sunflower // *OnLine Journal of Biological Sciences*. - 2023. - №23(3). - P.296-306. - DOI: <https://doi.org/10.3844/ojbsci.2023.296.306>.

9. Steffens M., Kölbl A., Totsche K.U., Kögel-Knabner I. Grazing effects on soil chemical and physical properties in a semiarid steppe of Inner Mongolia (P.R. China) // *Geoderma*. - 2008. - № 143. - P. 63-72. - DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.09.004>.

10. Nasiyev B.N. The study of the processes, degradation factors and the selection of crops for the restoration of bioresources capacity of the grassland of semi-desert zones // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. - 2016. - Vol. 7, № 3. - P. 2637-2646. - URL: [http://www.rjpbcs.com/pdf/2016_7\(3\)/\[323\].pdf](http://www.rjpbcs.com/pdf/2016_7(3)/[323].pdf).
11. Yuping R., Fei Y., Lei M. Effectiveness of exclosures for restoring soils and vegetation degraded by overgrazing in the Junggar Basin, China // Grassland Science. - 2014. - Vol. 60. - P.118-124.
12. Nasiyev B., Zhanatalapov N., Bushnev A. The influence of seeding time on growth development and productivity of sunflower in the dry steppe area // Ecology, Environment and Conservation. - 2018. - Vol. 24, № 4. - P. 1617-1623. - URL: http://www.envirobiotechjournals.com/article_abstract.php?aid=9190&iid=265&jid=3.
13. Respublika Kazakhstan. Zakon RK. O pastbishchah: prinyat 20 fevralya 2017 goda, №47-VI. https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=34242826.
14. Prikaz Ministra sel'skogo hozyajstva Respubliki Kazakhstan. Ob utverzhdenii Metodiki provedeniya meropriyatij po bor'be s degradaciej i opustynivaniem pastbishch, v tom chisle aridnyh: prinyat 27 aprelya 2017 goda, № 185. - URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=33034404.
15. Gabdulov M.A. Metody polevyh i laboratornyh issledovanij. - Uralsk: WKAU Zhangir khan, 2018. - 105 p.
16. Shamsutdinov Z.Sh., Ubaydullaev Sh.R., Shamsutdinov N.Z., Nasiev B.N. Productivity of grass plants in the phytogenic field of black saxaul (*Haloxylon aphyllum* (Minkw.) Iljin) in the Karnabchul desert // Arid Ecosystems. - 2014. - № 4. - P. 169-177.
17. Fenetahun Y., Yuan Y., Xinwen X., Fentahun T., Nzabarinda V., Yong-dong W. Impact of Grazing Intensity on Soil Properties in Teltele Rangeland, Ethiopia // Frontiers in Environmental Science. - 2021. - № 9. - P. 664104. - DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.664104>.
18. Dong S.K., Wen L., Li Y.Y., Wang X.X., Zhu L., Li X.Y. Soil-Quality Effects of Grassland Degradation and Restoration on the Qinghai-Tibetan Plateau // Soil Science Society of America Journal. - 2012. - № 76. - P. 2256-2264.

ТҮЙІН

М.Г. Хиясов¹, Б.Н. Насиев^{1*}, Н.Ж. Жанаталапов¹, А.К. Беккалиев¹, А.Е. Өкшебаев¹
ЖАЙЫЛЫМНЫҢ ДИНАМИКАЛЫҚ ӘСЕРЛЕРІ НӘТИЖЕСІНДЕ ТОПЫРАҚ
САПАСЫНЫҢ ӨЗГЕРГІШТІГІ

*¹Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық
университеті, 090009, Орал, Жәңгір хан көшесі, 51, Қазақстан,*

**e-mail: veivit.66@mail.ru*

Жайылымдық экожүйелердің топырақ сапасын сақтау мал шаруашылығы үшін құнарлы жемшөп өндірудің және ұлттық деңгейде азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз етудің негізгі факторы болып табылады. Қазақстанда және басқа да елдерде жер пайдалануды тиімді жоспарлау мен жайылым ресурстарын орнықты басқару үшін ауыл шаруашылығы жануарларының жайылуы әсерінен топырақ қасиеттерінің өзгеру динамикасы мен сапасын бағалау маңызды практикалық мәнге ие. Осы зерттеу классикалық далалық әдістер мен зертханалық талдауларды қолдана отырып, Батыс Қазақстандағы жайылым топырақтарының қазіргі жағдайын бағалауға бағытталған. Жұмыстың мақсаты жайылымдық экожүйелердің деградациясына әкелетін маңызды антропогендік фактор ретінде жайылым тәсілдеріне байланысты топырақ жамылғысының күйін бағалау болды. Батыс Қазақстанның шөлейт аймағында «Мирас» шаруа қожалығының базасында жүргізілген зерттеу нәтижелері ротациялық жайылымның

демалыс кезеңінсіз жүргізілетін қарқынды жайылыммен салыстырғанда топырақ сапасын сақтаудың ең тиімді тәсілі екенін көрсетті. Топырақтың физика-химиялық қасиеттері жайылым әсеріне байланысты өзгергіштік танытты, ал топырақ тығыздығының, құрылымының, гумус мөлшерінің, жылжымалы фосфор мен алмаспалы натрийдің оңтайлы көрсеткіштері реттелетін ротациялық жайылым қолданылатын учаскелерде тіркелді. Алынған нәтижелер жайылым топырақтарының сапасын бағалау, деградацияның алдын алу шараларын әзірлеу және жайылымдық экожүйелерді басқару жүйелері ұқсас аймақтардағы ауыл шаруашылығы жерлерін талдау үшін пайдаланылуы мүмкін.

Түйінді сөздер: жайылымдар, тұрақты басқару, мал жаю тәсілдері, топырақ сапасы, агрофизикалық көрсеткіштер, агрохимиялық көрсеткіштер, деградация.

SUMMARY

M.G. Khiyasov¹, B.N. Nasiyev^{1*}, N.Zh. Zhanatalapov¹, A.K. Bekkaliyev¹, A.E. Okshebayev
VARIABILITY OF SOIL QUALITY AS A RESULT OF DYNAMIC GRAZING IMPACTS

¹Zhangir khan West Kazakhstan agrarian -technical university,

090009, Uralsk, Zhangir khan St., 51, Kazakhstan, *e-mail: veivit.66@mail.ru

Preserving the soil quality of pasture ecosystems is a key factor in the production of high-quality forage for livestock and in ensuring food security at the national level. For effective land-use planning and sustainable management of pasture resources in Kazakhstan and other countries, the assessment of soil quality and the dynamics of changes in its properties under the impact of livestock grazing is of significant practical importance. The present study is aimed at assessing the current condition of pasture soils in Western Kazakhstan using classical field methods and laboratory analyses. The objective of the research was to evaluate the state of the soil cover depending on grazing management practices as a significant anthropogenic factor in the degradation of pasture ecosystems. The study conducted in the semi-desert zone of Western Kazakhstan at the «Miras» peasant farming enterprise demonstrated that rotational grazing is the most effective method for preserving soil quality compared to intensive grazing without a rest period. The physicochemical properties of the soil showed variability under grazing pressure, while optimal indicators of soil bulk density, structure, humus content, available phosphorus, and exchangeable sodium were recorded in pastures managed under regulated rotational grazing. The obtained results can be used to assess pasture soil quality, develop measures to prevent degradation, and analyze agricultural lands in regions with similar pasture ecosystem management systems.

Keywords: pastures, sustainable management, grazing methods, soil quality, agrophysical indicators, agrochemical indicators, degradation.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

1. Хиясов Мадияр Галимжанович - заведующий лабораторией агрохимического анализа Испытательного центра, PhD, <https://orcid.org/0000-0001-9143-7141>, e-mail: h.madiyar-97@mail.ru

2. Насиев Бейбит Насиевич - профессор, доктор сельскохозяйственных наук, академик НАН РК, <https://orcid.org/0000-0002-3670-8444>, e-mail: veivit.66@mail.ru

3. Жанаталапов Нурболат Жасталапович - заместитель директора по научной работе, ассоциированный профессор, PhD, <https://orcid.org/0000-0002-5946-3929>, e-mail: nurbolat-z86@mail.ru

4. Беккалиев Асхат Кажмуратович - доцент, PhD, <https://orcid.org/0000-0002-9563-4350>, e-mail: bekkaliev_askhat@mail.ru

5. Окшебаев Асхат Ерболатұлы - магистр технических наук, PhD докторант, <https://orcid.org/0009-0008-4574-6734>, e-mail: okshebaev@mail.ru

АГРОХИМИЯ

SISTI:68.33.29

DOI: 10.51886/1999-740X_2026_1_61

A. Zhapparova^{1*}, S. Maulenova¹, E. Saljnikov², K. Aisakulova³, K. Karayeva¹,
S. Rakhimgalieva⁴

THE EFFECTS OF ORGANOMINERAL NUTRITIONAL REGIMES ON *MALUS DOMESTICA* PRODUCTIVITY AND MICROBIOLOGICAL MARKERS IN SOUTHEAST KAZAKHSTAN

¹*Department of Soil Science, Agrochemistry and Ecology, Kazakh National Agrarian Research University, 050010, Almaty, Abay avenue, 8, Kazakhstan,*

**e-mail: aigul7171@inbox.ru*

²*Department of Life Sciences, Institute of Multidisciplinary Research, University of Belgrade, 11030, Belgrade, Kneza Viseslava, 1, Serbia,*

³*Kazakh Research Institute of Fruit and Vegetable Growing, 050060, Almaty, Gagarin avenue, 238/5, Kazakhstan,*

⁴*West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir Khan*

Abstract. This study evaluates the effects of organo-mineral fertilization systems combined with biological preparations on the productivity and soil microbiological indicators of Golden Delicious apple trees in southeastern Kazakhstan. Using a randomized block design, six fertilization variants— including organic, bioorganic, and mineral treatments - were applied to irrigated light brown soils with low organic matter content. Results demonstrated that treatments with biohumus and BioSok Energy Plus significantly increased yields (39–64%), sugar content (0.5–1.9%), dry matter (0.8–1.5%), and fruit shelf life compared to controls. Additionally, these treatments enhanced the abundance of beneficial soil microorganisms, indicating improved soil biological activity and structure. The findings suggest that integrating organic and bioorganic fertilizers with mineral nutrition promotes sustainable orchard productivity by boosting soil fertility and microbiocenosis, thereby supporting long-term soil health and sustainable horticultural practices in arid regions.

Keywords: organic fertilizers, biopreparations, microorganisms, chestnut soils, Golden Delicious, yield, fruit quality.

INTRODUCTION

Modern horticultural development in arid and semi-arid areas necessitates a significant improvement in resource efficiency while simultaneously preserving or reestablishing soil fertility. By the end of the 20th century, it was evident that long-term use of chemicals in agriculture - such as high concentrations of mineral fertilizers and heavy use of plant protection products - depletes soil organic matter reserves, deteriorates soil structure, and reduces soil biological activity, especially in irrigated areas [1, 2].

According to [3, 4], the light brown soils in southeast Kazakhstan have a low humus content (about 1–1.5%), an alkaline

reaction, and a high sensitivity to structural and biological degradation when the organic balance is upset. The '4 per mille' concept [5] and other international initiatives to raise the organic carbon content of soils highlight the importance of actively incorporating soil biota into fertility management and systematically replenishing organic matter.

The quality of the soil is largely determined by soil microorganisms. They create humic compounds, break down organic residues, mineralize and immobilize nitrogen and other elements, and create a barrier that keeps phytopathogens out. According to studies, applying organic and bioorganic fertilizers improves agrochemi-

cal indicators, boosts microbial community diversity and activity, and helps agroecosystems develop sustainably [6-8].

Because of the favorable climate of the foothills and the availability of irrigation, horticulture, especially apple cultivation, is a promising and lucrative industry in southeast Kazakhstan. Apple farming contributes to the nation's economic growth and food security by diversifying the agricultural sector in the area.

Because of its high market value and extended shelf life, the Golden Delicious apple variety is widely available in the Almaty region. The rootstock selection, the mineral nutrition system employed, and the state of the soil microflora all have a significant impact on its productivity. Combining mineral fertilizers with biostimulants and organic fertilizers boosts yield and enhances fruit quality, according to several studies [9, 10].

Scientific novelty. This study provides a comprehensive evaluation of the combined effects of biopreparations and organo-mineral fertilizers on both the yield and quality of Golden Delicious apples and the soil microbial community in irrigated light brown soils of southeast Kazakhstan - a region where such integrated studies are limited.

The research hypothesis is that applying biopreparations together with organo-mineral fertilizers will significantly increase apple yield, improve fruit quality, and enhance the abundance and diversity of key soil microorganisms compared to mineral fertilization alone.

The purpose of this study is to assess the effects of biopreparations and organo-mineral fertilizers on the yield and quality of Golden Delicious apples as well as the prevalence of the main physiological groups of soil microorganisms in irrigated light brown soils in southeast Kazakhstan.

MATERIALS AND METHODS

The field experiment was conducted on an experimental orchard site located in the Talgar district of the Almaty region,

southeastern Kazakhstan (43°18'N, 77°12'E). The region is characterized by a sharply continental climate, with hot and dry summers and cold winters. The soil of the experimental site is an irrigated light chestnut loam.

The main agrochemical properties of the soil were as follows: organic matter (humus) content-1.3%, determined by the wet combustion Tyurin method [11]; soil reaction (pH, water extract)-7.6, measured using a glass electrode; available phosphorus content-low, determined by the Kirsanov method [11]; exchangeable potassium content-medium, measured using a flame photometer [11]. These soil conditions are typical for irrigated foothill zones of southeastern Kazakhstan and are characterized by limited organic matter reserves and sensitivity to biological degradation.

The experiment was conducted during the 2020-2023 growing seasons. Each experimental plot included 10 trees, with a total of 180 trees involved in the study (6 treatments × 3 replicates × 10 trees). Soil samples were collected in triplicate for each treatment at the end of the growing season.

Study object and experimental design. *Malus domestica* Borkh of the Golden Delicious variety, which was grown on MM106 and M9 clonal rootstocks and was three to four years old when the experiment started, was the subject of the study. Planting layout: 4x2 m. The moisture content of the arable layer is maintained between 70 and 80% of field capacity through the use of drip irrigation. Three replicates and six variations were used in a randomized block design:

1. Control (no fertilizers);
2. Mineral background N₉₀P₉₀K₉₀;
3. NPK + Agroflorin;
4. NPK + Al Karal;
5. NPK + BioSok Energy Plus;
6. NPK + biohumus.

"Agroflorin" is a complex natural biopreparation containing enzymes, amino

acids, organic acids (succinic, fumaric, etc.), phytohormones (auxins, gibberellins), vitamins (B group), polysaccharides, and macro- (N, P, K) microelements (Fe, Zn, Cu, Mn, Na). Al Karal is an organic additive composed of 70% humic and 25% fulvic acids. BioSok Energy Plus is a biopreparation that includes beneficial bacteria, fungi, and other microorganisms.

Mineral fertilizers were applied both in early spring and after flowering. Biological products were used in accordance with the manufacturer's recommendations: Agrofloin - 2.5 ml per 1 liter of water; Al Karal - 300 ml per 50 liters of water; and BioSok Energy Plus - 300 ml per 5 liters of water. Some of the solutions were used to treat seedlings' root systems prior to planting, while others were used as root and foliar fertilizers throughout the growing season. Biohumus was applied to the tree trunk area in a calculated dose to create a comparable organic nitrogen background.

Recording fruit yield and quality. The following were determined on an annual basis.

- Yield (kg/ha and kg/tree).
- Biochemical indicators of fruits include mass fraction of sugars (%) and dry matter (%).
- Fruit shelf life (maximum storage period at +2 to +4 °C before loss of commercial quality)). ANOVA with the $LSD_{0.5}$ criterion was used at a significance level of $p \leq 0.05$ to assess the reliability of differences.

Soil microbiological studies. Soil samples for microbiological analysis were collected from the rhizosphere layer (0-20 cm) as per the requirements [12]. Combined samples were collected under Golden Delicious trees based on the experiment variants. The following indicators

have been determined: Total number of microorganisms (TNM) on meat-peptone agar (MPA); Number of actinomycetes and bacterial groups on starch-ammonia agar (SAA), dilution 10^{-3} – 10^{-5} , incubation temperature 29 ± 1 °C, duration 3–7 days; Number of nitrogen-fixing bacteria from the genus *Azotobacter* - on an azote-free Ashby medium; Number of bacteria from the genus *Pseudomonas* - on King B agar medium; Number of microscopic fungi on the Chapek–Dox acid agar medium [12, 13]. The results were expressed as colony-forming units (CFU) per 1 gram of completely dry soil. Colonies were counted with the Scan_500@ 8.0.14.0 colony counter. Statistical processing was carried out in accordance with the ISO 10576:2022 [14].

RESULTS AND DISCUSSION

All fertilization treatments significantly increased yield compared to the control ($LSD_{0.5} = 4.3$ t/ha). The control variant produced 18.0 t/ha. Application of mineral fertilizer ($NPK_{90}P_{90}K_{90}$) increased yield to 25.0 t/ha, which corresponds to a 39% increase relative to the control.

The addition of biological and organic components to the mineral background further enhanced productivity:

- NPK + Agrofloin–27.5 t/ha (53% increase vs control).
- NPK + Al Karal–26.5 t/ha (47% increase).
- NPK + BioSok Energy Plus–28.5 t/ha (58% increase).
- NPK + biohumus–29.5 t/ha (64% increase).

The highest yield was recorded in the NPK + biohumus treatment, followed closely by NPK + BioSok Energy Plus. According to the statistical grouping (Figure 1), these variants formed a separate homogeneous group with significantly higher productivity compared to the control.

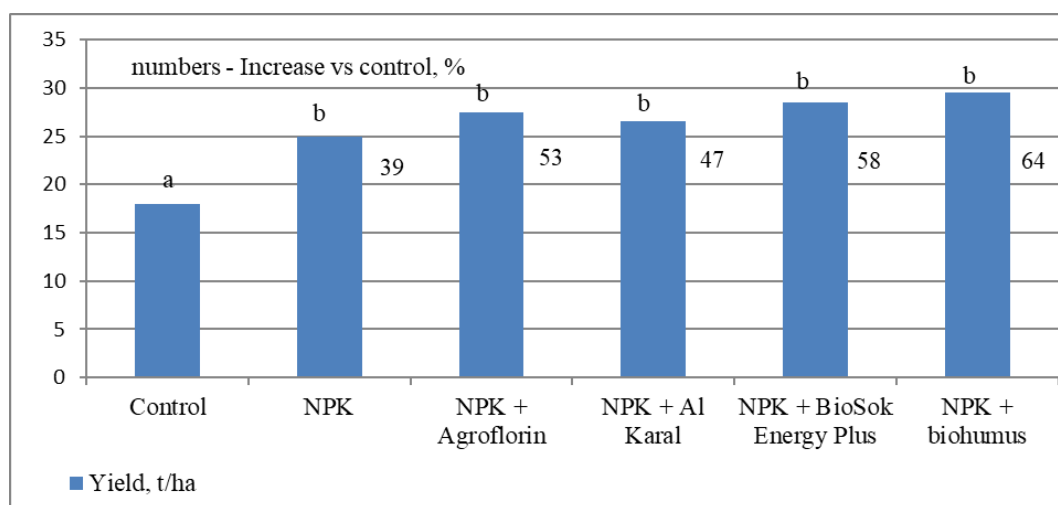


Figure 1- The yield of Golden Delicious apple tree depending on fertilization systems. Numbers represents yield increase vs control, %; the same letters above the columns indicate a statistically insignificant difference

Fruit quality and sugar content content, and shelf life are presented in Table 1.
Data on yield, sugar content, dry matter

Table 1 - Yield and fruit quality of Golden Delicious apple trees depending on fertilization systems

Treatment	Yield, t/ha	Sugars, %	Dry matter, %	Shelf life, months
Control	18.0 ± 8	10,2 ± 0,2	13,8 ± 0,3	4,0
NPK	25.0 ± 10	11,0 ± 0,2	14,3 ± 0,2	5,0
NPK + Agroflorin	27.5 ± 12	11,6 ± 0,3	14,8 ± 0,3	5,5
NPK + Al Karal	26.5 ± 11	11,4 ± 0,3	14,6 ± 0,3	5,3
NPK + BioSok Energy Plus	28.5 ± 13	11,9 ± 0,3	15,0 ± 0,3	5,8
NPK + biohumus	29.5 ± 14	12,1 ± 0,4	15,3 ± 0,3	6,0
LSD _{0.5}	4.3	1,1 %	1,1 %	1,0

Fertilization systems also significantly affected biochemical parameters of fruits. Sugar content increased from 10.2% in the control to:

- 11.0% (NPK)
- 11.6% (NPK + Agroflorin)
- 11.4% (NPK + Al Karal)
- 11.9% (NPK + BioSok Energy Plus)
- 12.1% (NPK + biohumus)

The maximum increase in sugars (1.9%) was observed in the NPK + biohumus treatment. Dry matter content showed a similar trend, increasing from 13.8%

(control) to 15.3% under NPK + biohumus. Fruit shelf life extended from 4.0 months in the control to:

- 5.0 months (NPK)
- 5.5 months (NPK + Agroflorin)
- 5.3 months (NPK + Al Karal)
- 5.8 months (NPK + BioSok Energy Plus)
- 6.0 months (NPK + biohumus)

The differences between the control and organo-mineral treatments exceeded the LSD_{0.5} value (1.0 month), indicating statistical significance.

Compared to the control, organomineral variants, particularly NPK+biohumus and NPK+BioSok Energy Plus, provided: an increase in sugar content by 1.5–1.9%;

an increase in dry matter content by 1.2–1.5%;
an increase in fruit shelf life from 4 to 6 months.

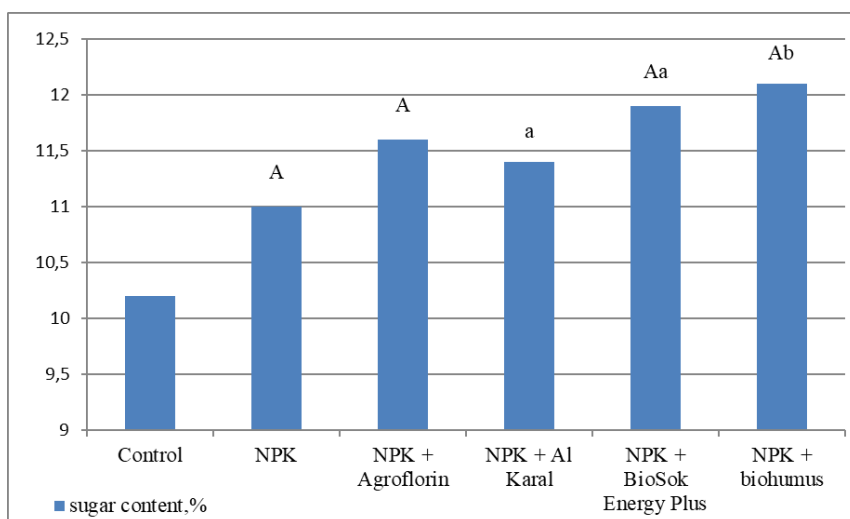


Figure 2 - Sugar content in Golden Delicious apples depending on fertilization systems; the same letters above the columns indicate a statistically insignificant difference

The effect of organic-mineral fertilizers on the microbiological properties of soil. Microbiological analysis of the rhizosphere layer under Golden Delicious trees revealed that the use of biological

products on a mineral background resulted in a significant increase in the number of different physiological groups of microorganisms (Table 2).

Table 2 - Effect of organo-mineral fertilization on soil microbiological indicators in the rhizosphere of Golden Delicious apple trees

Treatment	Total bacteria (MPA), CFU $\times 10^6$ g ⁻¹ soil	Pseudomonas (King B), CFU $\times 10^6$ g ⁻¹ soil	Amylolytic bacteria, CFU $\times 10^5$ g ⁻¹ soil	Azotobacter abundance
Control (no fertilizers)	1.03 ± 0.10	1.20 ± 0.01	1.10	Low
NPK ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	1.85 ± 0.10	2.10 ± 0.02	1.40	Moderate
NPK + Agroflorin	2.20 ± 0.10	2.80 ± 0.02	1.70	Increased
NPK + Al Karal	2.10 ± 0.09	2.60 ± 0.02	1.60	Increased
NPK + BioSok Energy Plus	2.40 ± 0.10	4.00 ± 0.01	2.00	High
NPK + Biohumus	2.35 ± 0.10	3.50 ± 0.02	1.90	High

Compared to the control:

The variants with Agrofloirin (G-2) and BioSok Energy Plus (G-4) increased the total number of bacteria on MPA by 2-2.5 times, reaching $2.4 \pm 0.1 \cdot 10^6$ CFU/g compared to $1.03 \pm 0.1 \cdot 10^6$ CFU/g in the control.

The BioSok Energy Plus variant had $4.0 \pm 0.01 \cdot 10^6$ CFU/g of *Pseudomonas* bacteria on King B medium, while the control had only $1.2 \pm 0.01 \cdot 10^6$ CFU/g.

Amylolytic bacteria on KAA increased significantly in the BioSok Energy Plus variant, exceeding the control level by $0.9 \cdot 10^5$ CFU/g.

The number of nitrogen-fixing bacteria from the genus *Azotobacter* in the soil under Golden Delicious trees was greater in the Al Karal (G-3), BioSok Energy Plus (G-4), and Agrofloirin (G-2) variants than in the control (G-1).



Figure 3 - View of an organic apple orchard

The most pronounced microbiological activation was observed in treatments combining mineral nutrition with biohumus or BioSok Energy Plus.

The obtained results demonstrate that the integration of mineral fertilization with organic and bioorganic components leads not only to higher yields but also to qualitative and biological improvements in the soil-plant system.

The 39% yield increase under pure NPK confirms that light chestnut soils with low humus content are primarily limited by mineral nutrition. However, the additional 11–25% yield increase in organo-mineral variants indicates that mineral nutrition alone does not fully realize the productive potential of Golden Delicious.

The superior performance of NPK + biohumus (64% increase) can be explained by several interacting mechanisms:

1. Improved soil structure and aggregation due to organic matter input.
2. Increased cation exchange capacity and nutrient retention.

3. Enhanced microbial-mediated nutrient mineralization.

4. Better synchronization between nutrient release and plant demand.

Biohumus likely created a buffering environment that reduced nutrient leaching and improved root zone conditions, which is especially important in irrigated arid soils.

The high efficiency of BioSok Energy Plus suggests that microbial consortia (*Bacillus*, *Pseudomonas*, *Azotobacter*, fungi) enhanced nutrient solubilization and phytohormone production, thereby stimulating root development and nutrient uptake efficiency.

The increase in sugar and dry matter content indicates improved carbohydrate metabolism and assimilate accumulation. Enhanced nitrogen availability combined with improved microbial activity likely stimulated photosynthetic capacity and translocation of assimilates to fruits.

Higher dry matter content directly correlates with improved storage stability.

The extension of shelf life from 4 to 6 months suggests better tissue density, improved cell wall integrity, and possibly enhanced calcium and carbohydrate balance.

The parallel increase in yield and sugar content is particularly important. Often, higher yields dilute sugar concentration, but in this study both parameters increased simultaneously, indicating improved physiological efficiency rather than simple biomass expansion.

The 2–2.5-fold increase in total microbial abundance confirms that organomineral systems activate soil biological processes.

Increased *Azotobacter* abundance suggests enhanced biological nitrogen fixation, partially compensating for mineral nitrogen dependence.

The fourfold increase in *Pseudomonas* spp. under BioSok Energy Plus is especially significant, as these bacteria are known for:

- Phosphate solubilization.
- Production of growth-promoting substances.
- Suppression of phytopathogens.

The stimulation of amylolytic and fungal communities indicates accelerated decomposition of organic residues and improved carbon cycling.

These microbiological shifts support the concept that soil in intensive orchards should be managed as a living biogeochemical system rather than a passive substrate. Enhanced microbial diversity likely improved nutrient cycling stability and increased resilience to abiotic stress.

The most effective variants included biohumus and BioSok Energy Plus, which resulted in yields of 28.5–29.5 t/ha, sugar content of 11.9–12.1%, dry matter content of 15.0–15.3%, and fruit shelf life of up to 6 months. The yield values correspond to the productivity level of intensive orchards in their third or fourth year of fruiting, as reported by [9], [10] found that combining mineral nutrition with organic and bioorganic fertilizers improves the quality and

shelf life of apple fruit. Our results on sugar content and shelf life are consistent with this.

The experiments showed that the tested organomineral fertilizers stimulated the growth of ammonifying, nitrogen-fixing bacteria from the genus *Azotobacter*, bacteria from the genus *Pseudomonas*, amylolytic forms, and a variety of microscopic fungi, indicating an increase in the biological activity of the rhizosphere zone. This indicates an increase in natural soil processes that ensure the availability of nitrogen, phosphorus, and other elements to plants. The increase in the number of *Pseudomonas* and microscopic fungi (within environmentally safe limits) corresponds to increased plant residue decomposition and improved soil structure.

The main components of "Agroflorin" are enzymes and fungal metabolites, which destroy toxins and improve nutrient absorption [15, 16]. Amino acids are essential building blocks for plants, forming proteins that drive metabolic processes such as photosynthesis, nutrient transport, and stress response while also serving as precursors for hormones, signaling molecules, and chlorophyll [17]. Organic acids are essential for plant metabolism, serving as energy/redox carriers (such as malate in the malate valve), carbon storage, pH regulators, and biosynthesis precursors; they are essential for stress tolerance (metal chelation, signaling), nutrient acquisition, and linking photosynthesis and respiration, with key examples including malate, citrate, oxalate, and succinate [18, 19]. Phytohormones are chemical messengers that regulate almost every aspect of plant growth, development, and response to the environment, including cell division, elongation, flowering, fruiting, stress adaptation, and even programmed cell death [20]. B vitamins, particularly thiamine (B1) and pyridoxine (B6), significantly boost plant immunity and stress resistance by activating defense pathways (such as SAR), acting as critical enzyme cofactors, and aiding in metabolic stress management, with applications in

improving crop resilience to diseases and environmental challenges [21, 22]. Macronutrients (N, P, K, Ca, Mg, S, as well as C, H, O from air/water) are required in larger amounts for structure, energy, and photosynthesis, whereas micronutrients (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, Cl, Ni) are vital in tiny amounts for enzyme function, metabolism, and enzyme activation [23, 24].

The "AL KARAL" significantly benefit plants by stimulating root growth, improving soil structure for better water/nutrient access, enhancing nutrient absorption (fulvic is an excellent carrier), and increasing stress resistance (drought, salinity) by improving overall plant health and cellular function, making them powerful tools in sustainable agriculture [25, 26]. It also contains amino acids, peptides, polysaccharides, vitamins, proteins, which act as building blocks, participate in metabolic processes, and boost immunity.

"BioSok Energy Plus" promotes plant growth and health by improving nutrient uptake (e.g., nitrogen fixation, phosphate solubilization), producing plant hormones, increasing stress tolerance (drought, salinity), and suppressing pathogens, making it an environmentally friendly alternative to chemical fertilizers in sustainable agriculture [27]. *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Trichoderma*, *Azotobacter*, and mycorrhizal fungi are key beneficial microorganisms that work directly or indirectly through mechanisms such as root colonization and metabolite production [28, 29].

Thus, soil is no longer viewed as a passive "substrate" for roots, but rather as an active living system in which microbiota play an important role in fertility regulation. This is entirely consistent with our current understanding of soil as a complex biogeochemical system [30-32].

CONCLUSIONS

The findings of this study underscore the vital role that integrating biopreparations and organo-mineral fertilizers

plays in enhancing both the productivity and quality of Golden Delicious apples cultivated in southeast Kazakhstan. The marked increases in yield, sugar content, dry matter, and shelf life observed - especially with the application of biohumus and BioSok Energy Plus - demonstrate the tangible benefits of combining mineral nutrition with organic and bioorganic inputs.

From an analytical perspective, the use of organo-mineral fertilizers stimulated the biological activity of the soil, as evidenced by increased numbers of nitrogen-fixing bacteria, *Pseudomonas*, amylolytic bacteria, and diverse microscopic fungi. These changes improve the availability of nutrients for plants and contribute to better fruit quality. Specifically, sugar content increased by 1.5–1.9%, dry matter by 1.2–1.5%, and fruit shelf life extended from 4 to 6 months. This approach not only enhances fruit quality and economic returns but also supports sustainable agricultural practices by fostering a more active and diverse soil microbiome.

Practical recommendations:

1. Biohumus and BioSok Energy Plus, in combination with mineral fertilizers, should be used as the main fertilization system to ensure stable productivity and fruit quality of Golden Delicious apple orchards.

2. Soil microbiome monitoring and assessment of biopreparation effects are recommended to optimize fertilizer application rates and maximize efficiency.

3. Other organic and bioorganic additives (Agroflorin, Al Karal) can be applied as supplementary treatments depending on regional conditions and resource availability.

Overall, the study confirms that integrating mineral and organic-bioorganic fertilization is an effective strategy for improving apple yield, quality, and storage potential, while also promoting soil health and sustainable orchard management.

FINANCING

The work was carried out within the framework of the target scientific and technical program on the topic (IRN BR10764907) "Development of organic agriculture technologies for the cultivation, digitalization and export of agricultural crops taking into account regional characteristics".

REFERENCES

1. Alhassan Y.A., Haruna Y., Firdausi S.K., Muhammad M.A. Economics of bio-based fertilizer in improving crop productivity through extension services delivery // *International Journal of Agriculture and Plant Science*. – 2019. – Vol. 1. – P. 10–13.
2. Ye L., Zhao X., Bao E. et al. Bio-organic fertilizer with reduced rates of chemical fertilization improves soil fertility and enhances tomato yield and quality // *Scientific Reports*. – 2020. – Vol. 10. – Art. 177. – DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56954-2>.
3. Baishanova A.E., Kedelbaev B.Sh. Problems of soil degradation. Analysis of the current state of fertility of irrigated soils in the Republic of Kazakhstan // *Scientific Review. Biological Sciences*. – 2016. – P. 5–13. – URL: <https://science-biology.ru/ru/article/view?id=991> (accessed: 19.12.2025).
4. Zhandybayev O., Malimbayeva A., Shibikeyeva A., Amirkhan A. Effect of fertigation on nutrient dynamics of gray-brown soils and apple (*Malus pumila*) yields in intensive orchards of Kazakhstan // *Research on Crops*. – 2023. – Vol. 24. – P. 506–514. – DOI: 10.31830/2348-7542.2023.ROC-927.
5. Minasny B., Malone B., McBratney A. et al. Soil carbon 4 per mille // *Geoderma*. – 2017. – Vol. 292. – P. 9–89. – DOI: 10.1016/j.geoderma.2017.01.002.
6. Holik L., Hlisnikovský L., Honzik R., Trögl J., Burdová H., Popelka J. Soil microbial communities and enzyme activities after long-term application of inorganic and organic fertilizers at different depths of the soil profile // *Sustainability*. – 2019. – Vol. 11, № 12. – P. 3251.
7. Sivojiene D., Kacergius A., Baksiene E., Maseviciene A., Zickiene L. The influence of organic fertilizers on the abundance of soil microorganism communities, agrochemical indicators, and yield in East Lithuanian light soils // *Selected Papers from Conference of CYSENI*. – 2021. – Vol. 10, № 12. – P. 2648.
8. Zhang J., Bei Sh., Li B., Zhang J., Christie P., Li X. Organic fertilizer, but not heavy liming, enhances banana biomass, increases soil organic carbon and modifies soil microbiota // *Applied Soil Ecology*. – 2019. – Vol. 136. – P. 67–79. – DOI: 10.1016/j.apsoil.2018.12.017.
9. Kapłan M., Klimek K., Borkowska A., Buczynski K. Effect of growth regulators on the quality of apple tree whorls // *Applied Sciences*. – 2023. – Vol. 13. – Art. 11472. – DOI: 10.3390/app132011472.
10. Ponchia G., Fila G., Gardiman M. Effects of root-stock and interstem on growth, productivity and mineral nutrition of 'Golden Delicious' apple trees // *Acta Horticulturae (ISHS)*. – 1997. – № 448. – P. 107–112. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/286202731> (accessed: 20.12.2025).
11. Novitsky M.V., Lavrishchev A.V., Nazarova A.V. et al. Laboratory and practical classes in soil science. – St. Petersburg: Prospekt Nauki, 2024. – 320 p. – URL: <https://www.ibooks.ru/bookshelf/353755/reading> (accessed: 01.12.2025).
12. Methodological recommendations (2004). Methods of microbiological control of soil. – Moscow: Federal Center for State Sanitary and Epidemiological Surveillance of the Ministry of Health of the Russian Federation, 2004. – 21 p. – URL: <https://>

meganorm.ru/Data2/1/4293737/4293737876.pdf (accessed: 01.12.2025).

13. GOST 17.4.3.01-83. Environmental protection. Soils. General requirements for sampling. – Mode of access: https://allgosts.ru/13/080/gost_17.4.3.01-83 (accessed: 01.01.2026).

14. ISO 10576:2022. Statistical methods. Guidelines for the evaluation of conformity with specified requirements. – Geneva: International Organization for Standardization, 2022.

15. Khan M.F., Hof C., Niemcová P., Murphy C.D. Recent advances in fungal xenobiotic metabolism: enzymes and applications // *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. – 2023. – Vol. 39, No. 11. – Art. 296. – DOI: 10.1007/s11274-023-03737-7.

16. Kumari R., Singh A., Yadav A.N. Fungal enzymes: degradation and detoxification of organic and inorganic pollutants // Yadav A.N. (ed.) *Recent Trends in Mycological Research. Fungal Biology*. – Cham: Springer, 2021. – Vol. 2. – P. 99–125. – DOI: 10.1007/978-3-030-68260-6_5.

17. Heidarzadeh A. Retracted article: Role of amino acids in plant growth, development, and stress responses: a comprehensive review // *Discover Plants*. – 2025. – Vol. 2. – P. 237. – DOI: 10.1007/s44372-025-00322-0.

18. Igamberdiev A.U., Bykova N.V. Role of organic acids in the integration of cellular redox metabolism and mediation of redox signalling in photosynthetic tissues of higher plants // *Free Radical Biology and Medicine*. – 2018. – Vol. 122.

19. Zhang L., Zhang J., Guo J. Relationships between organic acid metabolism and the accumulation of sugars and calcium in fruits of *Cerasus humilis* during different development stages // *Plants*. – 2024. – Vol. 13. – P. 3053. – DOI: 10.3390/plants13213053.

20. Li M., Zhu Y., Li S., Zhang W., Yin C., Lin Y. Regulation of phytohormones on the growth and development of plant root hair // *Frontiers in Plant Science*. – 2022. – Vol. 13. – Art. 865302. – DOI: 10.3389/fpls.2022.865302.

21. Fitzpatrick T.B. B vitamins: an update on their importance for plant homeostasis // *Annual Review of Plant Biology*. – 2024. – Vol. 75. – P. 67–93. – DOI: 10.1146/annurev-arplant-060223-025336.

22. Tariq L., Bi Y., Wang H., Guo M., Song F. Balancing vitamin B6 homeostasis for plant immunity // *Physiologia Plantarum*. – 2025. – Vol. 177, № 4. – Art. e70415. – DOI: 10.1111/ppl.70415.

23. Etienne P., Diquelou S., Prudent M., Salon C., Maillard A., Ourry A. Macro and micronutrient storage in plants and their remobilization when facing scarcity: the case of drought // *Agriculture*. – 2018. – Vol. 8. – Art. 14. – DOI: 10.3390/agriculture8010014.

24. Kumar S., Kumar S., Mohapatra T. Interaction between macro- and micro-nutrients in plants // *Frontiers in Plant Science*. – 2021. – Vol. 12. – Art. 665583. – DOI: 10.3389/fpls.2021.665583.

25. Mosaad I.S.M., Selim E.M.M., Gaafar D.E.M. et al. Effects of humic and fulvic acids on forage production and grain quality of triticale under various soil salinity levels // *Cereal Research Communications*. – 2025. – Vol. 53. – P. 1811–1829. – DOI: 10.1007/s42976-024-00609-0.

26. Nabi F., Sarfaraz A., Kama R., Kanwal R., Li H. Structure-based function of humic acid in abiotic stress alleviation in plants: a review // *Plants (Basel)*. – 2025. – Vol. 14, № 13. – Art. 1916. – DOI: 10.3390/plants14131916.

27. Gu S., Hu Q., Cheng Y. et al. Application of organic fertilizer improves microbial community diversity and alters microbial network structure in tea (*Camellia sinensis*) plantation soils // *Soil and Tillage Research*. – 2019. – Vol. 195. – Art. 104356. – DOI: 10.1016/j.still.2019.104356.

28. Ansabayeva A., Makhambetov M., Rebouh N.Y. et al. Plant growth-promoting microbes for resilient farming systems: mitigating environmental stressors and boosting crops productivity – a review // *Horticulturae*. – 2025. – Vol. 11. – Art. 260. – DOI: 10.3390/horticulturae11030260.

29. Santoyo G., Guzmán-Guzmán P., Parra-Cota F.I. et al. Plant growth stimulation by microbial consortia // *Agronomy*. – 2021. – Vol. 11. – P.219. – DOI: 10.3390/agronomy11020219.

30. Assefa S., Tadesse S. The principal role of organic fertilizer on soil properties and agricultural productivity – a review // *Agricultural Research & Technology: Open Access Journal*. – 2019. – Vol. 22. – Art. 556192.

31. Bamdad H., Lazarovits G., Franco B.B. Soil amendments for sustainable agriculture: microbial organic fertilizers // *Soil Use and Management*. – 2022. – Vol. 38, No. 1. – P. 94–120. – DOI: 10.1111/sum.12762.

32. Ivanov, A.L.; Kogut, B.M.; Semenov, V.M.; Turina Oberlander, M.; Waksman Schanbacher,

33. Ivanov A.L., Kogut B.M., Semenov V.M., Turina Oberlander M., Waksman Schanbacher N. The development of theory on humus and soil organic matter: from Turin and Waksman to present days // *Dokuchaev Soil Bulletin*. – 2017. – № 90. – P. 3–38. – DOI: 10.19047/0136-1694-2017-90-3-38.

ТҮЙІН

А. Жаппарова^{1*}, С. Мәуленова¹, Е. Сальников², К. Айсакулова³, К. Караева¹,
С. Рахимғалиева⁴

ОҢТҮСТІК-ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ *MALUS DOMESTICA* МАРКЕРІНІҢ
ӨНІМДІЛІГІНЕ ЖӘНЕ МИКРОБИОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛГІЛЕРГЕ
ОРГАНИКАЛЫҚ-МИНЕРАЛДЫ ТАМАҚТАНУ РЕЖИМДЕРІНІҢ ӘСЕРІ

¹ Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, 050010, Алматы,
Абай даңғылы, 8, Қазақстан, *e-mail: aigul7171@inbox.ru

² Белград университеті, Көп салалы зерттеулер институты,
11030, Белград, Кнеза Висеслава, 1, Сербия,

³ Қазақ жеміс-көкөніс шаруашылығы ғылыми-зерттеу институты,
050060, Алматы, Гагарин даңғылы, 238/5, Қазақстан,

⁴ Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық
университеті, 090009, Орал, Жәңгір хан көшесі, 51, Қазақстан

Бұл зерттеу Оңтүстік-Шығыс Қазақстандағы Голден Делишес алма ағаштарының өнімділігі мен топырақ микробиологиялық көрсеткіштеріне орғано-минералды тыңайтқыш жүйелерінің биологиялық препараттармен үйлескен әсерін бағалайды. Органикалық заттардың мөлшері суармалы ашық –қара қоңыр топырақтарға органикалық, биоорганикалық және минералды тыңайтқыштарды қоса алғанда, алты тыңайтқыш нұсқасы қолданылды. Нәтижелер биогумус пен BioSok Energy Plus өңдеулері бақылау нұсқасымен салыстырғанда өнімділікті (39–64%), қант мөлшерін (0,5–1,9%), құрғақ заттарды (0,8–1,5%) және жемістердің сақтау мерзімін айтарлықтай арттырғанын көрсетті. Сонымен қатар, бұл өңдеулер пайдалы топырақ микроорганизмдерінің санын арттырды, бұл топырақтың биологиялық белсенділігі мен құрылымының жақсарғанын көрсетеді. Зерттеу нәтижелері органикалық және биоорганикалық тыңайтқыштарды минералды қоректік заттармен біріктіру топырақтың құнарлылығы мен микробиоценозды арттыру арқылы бақшаның тұрақты өнімділігін арттыратынын, осылайша құрғақ аймақтарда ұзақ мерзімді топырақ денсаулығы мен тұрақты бау-бақша тәжірибесін қолдайтынын көрсетеді.

Түйінді сөздер: органикалық тыңайтқыштар, биопрепараттар, микроорганизмдер, қара-қоңыр топырақтары, Голден Делишес, өнімділік, жеміс сапасы.

РЕЗЮМЕ

А. Жаппарова^{1*}, С. Мәуленова¹, Е. Сальников², К. Айсакулова³, К. Караева¹,
С. Рахимгалиева⁴

ВЛИЯНИЕ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ПИТАНИЯ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ И
МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ МАРКЕРЫ *MALUS DOMESTICA* В ЮГО-ВОСТОЧНОМ
КАЗАХСТАНЕ

¹Казахский национальный аграрный исследовательский университет,
050010, Алматы, пр., Абая, 8, Казахстан, *e-mail: aigul7171@inbox.ru

²Белградский университет, Институт междисциплинарных исследований,
11030, Белград, Князя Висеслава, 1, Сербия,

³Казахский научно-исследовательский институт плодоводства и
овощеводства, 050060, Алматы, пр., Гагарина, 238/5, Казахстан,

⁴Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир
Хана, 090009, Уральск, ул. Жангира Хана, 51, Казахстан

В данном исследовании оценивается влияние органоминеральных удобрений в сочетании с биологическими препаратами на продуктивность яблонь сорта «Голден Делишес» и почвенные микробиологические показатели в юго-восточном Казахстане. С использованием рандомизированного блочного дизайна было изучено шесть вариантов удобрения - органическое, биоорганическое и минеральное - на орошаемых светло-каштановых почвах с низким содержанием органического вещества. Результаты показали, что обработка биогумусом и BioSok Energy Plus значительно увеличила урожайность (39–64%), содержание сахара (0,5–1,9%), содержание сухого вещества (0,8–1,5%) и срок хранения плодов по сравнению с контрольными образцами. Кроме того, изученные факторы повысили численность полезных почвенных микроорганизмов, что указывает на улучшение биологической активности и структуры почвы. Полученные данные свидетельствуют о том, что интеграция органических и биоорганических удобрений с минеральным питанием способствует устойчивой продуктивности садов за счет повышения плодородия почвы и микробиоценоза, тем самым поддерживая долгосрочное здоровье почвы и устойчивые методы садоводства в засушливых регионах.

Ключевые слова: органические удобрения, биопрепараты, микроорганизмы, каштановые почвы, сорт «Голден Делишес», урожайность, качество плодов.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

1. Aigul Zhapparova – professor of the Department of Soil Science, Agrochemistry and Ecology, Candidate of Agricultural Sciences, <http://orcid.org/0000-0002-0103-5059>, e-mail: aigul7171@inbox.ru

2. Saltanat Maulenova - doctoral student of the Department of Soil Science, Agrochemistry and Ecology, <https://orcid.org/0009-0000-1687-769X>, e-mail: maulenova50@gmail.com

3. Elmira Saljnikov – professor, Department of Life Sciences, Candidate of Biological Sciences, Professor, <http://orcid.org/0000-0002-6497-2066>, e-mail: esaljnikov@imsi.bg.ac.rs

4. Hairinissa Aisakulova - Leading Researcher, Candidate of Agricultural Sciences, <https://orcid.org/0000-0001-9111-6399>, e-mail: hairinissa@mail.ru

5. Karlyga Karayeva - Senior Lecturer, PhD, <https://orcid.org/0000-0002-4074-5352>, e-mail: karlygakaraeva@gmail.com

6. Saule Rakhimgalievа - Professor, Candidate of Agricultural Sciences, <https://orcid.org/0000-0001-6344-4475>, e-mail: saule-ra@mail.ru

ГРНТИ 68.33.29

DOI: 10.51886/1999-740X_2026_1_73

Б.У. Сулейменов^{1*}, С.И. Танирбергенов^{1*}, А.Т. Макашева¹, М.Р. Тулегенова¹
ВЛИЯНИЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ
ГУМИНОВЫХ, ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И УРОЖАЙНОСТЬ
ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ

¹Казахский научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии
имени У.У. Успанова, 050060, Алматы, ул. Байрак, 10, Казахстан,

*e-mail: beibuts@mail.ru, tanir_sem@mail.ru

Аннотация. Яровой ячмень одна из стратегически важных зерновых культур, отличающаяся высокой пластичностью, скороспелостью и широким спектром хозяйственного применения. Площадь возделывания ярового ячменя в Казахстане составляет более 2 млн га. Подбор и изучение влияния гуминовых удобрений на рост и развитие ярового ячменя в условиях богары является актуальной задачей исследований. По данным наших полевых и лабораторных исследований, применение гуминовых удобрений благоприятно влияет на рост и развитие ярового ячменя на светлых сероземах с низкой обеспеченностью гумусом и подвижными макроэлементами. Гуматы активизируют микробиоту, стабилизируют влажность почвы и повышают усвоение питательных веществ. В условиях засухи в период колошения-налива зерна из-за резкого повышения среднесуточной температуры и снижения влажности почвы эффективность гуминовых удобрений снижается. Гуминовые удобрения могут сохранить эффективность при условии выращивания засухоустойчивых сортов ярового ячменя с короткой вегетацией (75-80 дней) в сочетании с листовыми подкормками гуматами и адаптированной агротехникой с учетом долгосрочного агрометеорологического прогноза.

Ключевые слова: светлые серозёмы, яровой ячмень, урожайность, гуминовые удобрения, богарное земледелие, влажность почвы.

ВВЕДЕНИЕ

Яровой ячмень (*Hordeum vulgare L.*) - одна из важнейших зерновых культур Казахстана. Он используется в продовольственных, кормовых и технических целях (особенно для пивоварения). Отличается скороспелостью, устойчивостью к засухе и занимает значительное место в богарном земледелии. Яровой ячмень ценится как эффективный предшественник для многих культур. Его возделывание способствует улучшению агрофизических свойств почвы, обогащает ее органическим веществом подавляет сорную растительность и повышает экологическую устойчивость [1].

Посевная площадь ярового ячменя в Казахстане в 2024 году составила 2,27 млн га. Средняя урожайность ярового ячменя достигла 13,7 ц/га, что пре-

вышает уровень 2023 года (11–12 ц/га). Повышение продуктивности обусловлено совокупностью благоприятных агрометеорологических условий и активным внедрением биостимулирующих агротехнологий [2]. В 2024 г. в области Жетысу площадь посевов ярового ячменя превысила 151 тыс. га. Средняя урожайность составила 16–18 ц/га, что обусловлено внедрением адаптированных сортов и применением современных биопрепаратов.

В настоящее время разрабатываются и внедряются новые подходы к оценке эффективности гуминовых препаратов. Особое внимание при этом уделяется гуминовым удобрениям, обладающим широким спектром физиологического и агрохимического действия [3]. Гуминовые препараты представляют собой комплексные соедине-

ния, включающие гуминовые и фульвокислоты, их соли - гуматы и фульваты, а также гумины, образующие устойчивые комплексы с минеральными компонентами почвы. Они обладают высокой биологической активностью [4].

Соли гуминовых и фульвокислот оказывают комплексное стимулирующее воздействие на физиологические процессы в растениях. Они способствуют активному формированию корневой системы, повышению проницаемости клеточных мембран и активации ферментативной активности, а также улучшают дыхательные функции. Их применение способствует интенсификации поглощения основных элементов минерального питания азота, фосфора, калия и железа [5].

Некорневая подкормка растений представляет собой высокоэффективный агротехнический прием, обеспечивающий оперативное восполнение потребности культур в макро- и микроэлементах. Растворы удобрений, наносимые непосредственно на листовую поверхность, быстро абсорбируются тканями растений, что позволяет наблюдать выраженный физиологический отклик уже в течение 2–3 суток после обработки. Продолжительность действия одной некорневой подкормки составляет в среднем до трех недель, обеспечивая пролонгированный эффект за счет стабилизации метаболических процессов и активизации физиологического потенциала растений [6].

Цель научных исследований: изучить влияние жидких гуминовых и органоминеральных удобрений на рост, развитие и урожайность ярового ячменя в условиях необеспеченной богары.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Полевые исследования проведены на опытных полях ТОО «Кызылшоқы», расположенных в Кербулакском районе области Жетысу. В качестве объекта

исследования выбраны светлые серозёмы. Исследуемая культура - яровой ячмень сорта «Байшешек».

Предгорные равнины хребта Малай-Сары, расположенные в области Жетысу, характеризуются неоднородным почвенным покровом, с преобладанием земель, подверженных ветровой и частично водной эрозии. Светлые нормальные серозёмы характеризуются светлой окраской гумусового горизонта и его небольшой мощностью. Содержание гумуса составляет 0,8–1,0 %. Преобладают легкосуглинистые и супесчаные разновидности [7]. На покатых предгорных равнинах, сложенных двухчленными суглинисто-галечниковыми (щебнистыми) наносами, формируются ксероморфные серозёмы.

Сорт ярового ячменя «Байшешек», оригинатор ТОО «Красноводопадская сельскохозяйственная опытная станция». Среднеспелый, вегетационный период 74–80 дней. Засухоустойчивый. Крупяные качества хорошие. Масса 1000 зерен 44–58 г. Сорт устойчив к осыпанию [8].

Посев ярового ячменя проведен 01.04.2025 г. в условиях необеспеченной богары. Норма высева составляет в 3,0–3,5 млн всхожих семян на гектар (120–140 кг/га). Всходы появились 07.04.2025 г. Биологический учет урожай ярового ячменя проведен 24.06.2025 г.

Полевой опыт заложен по схеме : 1) контроль, без применения удобрений; 2) органическое гуминовое удобрение «Атмас»; 3) органоминеральное удобрение «ГуматоФосфат»; 4) гуминовое удобрение «АлКарал»; 5) гуминовое удобрение «БиоМакс». Повторность опыта трехкратная. Площадь делянок - 100 м².

«Атмас» – органическое гуминовое удобрение. Содержание гуминовых кислот 15,46%, азота 10,5 г/л, фосфора – 15 г/л, калия – 61,7 г/л.

«ГуматоФосфат» - органоминеральное удобрение на основе гуминовых веществ и аммофоса. Содержание органического вещества 25%, азота 5 г/л, фосфора 15-16 мг/л, калия 25 г/л.

«АлКарал» - гуминовое удобрение. Содержание гуминовых кислот 36,5%, азота 4,5 г/л, фосфора 14 г/л, калия 29 г/л.

«БиоМакс» - гуминовое удобрение. Содержание гуминовых кислот 15%, азота 1,9 г/л, фосфора 1,9 г/л, калия 2,2 г/л.

Жидкие гуминовые и органоминеральные удобрения использовали: 1) для обработки почвы перед посевом, 2) для некорневой обработки растений в фазы: кущение, выход в трубку и колошение из расчета 1 л/га; рабочий раствор 250 л/га.

Для анализа использованы аналитические методы, изложенные в руководстве по общему анализу почвы Аринушкиной Е.В. [9]. Определение общего гумуса по Тюрину; легкогидролизуемого азота по Тюрину-Кононовой; подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина; рН водный по ГОСТ 26423-85. Определение гранулометрического состава почвы по Качинскому. Поглощенные основания Са и Mg по методу Аринушкина в модификации Грабарова; Na и K по методу Каратаева и Маметова в модификации Грабарова. Объемная масса и влажность почвы определялась согласно МГС ГОСТ 5180-2015 [10]. Проведение FDA-теста согласно протоколу Green V.S. и др. [11]. Критерии гидротермического коэффициента увлажнения периода вегетации установлены по Селянинову Г.Т. [12]. Математическая обработка данных проведена методами дисперсионного анализа с использованием пакета Microsoft Excel [13].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Область Жетысу, расположенная на юго-востоке Казахстана, отличается разнообразием природно-климатических условий. Климат области резко континентальный, с выраженными сезонными и суточными колебаниями температуры. В равнинной части средняя температура января составляет около -15°C , в предгорьях $-6-8^{\circ}\text{C}$. В июле температурный режим варьируется от $+16^{\circ}\text{C}$ в горных районах до $+24-25^{\circ}\text{C}$ на равнине. Такое климатическое разнообразие позволяет вести широкий спектр сельскохозяйственных и природоохранных работ, при условии адаптации технологий к локальным условиям. По многолетним данным в Кербулакском районе области Жетысу (ст. «Сарьозек») атмосферные осадки составляют 145,1 мм в год. Максимальное количество осадков приходится на апрель-июнь в пределах 17,8-25,4 мм.

В период вегетации ярового ячменя в апреле-июне 2025 г. Среднемесячная температура воздуха повысилась от $13,4$ до $22,6^{\circ}\text{C}$ (таблица 1). Максимальная экстремальная температура также повысилась от 22 до $36,0^{\circ}\text{C}$. Количество осадков в апреле-мае было на уровне 19,8 и 28,0 мм соответственно, с резким снижением осадков в июне до 10,0 мм.

Температура воздуха в апреле $13,4^{\circ}\text{C}$ обеспечила благоприятные условия для прорастания семян ярового ячменя. Атмосферные осадки 19,8 мм обеспечили равномерное увлажнение почвы. В фазу кущения и выхода в трубку температура повысилась от $13,8$ до $17,2^{\circ}\text{C}$ и поддерживала активный рост растений. В мае выпало 28,0 мм осадков.

Таблица 1 - Агроклиматические показатели по данным метеостанции Сарыозек, 2025 г.

Месяц	Температура воздуха, °С			Количество осадков, мм	ГТК
	Среднемесячная	Экстремальная	$\Sigma T > 10^{\circ}\text{C}$		
Апрель	13,4	22,0	230,0	19,8	0,86
Мая	17,2	30,0	560,0	28,0	0,50
Июнь	22,6	36,0	650,0	10,0	0,15

Для оценки условий увлажнения вегетационного периода, который отражает соотношение количества осадков и тепла за период с температурами выше $+10^{\circ}\text{C}$, рассчитан гидротермический коэффициент (ГТК): в апреле 0,86 – засушливый, в мае и июне ГТК очень засушливый и сухой, соответственно, 0,50 и 0,15. При ГТК ниже 1,0 яровой ячмень испытывает дефицит влаги. В апреле растения страдают умеренно, но в мае и особенно в июне засуха резко ограничивает рост, формирование колоса и налив зерна, что может привести к снижению урожайности и ухудшению качества зерна.

Погодно-климатические условия 2025 г. оказали влияние на водно-физические свойства светлого серозема, в первую очередь на объемную массу и влажность почвы в условиях необеспеченной богары. В фазе всходов ярового

ячменя объемная масса почвы в слое 0–30 см на всех изучаемых вариантах составила $1,1 \text{ г/см}^3$, что создавало благоприятные условия для появления всходов и развития корневой системы. В течение вегетационного периода объемная масса почвы с применением гуминовых и органоминеральных удобрений находилась в пределах $1,1–1,2 \text{ г/см}^3$, что способствовало поддержанию оптимального водно-воздушного режима.

Влажность почвы один из ключевых факторов, определяющих ее плодородие. По результатам наших исследований в условиях необеспеченной богары влажность почвы в период всходов на контрольном участке и варианте с обработкой почвы органоминеральным удобрением «Гуматофосфат» находится на одном уровне и составляет 28,4–28,5% (рисунок 1).

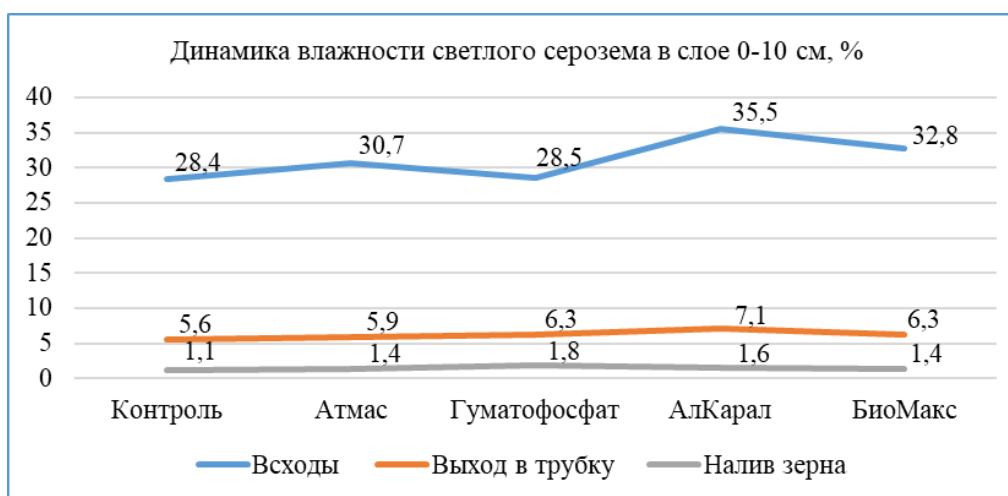


Рисунок 1 - Динамика влажности светлого серозема в слое 0-10 см

На вариантах (2, 4, 5) с опрыскиванием почвы гуминовыми удобрениями наблюдается тенденция повышения влажности почвы до 30,7-35,5%, что свидетельствует о положительном влиянии гуминовых веществ на водный режим почвы.

Резкое повышение температуры почвы до 25–30°C фазу выхода в трубку привело к резкому снижению ее влажности на всех изучаемых вариантах до уровня 5,6–7,1%. Дальнейшее повышение температуры воздуха до 30–35°C в период налива зерна (июнь) обусловило критическое снижение влажности почвы до 1,1–1,8%. Такая динамика свидетельствует о высокой чувствительности водного режима почвы к термическим условиям.

Фаза налива зерна, решающая фаза для формирования урожая. В этот период ячмень особенно чувствителен к дефициту влаги, особенно на светлых сероземах, которые быстро её теряют. Даже кратковременная засуха может привести к потере до 30–50% потенциального урожая [14]. При критически низкой влажности (1,8%) ниже предела завядания, для большинства почв обычно 5–7%, растения не могут поглощать воду из почвы. При нарушении транспирации прекращается нормальный ток воды и питательных веществ, нарушается фотосинтез, происходит остановка налива зерна, зерно не наполняется крахмалом, масса 1000 зерен резко снижается, зерно формируется щуплым с пониженным содержанием белка и крахмала.

Гуминовые вещества влияют на влажность почвы через улучшение ее структуры и биологической активности. Они способствуют формированию устойчивых агрегатов, повышая пористость и влагоудерживающую способность, особенно в светлых сероземах, склонных к пересыханию. Гуматы увеличивают доступную влагу в корнеобитаемом слое легких и среднесуг-

линистых почв. Благодаря снижению капиллярного поднятия влаги и потерь на испарение, а также стимуляции микробиоты, гуматы способствуют равномерному распределению влаги и улучшению водного режима [15].

Таким образом, применение гуминовых удобрений при возделывании ярового ячменя в условиях богары в первую очередь способствуют повышению влажности почвы. При этом создаются более благоприятные условия для роста и развития. Однако, в условиях засухи наблюдается резкое снижение влажности почвы.

Агрохимическая характеристика светлого серозёма. Валовые формы азота, фосфора и калия в почве, включают как доступные для растений, так и недоступные (связанные, органические, минеральные) и отражают потенциальный запас элемента. По нашим данным в светлом серозёме в слое 0-20 см общее содержание азота составляет 0,091%, валового фосфора 0,139% и валового калия 2,528%.

Карбонатность светлого серозёма составляет 7,21-8,12% что относит к их сильнокарбонатной группе согласно градации. Карбонатность может оказывать влияние на свойства, повышать pH и плотность почвы, снижать доступность микроэлементов Fe, Mn и Zn, а также снижать влагоудержание.

Реакция почвенной среды - слабощелочная (pH 7,89). Сумма поглощенных оснований составляет 11,82-12,74 мг-экв/100 г почвы, в том числе 72-73% приходится на поглощенный Ca. Для необеспеченной богары это означает умеренную буферность и нейтрально-щелочную реакцию почвы, что благоприятно для ярового ячменя.

Гранулометрический состав светлого серозёма супесчаный с укороченным защебененным профилем и неглубоким подстиланием галечником или щебнем (на глубине 40–120 см). Для таких почв характерна пониженная

влажность, высокая фильтрация и повышенная плотность почвы, что ограничивает водный режим и питательный баланс. Для ярового ячменя это означает ускоренное развитие корневой системы, но снижение урожайности в условиях богары из-за дефицита влаги.

В условиях светлых серозёмов Семиречья важно учитывать низкое содержание органики и периодические дефициты азота и фосфора. Регулируется питание через внесение удобрений, соблюдение севооборота, мелиорацию, режим влажности и микробиологические препараты.

Для анализа пищевого режима светлого серозема в условиях Кербулакского района отобраны почвенные образцы перед посевом ярового ячменя. Согласно градации обеспеченности

светлые сероземы относятся к группе с очень низким содержанием гумуса. Содержание общего гумуса на контрольном варианте составило 0,68% (таблица 2, 04.04.). На вариантах с применением жидких гуминовых и органоминеральных удобрений (варианты 2-5) содержание гумуса больше и составляет 0,71-0,76%. Светлые сероземы относятся к очень низко обеспеченным легкогидролизуемым азотом (23,8 мг/кг) почвам. На вариантах с применением удобрений наблюдается увеличение легкогидролизуемого азота в почве до 29,9-32,2 мг/кг. Содержание подвижного фосфора соответствует средней градации обеспеченности от 16 до 30 мг/кг почвы и составляет от 17 до 19 мг/кг. По содержанию обменного калия относятся к очень высокообеспеченным более 600 мг/кг, 710-745 мг/кг почвы.

Таблица 2 – Содержание в светлом сероземе гумуса, подвижных форма азота, фосфора и калия (0-40 см)

№ п/п	Вариант	Общий гумус, %		Подвижные формы, мг/кг					
				Нлг		P ₂ O ₅		K ₂ O	
		04.04.	24.06	04.04.	24.06	04.04.	24.06.	04.04.	24.06
1	Контроль	0,68	0,58	23,8	25,2	17	11	710	671
2	Атмас	0,72	0,75	32,2	28,0	19	16	730	710
3	Гумато-фосфат	0,72	0,71	29,9	25,2	17	17	715	730
4	Ал карал	0,71	0,70	31,4	23,8	18	17	715	730
5	БиоМакс	0,76	0,72	31,6	26,6	18	16	745	720
	Cv (%)	4	9	11	6	5	16	2	3

Вариабельность (Cv) содержания в почве гумуса и подвижных форм макроэлементов низкая менее 10%, данные стабильны. За исключением количества легкогидролизуемого азота до посева и подвижного фосфора в период уборки урожая 11 и 16%, соответственно, средняя вариабельность.

Анализ динамики изменения агрохимических показателей почвы от всходов до уборки урожая показал, что содержание общего гумуса в период полной спелости зерна уменьшается на вариантах не зависимо от применения гуминовых и органоминеральных удоб-

рений (таблица 2, 24.06.), особенно резкое снижение – на контрольном варианте.

К периоду уборки урожая наблюдается снижение содержания макроэлементов (азота, фосфора, калия). Это связано с естественными биологическими, агрохимическими и агротехническими процессами, происходящими в течение вегетационного периода.

Причины снижения макроэлементов в почве связаны также с поглощением питательных веществ. Яровой ячмень активно потребляет азот, фосфор и калий в фазах кущения, выхода в трубку и колошения. К моменту уборки

большая часть доступных форм уже вовлечена в биомассу (листья, стебли, зерно). При дефиците влаги также снижается мобильность питательных веществ, особенно фосфора и калия.

Согласно результатам анализа ферментативной активности почвы, наибольший уровень биологической активности зафиксирован на варианте с применением гуминового удобрения «Атмас» - 77,83 мкг флуоресцеина на грамм почвы за 3 часа (рисунок 2). Вариант с применением удобрения «АлКарал» также продемонстрировал высокую ферментативную активность по сравнению с контрольным вариантом - 64,75 мкг, что свидетельствует о положительном влиянии гуминового удобрения на микробиологические процессы в ризосфере.

Минимальное значение ферментативной активности зафиксировано на варианте с применением гуминового

удобрения «БиоМакс» и органоминерального удобрения «Гуфос», - 55,05 и 58,74 мкг, соответственно, что свидетельствует об отсутствии выраженного стимулирующего эффекта.

Влияние гуминовых и органоминеральных удобрений на урожайность ярового ячменя. Всхожесть, рост, развитие и урожайность культуры зависят от взаимодействия сорта с агротехническими, климатическими и почвенными условиями.

В 2025 г. в условиях необеспеченной богары Кербулакского района, как уже отмечалось выше, наблюдалась засуха, повышение температуры в период вегетации до 30-32°C и более. Резкое снижение влажности почвы от всходов до фазы колошения от 28,4 до 1,1 мм в верхнем 0-10 см слое отрицательно сказалось на росте и развитии ярового ячменя.

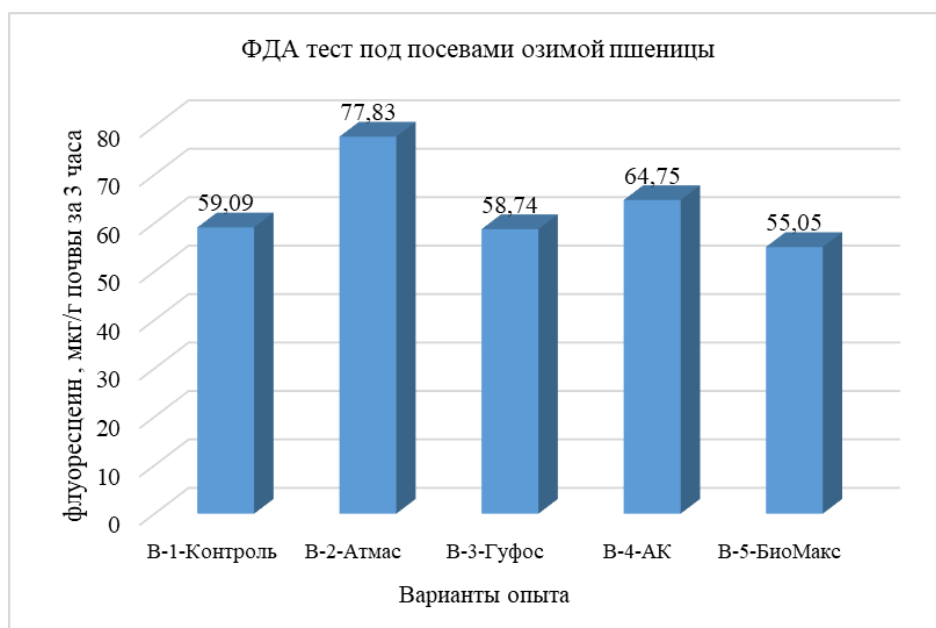


Рисунок 2 – Результат теста FDA под посевами ярового ячменя

Структурный анализ позволяет оценить элементы и их вклад в формирование урожайности: высота растений, количество продуктивных стеблей, масса растений и зерна. По

данным наших исследований, количество продуктивных стеблей на контрольном варианте без удобрений составило 110 шт./м². На вариантах (2-5) с применением удобрений количество

стеблей составляет от 106 до 118 шт./м² при наибольших значениях на варианте с трехкратной внекорневой подкормкой органическим удобрением «Атмас». Масса зерна увеличивалась при применении удобрений от 31,9 до 47,0-48,8 г/м².

Пищевой режим светлого серозёма в период вегетации, характеризующийся средней обеспеченностью почвы легкогидролизуемым азотом и подвижным фосфором, а также снижением их доступности растениям в связи с неблагоприятными погодно-климатическими

условиями отразился на урожайности зерна ярового ячменя.

По данным учета, биологический урожай ярового ячменя на контрольном варианте составил 3,19 ц/га (таблица 3). Внекорневая подкормка удобрениями (варианты 2-5) обеспечила прибавку урожая зерна от 1,51 до 1,69 ц/га (52,9%). Максимальный урожай получен на варианте с применением органического гуминового удобрения «Атмас». Масса 1000 зерен ярового ячменя на контрольном варианте составила 36 г (таблица 3).

Таблица 3 – Урожай зерна ярового ячменя

№	Вариант	Масса 1000 зерен, г	Урожай зерна, ц/га	Прибавка урожая	
				ц/га	%
1	Контроль	36	3,19	-	-
2	Атмас	52	4,88	1,69	52,9
3	Гуфос	52	4,71	1,52	47,6
4	Ал карал	53	4,75	1,56	48,9
5	БиоМакс	55	4,70	1,51	47,3
	НСР ₀₅	3,92	0,56		

Обработка почвы перед посевом и трёхкратная внекорневая подкормка растений удобрениями за счет улучшения биологической активности почвы и поступления элементов питания через листовую поверхность в начальный период развития ярового ячменя увеличила этот показатель до 52-55 г.

Корреляционный анализ данных

позволил выявить ключевые факторы, которая оказали влияние на формирование урожая ярового ячменя в условиях засухи. Высокая зависимость урожайности ярового ячменя от содержания в почве подвижного фосфора и обменного калия подтверждается коэффициентом корреляции $r = 0,90-0,95$ (таблица 4).

Таблица 4 – Корреляционная зависимость факторов формирования урожая ярового ячменя

	Урожайность	Влажность	Нлг	P ₂ O ₅	K ₂ O
Урожайность	1	0,56	0,65	0,90	0,95
Влажность	0,56	1	0,05	0,75	0,52
Нлг	0,65	0,05	1	0,59	0,46
P ₂ O ₅	0,90	0,75	0,59	1	0,75
K ₂ O	0,95	0,52	0,46	0,75	1

Влияние влажности почвы и содержания легкогидролизуемого азота на урожайность зерна – заметное, $r = 0,56$ и $0,65$ соответственно. Установлена прямая высокая зависимость влажности почвы и содержания подвижного фосфора $r = 0,75$ по сравнению с обменным калием $r = 0,52$. Сравнительный анализ агроклиматических показателей за

2015-2025 годы показал тенденцию повышения среднемесячной температуры воздуха в период вегетации ярового ячменя (апрель-май). Наибольший рост температуры наблюдался в апреле $+5,4^{\circ}\text{C}$ (таблица 5), когда для появления всходов и кущения создаются благоприятные условия.

Таблица 5 – Сравнительный анализ агроклиматических показателей

Показатель	2015-2024 гг.	2025 г.	Тенденция	
Среднемесячная температура апреля, $^{\circ}\text{C}$	8,0	13,4	+5,4	Повышение
Среднемесячная температура мая, $^{\circ}\text{C}$	14,7	17,2	+2,5	Повышение
Среднемесячная температура июня, $^{\circ}\text{C}$	21,5	22,6	+1,1	Повышение
Осадки в апреле, мм	27,7	19,8	-7,9	Снижение
Осадки в мае, мм	39,0	28,0	-11,0	Снижение
Осадки в июне, мм	19,0	10,0	-9,0	Снижение
Гидротермический коэффициент, апрель	1,7	0,86	-0,84	Снижение
Гидротермический коэффициент, май	0,8	0,50	-0,30	Снижение
Гидротермический коэффициент, июнь	0,4	0,15	-0,25	Снижение

За последние 10 лет наблюдается снижение атмосферных осадков на 7,9-11,0 мм в апреле-мае, что свидетельствует о постепенном изменении климата. Даже небольшое уменьшение осадков весной критично для культуры, так как именно в апреле-мае идет активное кущение и выход в трубку, формирование урожая. Влага в почве быстро испаряется особенно на легких почвах.

Наблюдается также резкое снижение гидротермического коэффициента. Если в апреле 2015 г. ГТК был 1,7 - увлажненный период вегетации, за 10 лет он снизился до 0,84 – засушливый. В мае месяце ГТК снизился от 0,4 до 0,15.

ВЫВОДЫ

1. Сравнительный анализ агроклиматических данных за 2015-2025 гг. показал тенденцию повышения среднемесячной температуры и снижения атмосферных осадков в период вегетации ярового ячменя. Повышение темпера-

туры и снижение количества осадков ведут к снижению урожайности культур.

2. Предпосевная обработка почвы жидкими гуминовыми и органоминеральными удобрениями повышает биологическую активность почвы, поддерживает ее влажность и доступность элементов питания растений.

3. Эффективность гуминовых и органоминеральных удобрений снижается из-за засушливого климата в фазу налива зерна. Минимальная прибавка урожая зерна ярового ячменя от 1,51 ц/га при урожае на контроле без удобрений - 3,19 ц/га.

4. Установлена высокая корреляционная зависимость между урожайностью и количеством подвижного фосфора и обменного калия в почве ($r=0,90-0,95$). Корреляция между влажностью почвы и подвижностью подвижного фосфора ($r=0,75$) выше по сравнению с обменным калием ($r=0,52$).

БЛАГОДАРНОСТЬ

Выражаем благодарность генеральному директору ТОО «Кызылшоқы» Бекиеву А.Б. за активное участие в организации полевых исследований, предоставление материально-технической базы и заинтересованность в научных результатах.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Данная статья опубликована в рамках программно-целевого финансирования научных исследований Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан на 2024-2026 годы по программе ИРН BR22885097 «Обеспечение рационального использования земель сельскохозяйственного назначения в интенсивном земледелии на основе новых подходов в сохранении и воспроизводстве плодородия почв».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Посыпанов Г. Растениеводство. Практикум: учеб. пособие. - 2015. - 255 с.
2. Бюро национальной статистики. Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-forrest-village-hunt-fish/>.
3. Котиков М.В., Мельникова О.В., Мажидо Т.М. Действие Гумистима на урожайность зерновых культур и картофеля // Агрономический вестник. - 2009. - № 3. - С. 36-38.
4. Гармаш Н.Ю., Гармаш Г.А. Методические подходы к оценке качества гуминовых препаратов // Агрономический вестник. - 2012. - № 4. - С. 17-19.
5. Орлов Д.С. Гуминовые вещества в биосфере. М.: Наука. 1997. - 237 с.
6. Лазарев В.И., Минченко Ж.Н. Рекомендации по применению гуминовых удобрений на посевах ярового ячменя: брошюра. - Курск: Курский федеральный аграрный научный центр, 2023. - 39 с.
7. Пачикин К.М., Ерохина О.Г., Адамин Г.К., Ершибулов А.К., Сонгулов Е.Е. Почвы предгорных равнин хребта Малай-Сары и их деградация // Почвоведение и агрохимия. - 2018. - № 4. - С. 5-21.
8. Яровой ячмень сорт «Байшешек», оригинатор ТОО «Красноводопадская сельскохозяйственная опытная станция» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://baibolsyn.kz/ru/semena/yachmen-sort-baisheshek/>, свободный.
9. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ, 1970. - 489 с.
10. МГС ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. - Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293758/4293758554.htm>.
11. Green V.S., Stott D.E., Diak M. Assay for fluorescein diacetate hydrolytic activity: optimization for soil samples // Soil biology and biochemistry. - 2006. - Vol.38. - P. 693-701.
12. Константинов Н.С. Совершенствование учета агроклиматических условий при оценке сельскохозяйственных земель // Проблемы экономики, 2011. - №1(12). - С. 45-54. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-ucheta-agroklimaticheskikh-usloviy-pri-otsenke-selskohozyaystvennyh-zemel>.

13. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Агропромиздат, – 1985. – 351 с.
14. Митрофанов Д.В., Ткачева Т.А. Воздействие агрометеорологических условий, минеральных удобрений, предшественников и влажности почвы на урожайность зерна ярового ячменя в степной зоне южного Урала // Известия НВАУК. - 2021. - №4 (64). – С. 84-97.
15. Надпорожская М.А., Федорос Е.А., Трубицына Е.А., Абакумов Е.В. Действие гумусовых препаратов, полученных из активных илов сточных вод, на растения и почву // Biological Communications. 2012. - № 3. - С. 114-125.

REFERENCES

1. Posypanov G. Rasteniyevodstvo. Praktikum. Uchebnoye posobie, 2015. - 255 s.
2. Byuro nacional'noj statistiki. Agentstva po strategicheskomu planirovaniyu i reformam respubliki Kazaxstan [Elektronnyj resurs]. - Rezhim dostupa: <https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-forrest-village-hunt-fish/>.
3. Kotikov M.V., Mel'nikova O.V., Mazhido T.M. Dejstvie Gumistima na urozhajnost' zernovy`x kul'tur i kartofelya // Agronomicheskij vestnik. - 2009. - № 3. – С. 36-38.
4. Garmash N.Yu., Garmash G.A. Metodicheskie podxody` k ocenke kachestva guminovy`x preparatov // Agronomicheskij vestnik. – 2012. – № 4. – С. 17–19.
5. Orlov D.S. Guminovy`e veshhestva v biosfere. Moskva: Nauka, 1997. - 237 s.
6. Lazarev V.I., Minchenko Zh.N. Rekomendacii po primeneniyu guminovyh udobrenij na posevah yarovogo yachmenya. Kursk: Kurskij federal'nyj agrarnyj nauchnyj centr. - 2023. – 39 s.
7. Pachikin K.M., Erohina O.G., Adamin G.K., Ershibulov A.K., Songulov E.E. Pochvy predgornyh ravnin hrebta Malaj-Sary i ih degradaciya. Pochvovedenie i agrohimiya. - 2018. - №4. – С. 5-21.
8. Yarovoj yachmen' sort «Bajsheshek», originalator TOO «Krasnovodopadskaya sel'skohozyajstvennaya opyt'naya stanciya» [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://baibolsyn.kz/ru/semena/yachmen-sort-baisheshek/svobodnyj>.
9. Arinushkina E.V. Rukovodstvo po himicheskomu analizu pochv. M: MGU, 1970. - 489 p.
10. MGS GOST 5180-2015. Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya fizicheskix harakteristik. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293758/4293758554.htm>
11. Green V.S., Stott D.E., Diak M. Assay for fluorescein diacetate hydrolytic activity: optimization for soil samples // Soil biology and biochemistry. – 2006. – Vol.38. – P. 693-701.
12. Konstantinov N.S. Sovershenstvovanie ucheta agroklimaticheskix uslovij pri ocenke sel'skohozyajstvenny`x zemel` // Problemy` e`konomiki, 2011. - №1(12).- S. 45-54. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-ucheta-agroklimaticheskix-uslovij-pri-otsenke-selskohozyajstvennyh-zemel>.
13. Dospexov B.A. Metodika polevogo opy`ta. – М.: Агропромиздат, – 1985. – 351 с.
14. Mitrofanov D.V., Tkacheva T.A. Vozdejstvie agrometeorologicheskix uslovij, mineral'ny`x udobrenij, predshestvennikov i vlazhnosti pochvy` na urozhajnost` zerna yarovogo yachmenya v stepnoj zone yuzhnogo Urala // Izvestiya NVAUK. 2021. - № 4 (64). - S. 84-97.
15. Nadporozhskaya M.A., Fedoros E.A., Trubicyna E.A., Abakumov E.V. Dejstvie gumusovy`x preparatov, poluchenny`x iz aktivny`x ilov stochny`x vod, na rasteniya i pochvu // Biological Communications. - 2012. - № 3. - S. 114-125.

ТҮЙІН

Б.У. Сулейменов^{1*}, С.И. Танирбергенов^{1*}, А.Т. Макашева¹, М.Р. Тулегенова¹
АГРОКЛИМАТТЫҚ ФАКТОРЛАРДЫҢ ГУМИН, ОРГАНО-МИНЕРАЛДЫ
ТЫҢАЙТҚЫШТАРДЫҢ ТИІМДІЛІГІНЕ ЖӘНЕ ЖАЗДЫҚ АРПАНЫҢ ӨНІМДІЛІГІНЕ
ӘСЕРІ

¹*Ө.О. Оспанов атындағы Қазақ топырақтану және агрохимия ғылыми-зерттеу институты, 050060, Алматы, Байрақ көшесі, 10, Қазақстан,*

**e-mail: beibuts@mail.ru, tanir_sem@mail.ru*

Жаздық арпа – жоғары икемділігімен, тез пісетіндігімен және шаруашылықта кеңінен қолданылуымен ерекшеленетін стратегиялық маңызы бар дәнді дақылдардың бірі. Қазақстанда жаздық арпаның егіс алқабы 2 млн гектардан асады. Тәлімі жер жағдайында жаздық арпаның өсуі мен дамуына гуминді тыңайтқыштардың әсерін іріктеу және зерттеу өзекті ғылыми міндет болып табылады. Біздің далалық және зертханалық зерттеулеріміздің нәтижелері бойынша, гуминді тыңайтқыштарды қолдану гумуспен және жылжымалы макроэлементтермен төмен қамтамасыз етілген ашық сұр топырақтарында жаздық арпаның өсуі мен дамуына оң әсер етеді. Гуматтар топырақ микробитасын белсендіреді, топырақ ылғалын тұрақтандырады және қоректік заттардың сіңірілуін арттырады. Алайда масақтану – дәннің толысу кезеңінде орташа тәуліктік температура-ның күрт жоғарылауы және топырақ ылғалдылығының төмендеуі салдарынан құрғақшылық жағдайында гуминді тыңайтқыштардың тиімділігі азаяды. Гуминді тыңайтқыштар қысқа вегетациялық кезеңі (75–80 күн) бар құрғақшылыққа төзімді жаздық арпа сорттарын өсіру, гуматтармен жапырақ арқылы үстеп қоректендіру және ұзақ мерзімді агрометеорологиялық болжамды ескере отырып бейімделген агротехниканы қолдану жағдайында өз тиімділігін сақтай алады.

Түйінді сөздер: ашық сұр топырақтар, жаздық арпа, өнімділік, гуминді тыңайтқыштар, тәлімі егіншілік, топырақ ылғалдылығы.

SUMMARY

B.U. Suleimenov^{1*}, S.I. Tanirbergenov^{1*}, A.T. Makasheva¹, M.R. Tulegenova¹
THE INFLUENCE OF AGRO-CLIMATIC FACTORS ON THE EFFECTIVENESS OF HUMIC,
ORGANOMINERAL FERTILIZERS AND THE YIELD OF SPRING BARLEY

¹*U.U. Uspanov Kazakh Research Institute of Soil Science and Agrochemistry,
050060, Almaty, Bayraq St., 10, Kazakhstan,*

**e-mail: beibuts@mail.ru, tanir_sem@mail.ru*

Spring barley is one of the strategically important grain crops, characterized by high plasticity, early ripening and a wide range of economic applications. The area of spring barley cultivation in Kazakhstan is more than 2 million hectares. The selection and study of the effect of humic fertilizers on the growth and development of spring barley in Bogara conditions is an urgent research task. According to our field and laboratory studies, the use of humic fertilizers has a beneficial effect on the growth and development of spring barley in light gray soils with low availability of humus and mobile macronutrients. Humates activate the microbiota, stabilize soil moisture and increase nutrient absorption. In conditions of drought during the earing and grain filling period, due to a sharp increase in the average daily temperature and a decrease in soil moisture, the effectiveness of humic fertilizers decreases. Humic fertilizers can remain effective under the condition of growing drought-resistant varieties of spring barley with a short growing season (75-80 days) in combination with leaf fertilizers with humates and adapted agricultural techniques, taking into account the long-term agrometeorological forecast.

Keywords: light gray soils, spring barley, yield, humic fertilizers, rain-fed agriculture, soil moisture.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

1. Сулейменов Бейбут Уалиханович – главный научный сотрудник отдела агрохимии, доктор сельскохозяйственных наук, <https://orcid.org/0000-0003-0507-8053>, e-mail: beibuts@mail.ru

2. Танирбергенов Самат Исембаевич – заместитель Председателя Правления, PhD, ассоциированный профессор, <https://orcid.org/0000-0002-6403-0984>, e-mail: tanir_sem@mail.ru

3. Макашева Акклима Талгатовна - инженер-агрохимик отдела агрохимии, магистр, докторант, <https://orcid.org/0009-0009-4571-5767>, e-mail: aklimusha_m@mail.ru

4. Тулегенова Меруерт Рысбековна – инженер-агрохимик отдела агрохимии, <https://orcid.org/0000-0002-4483-2867>, e-mail: meruert.vip@mail.ru

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

MFTA 87.21.09

DOI: 10.51886/1999-740X_2026_1_86

А. Қазез¹, К. Бексейтова¹, Ұ. Жантیکеев^{1*}, М. Тоқтар¹, С. Азат¹ТОПЫРАҚТЫ РЕМЕДИАЦИЯЛАУДАҒЫ БИОКӨМІРДІҢ МЕХАНИЗМДЕРІ,
ТИІМДІЛІГІ ЖӘНЕ ҚОРШАҒАН ОРТАҒА ӘСЕРІ¹Satbayev University, 050013, Алматы, Сәтбаев көшесі, 22а, Қазақстан,

*e-mail: nurlybekov.ulan@gmail.com

Аңдатпа. Ауыр металдардың, пестицидтердің және органикалық ластаушы заттардың жинақталуына байланысты топырақтың ластануы бүкіл әлемді алаңдатып отыр. Бұл шолу мақалада биокөмірдің ауыр металдарды иммобилизациялаудағы, пестицидтердің уыттылығын төмендетудегі, топырақ құнарлығын және микроорганизмдердің белсенділігін арттырудағы рөліне назар аударып отырып, топырақты қалпына келтірудің тиімді әдісі ретінде биокөмірді зерттейді. Биокөмірдің жоғары бетінің ауданы мен кеуекті құрылымы оны ластаушы заттардың белсенділігін төмендетуде және топырақ сапасын жақсартуда өте тиімді биоматериал болып табылады. Шолу сонымен қатар тұрақты ауылшаруашылық тәжірибесіне биокөмірді топыраққа енгізу мөлшеріне, тереңдігіне, топырақ механикалық құамы бойынша ауылшаруашылық дақылдарының өнімділігіне және экожүйені жақсартуға ықпал ететін көміртекті секвестрлеудегі және климаттың өзгеруін азайтудағы биокөмірдің маңызды рөлін қарастырған. Сонымен бірге, биокөмір топырақтың микробиологиялық белсенділігін арттыратынын, топырақтағы қоректік заттардың айналымы мен органикалық заттардың ыдырауын реттеп, топырақ құрылымын жақсартады, су ұстау және катион алмасу қабілетін арттырады, топырақты құнарлылығын сақтайды және эрозияға бейімділігін азайтады. Сондықтан тұрақты ауыл шаруашылығы мен қоршаған ортаны басқарудағы биокөмірдің әлеуеті айқын, көптеген зерттеулер оның топырақ сапасын жақсартудағы және топырақтың ластануының әсерін азайтудағы маңызды рөлін айқындайды.

Түйінді сөздер: биокөмір, қоршаған орта, топырақ, ауыр металл, климаттық өзгерістер, биоремедиация.

КІРІСПЕ

Өнеркәсіптік қалдықтармен топырақтың ластануы ауыл шаруашылығы өнімділігіне, азық-түлік қауіпсіздігіне және биоәртүрлілікке тікелей әсер ететін ең маңызды жаһандық экологиялық проблемалардың бірі болып табылады. Көптеген жылдар бойы өнеркәсіптік қызмет, химиялық тыңайтқыштарды шамадан тыс пайдалану және қоршаған ортаға зиянды әртүрлі қалдықтардың дұрыс өңделмеуі топырақта ластаушы заттардың жиналуына әкелді.

Ластаушы заттар топырақ құнарлылығын нашарлатып қана қоймай, адам денсаулығы мен қоршаған ортаға үлкен қауіп төндіреді [1]. Осы мәліметтер бойынша топырақтың ластануы ауыл шаруашылығы өнімділігінің төмендеуіне ықпал ететіндігі, дүниежүзі-

лік топырақтың 30%-дан астамында ластану салдарынан деграциялық белгілері байқалуда.

Топырақтың қорғасын (Pb), кадмий (Cd) және мышьяк (As) сияқты ауыр металдармен ластануы өсімдіктерде уыттылыққа әкеліп қана қоймайды, сонымен қатар бұл металдардың қоректік тізбекте жиналуына әкеліп соқтырады, бұл адам денсаулығына айтарлықтай қауіп төндіреді [2]. Ауыр металдар биологиялық ыдырамайтын ерекшелігіне байланысты топырақта ұзақ уақыт сақталады, соның нәтижесінде топырақ құнарлылығының төмендеуіне алып келеді, бұл бүкіл әлем бойынша ауыл шаруашылығы дақылдарының өнімділігіне кері әсерін тигізеді [3].

Ауыр металдардан басқа, синтетикалық пестицидтерді қолдану да топы-

рақтың деградациясына ықпал етеді. Пестицидтер зиянкестермен күресуде тиімді болғанымен, топырақтың микробиологиялық қауымдастықтарын бұзады, биологиялық әртүрлілікті азайтады және су көздерін ластайды [4]. Нәтижесінде топырақтың экологиялық стресс-терге төзімділігі төмендейді, бұл экожүйенің және ауыл шаруашылығының тұрақтылығы үшін ұзақ мерзімдік проблемаларды туындатады.

Топырақтың ластануы үрдістері ұлғайған сайын оны қалпына келтіру стратегияларының қажеттілігі өзекті мәселелерге айналып отыр. Осы мәселеге байланысты биокөмір технологиясының соңғы жетістіктері топырақтың ластануын азайту үшін перспективалы шешімдердің бірі болып табылады. Әсіресе оның ауыр металдарды иммобилизациялау, пестицидтердің уыттылығын азайту және топырақтың құнарлылығын қалпына келтіру қабілеті жоғары. Органикалық материалдардың пиролизі арқылы өндірілетін биокөмір топырақ құнарлығын арттыру, микробиологиялық белсенділікті арттыру және зиянды ластаушы заттардың белсенділігін төмендету үшін тиімді құрал ретінде қолданылып келеді [5].

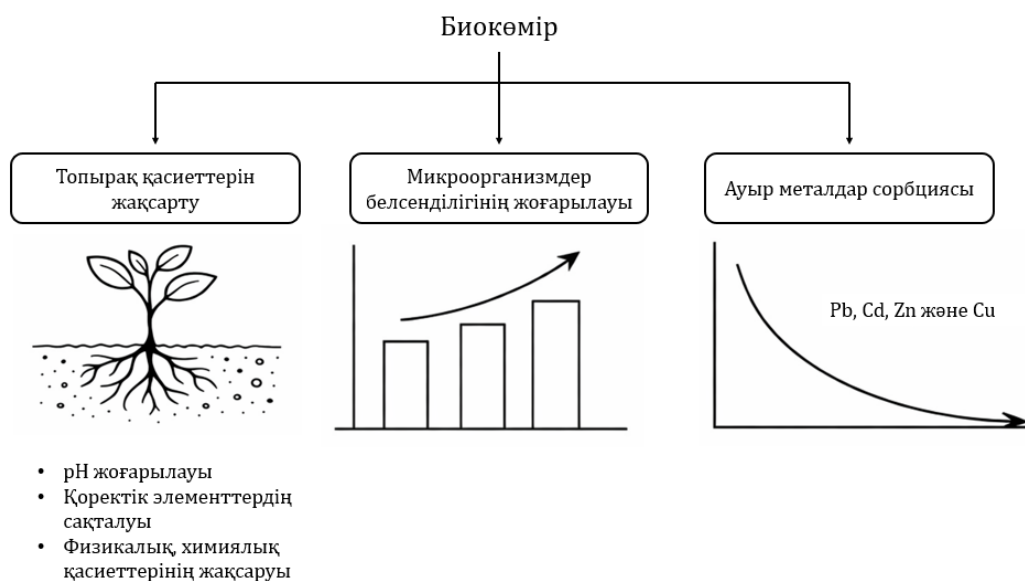
НЕГІЗГІ БӨЛІМ

Биокөмір және топырақты қалпына келтіру. Қорғасын (Pb), кадмий (Cd), мышьяк (As) және сынап (Hg) сияқты ауыр металдар ауылшаруашылық топырақтарын ластаушы заттардың бірі болып табылады [6]. Топырақтағы Pb және Cd деңгейінің жоғарылауы топырақтың микробиологиялық әртүрлілігін және егін өнімділігін төмендетеді, сонымен бірге ұзақ мерзімді экологиялық зиян келтіреді [7] ауыр металдар топырақта ұзақ уақыт бойы сақталады, бұл топырақты дәстүрлі әдістермен қалпына келтіру ұзақ мерзімді алады және тиімділігі төмен болып табылады [8]. Олардың сақталуы қоршаған ортаға, әсіресе ауылшаруашылық аймақтарға үлкен қауіп төндіреді. Шын мәнінде,

соңғы зерттеулер мышьяк және кадмий сияқты ауыр металдар топырақтың сапасын нашарлатып қана қоймайды, сонымен қатар жер асты суларының және қоршаған экожүйелердің ластануына, олардың экологиялық және адам денсаулығына қауіп-қатерінің күшейіп келе жатқаны байқалады [9].

Осы өсіп келе жатқан мәселеге жауап ретінде биокөмір топырақты қалпына келтірудің тиімді құралы ретінде маңыздылыққа ие болып келеді. Ауылшаруашылық қалдықтары сияқты органикалық материалдардың пиролизінен алынған көміртегіге бай өнім биокөмір топырақтың физикалық, химиялық және биологиялық қасиеттерін жақсарту арқылы топырақтың құнарлылығын жақсарты алады (сурет 1). Биокөмірдің ластаушы заттарды иммобилизациялау, қоректік заттардың сақталуын арттыру және микробиологиялық белсенділікті арттыру қабілеті оны топырақтың ластануымен күресудің оңтайлы шешімі болып табылады [10]. Ол әсіресе ауыр металдармен және органикалық ластаушы заттармен ластанған топырақтарда тиімді, онда ол ластаушы заттарды ұстай алады және олардың белсенділігін төмендетеді, осылайша олардың өсімдіктер мен жануарларға түсуіне жол бермейді [11, 12].

Ластанған топырақтағы ауыр металдарды иммобилизациялаудағы биокөмірдің маңыздылығы жоғары [13]. Биокөмірдің кеуекті құрылымы мен жоғары бетінің ауданы өте жоғары адсорбциялық қабілетке ие, бұл ион алмасу және электростатикалық әрекеттесу арқылы металл иондарын адсорбциялауға мүмкіндік береді [12]. Биокөмірдің Pb, Cd және Cu сияқты металдардың, әсіресе қалалық және ауылшаруашылық топырақтарында белсенділігін тиімді төмендетіп, топырақ құрылымын жақсартатыны, су ұстау және катион алмасу қабілетін (ЦЭҚ) арттырып, топырақтың эрозияға бейімділігін төмендетеді [7].



Сурет 1 - Топырақты ремедиациялаудағы биокөмірдің механизмдері [10]

Ластанған топыраққа биокөмірді енгізгеннен кейін микробиологиялық қауымдастықтың биомассасын жоғарылататыны, пайдалы микроорганизмдердің өсуіне ықпал ететіні және органикалық заттардың ыдырауын күшейтетіні анықталды [14]. Микроорганизмдер үшін тіршілік ету ортасы ретінде қызмет ете отырып, биокөмір қоректік заттардың айналымын жақсартуға көмектеседі және топырақ сапасын жақсартады, бұл әсіресе ауыр металдар сияқты ластаушы заттардың әсерінен бүлінген топырақтар үшін маңызды болып табылады [15, 16].

Топырақ құрылымын жақсарту және су ұстау қабілетін арттыру арқылы биокөмір топырақтың құрғақ климаттық ортаға төзімділігін артыруға көмектеседі және эрозия қаупін азайтады [5, 17].

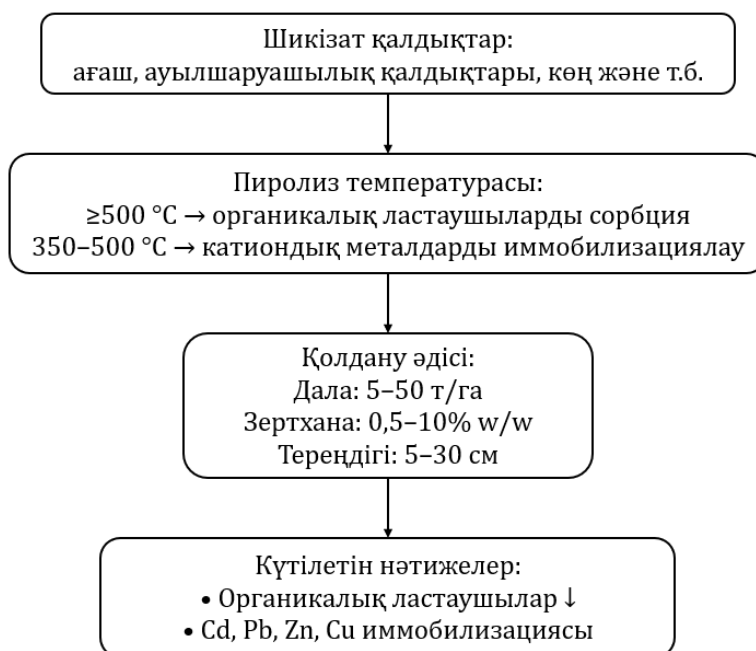
Қорытындылай келе, биокөмір топырақтың ластану мәселесіне жанжақты және тұрақты шешім ұсынады. Оның ауыр металдарды иммобилизациялау, топырақ құнарлығын арттыру және микробтардың белсенділігін жақсарту қабілеті оны топырақты қалпына келтірудің тиімді құралы етеді. Топы-

рақтың ластануы және оның азық-түлік қауіпсіздігіне әсері туралы өсіп келе жатқан жаһандық алаңдаушылық жағдайында биокөмір топырақтың ластануын азайту және тұрақты ауылшаруашылық тәжірибелерін ілгерілету үшін перспективалы әдісті ұсынады.

Топырақты тазартудағы биокөмірдің әдістемелік механизмдері. Биокөмірдің әртүрлі пиролиз жағдайлары мен шикізаттар арқылы модификацияланатындықтан оның ластаушы заттарды сіңіру тиімділігін арттырып, оның қоршаған ортаны басқарудағы рөлін арттырантыны анықталды [7]. Пиролиз температурасын реттеу және биокөмір материалдарының құрамын өзгерту арқылы биокөмірдің бетінің ауданы, кеуектілігі және функционалдық топтары оның әртүрлі ластаушы заттарға, соның ішінде ауыр металдар мен органикалық ластаушыларға адсорбциялық қабілетін арттыруға бейімделуі мүмкін. Мысалы, жоғары температурада өндірілген биокөмірдің әдетте бетінің үлкен ауданы және құрамында оттегі бар функционалды топтары көбірек болады, бұл оның ластаушы заттарды сіңіру қабілетін жақсартады [5].

Топырақты тазарту үшін биокөмірдің тиімділігіне шикізат түрі, пиролиз температурасы, қолдану әдісі қатты әсер етеді (Пиролиздің жоғары температурасында (≥ 500 °C) өндірілген әртүрлі органикалық заттардың биомассасынан алынған биокөміртектер және бетінің ауданын көрсеткіштерінің жоғарылығы топырақтағы ауыр металдарды және органикалық ластауыштарды сіңіруіне оң әсерін тигізеді. Керісінше, төмен және орташа диапазондағы температурада (350-500°C) өндірілетін биокөмірлер құрамында оттегі бар функционалдық топтардың жоғары

мөлшерін сақтайды, осылайша олардың ион алмасу және комплекстеу арқылы катиондық металдарды иммобилизациялау қабілетін арттырады. Далалық масштабта топырақты қалпына келтіру кезінде биокөмірді әдетте ластанудың деңгейіне байланысты 5-50 т/га мөлшерінде қолданады (сурет 2). Зертханалық немесе жылыжай тәжірибелерінде 0,5-10% мөлшерлемелері жиі кездеседі. Топыраққа енгізу тереңдігі өсімдіктердің тамырлану тереңдігіне және ластаушы заттардың таралу профиліне сәйкес 5-30 см (сурет 2) аралығында қолдану тиімді болады [7, 10, 12, 13, 18].



Сурет 2 - Биокөмірді қолданудың әдістемелік сызбасы [10, 12, 13]

Биокөмір Pb, Cd, Zn және Cu сияқты ауыр металдарды адсорбциялай алады, олардың биожетімділігін төмендетеді және олардың өсімдіктерге түсуіне жол бермейді [10]. Бұл әсер, ең алдымен, биокөмірдің жоғары бетінің ауданы мен кеуекті құрылымымен байланысты, бұл ион алмасу және электростатикалық әрекеттесу арқылы металл иондарын адсорбциялауға мүмкіндік береді [12]. Биокөмірдің кеуекті құры-

лымы металл иондарының ұсталуы және қозғалмауы үшін үлкен беттік аудандары тиімді әсер етеді. Бұл олардың топырақ ішінде қозғалуына кедергі келтіреді және өсімдіктердің ластану қаупін азайтады. Ал адсорбция биокөмір бетінде металл иондарына күшті жақындығы бар карбоксил, гидроксил және фенол топтары сияқты функционалды топтардың болуымен одан әрі белсенділігін арттырады [17].

Биокөмірдің топырақтың катион алмасу қабілетін жақсартудағы рөлін және оның улы металдардың қозғалғыштығын төмендете отырып, маңызды қоректік заттарды сақтау қабілетін ерекше атап өтуге болады. СЕС (сіңіру негіздері) арттыру арқылы биокөмір топырақтың құнарлылығын жақсарталады, бұл ауыр металдардың уытты әсерін азайта отырып, оны өсімдіктердің өсуіне қолайлы етеді [11]. Сонымен қатар, биокөмір металдардың жер асты суларына қарай шайылуын азайтады, бұл жер асты суларының ластануына бейім ауылшаруашылық аймақтарында өте маңыздылық пен қажеттілікке ие [20, 21].

Органикалық ластаушы заттардың биокөмір арқылы адсорбциясы ластаушы заттардың химиялық құрылымы мен биокөмір қасиеттеріне байланысты вандер-Ваальс күштері, гидрофобты әрекеттесу және п-п әрекеттесу сияқты механизмдер арқылы жүреді [22, 23].

Топырақтың рН деңгейіне биокөмірдің әсері топырақты тазартудың тағы бір маңызды механизмі болып табылады. Биокөмірді топыраққа енгізгеннен кейін топырақтың рН деңгейін, әсіресе қышқыл топырақтарда жоғарылатуы мүмкін, өсімдіктердің өсуі үшін қолайлы орта жасайды және белгілі бір қоректік заттардың қолжетімділігін арттырады. Бұл рН реттеуі мен өсімдіктерге зиянды алюминий (Al) сияқты улы металдардың ерігіштігін төмендетеді және олардың биожетімділігін одан әрі төмендетеді. Сонымен қатар топырақты жақсарту үшін биокөмірді компост немесе көң сияқты топыраққа қажетті басқада органикалық заттармен біріктірудің синергетикалық әсерін атап өтуге болады. Бұл комбинация топырақтың құрылымдық қасиеттерін жақсарталады, топырақтың микробиологиялық әртүрлілігін арттырады және ластаушы заттардың белсенділігін одан әрі төмендетеді, топырақты тазар-

туға неғұрлым тұрақты және тиімді тәсіл болып табылады [24].

Қорытындылай келе, биокөмірдің топырақты тазарту механизмдері көп қырлы, ауыр металдар мен органикалық ластаушы заттардың адсорбциясын, топырақ құнарлығын арттыруды, микроорганизмдердің белсенділігін жақсартуды және ластаушы заттардың бесенділігін төмендетуді қамтиды (сурет 1). Осы механизмдерді оңтайландыру арқылы биокөмір топырақты қалпына келтіруде маңызды рөл атқара алады, бұл оны топырақтың ластануын шешуге және тұрақты ауылшаруашылық тәжірибелерін алға жылжытуға арналған қуатты құралға айналдырады.

Биокөмір арқылы климаттың өзгеруін жақсарту және ауылшаруашылық дақылдарының өнімділігіне, ауыр металдарға әсерін талдау. Микроорганизмдердің әртүрлілігін арттыру арқылы биокөмір қоректік заттардың тиімді айналымына және топырақты сақтау үшін маңызды органикалық заттардың ыдырауына ықпал етеді [25]. Биокөмір топырақтағы микроорганизмдердің белсенділігінің жоғарылауы нәтижесінде қоректік заттарды қайта өңдеу үшін өте маңызды, бұл топырақтың құнарлылығының сақталуына мүмкіндік береді және синтетикалық тыңайтқыштарға қажеттілікті азайтады. Бұл тыңайтқыштарды өндіруге және пайдалануға байланысты парниктік газдар шығарындыларын азайтуға айтарлықтай әсер етеді. Биокөмірдің қоректік заттардың айналымын жақсарту қабілеті оны тұрақты ауылшаруашылық тәжірибелері үшін маңызды құрал етеді, әсіресе ластаушы заттардың әсерінен бүлінген топырақтар үшін тиімділігі жоғары болып табылады.

Биокөмір сонымен қатар топырақтың органикалық заттарымен әрекеттеседі және көміртектің секвестрленуіне ықпал етеді, климаттың өзгеруін жеңілдету үшін тиімді шешімдер ұсынады [15] биокөмірдің топырақтағы

тұрақтылығы оның көміртекті жүздеген мыңдаған жылдар бойы сақтауға мүмкіндік береді, бұл атмосферадағы CO₂ деңгейін төмендету үшін ұзақ мерзімді шешімді қамтамасыз етеді. Бұл тұрақтылық биокөмірдің басқа органикалық заттарға қарағанда микробиологиялық ыдырауына төзімділігін қамтамасыз ететін бірегей құрылымынан туындайды. Нәтижесінде, ол көміртекті секвестрлеуге айтарлықтай үлес қосатын және климаттың өзгеруін азайтуға көмектесетін ұзақ мерзімді көміртекті сіңіргіш ретінде қызмет етеді [17].

Көміртекті секвестрлеудегі биокөмірдің рөлі климаттың өзгеруін азайтудың негізгі стратегиясы ретінде көбірек танылуда, өйткені ол парниктік газдар шығарындыларына ықпал ететін көміртекті ұстауға көмектеседі [17]. Биокөмір топырақта көміртекті сақтап қана қоймайды, сонымен қатар топырақтан метан (CH₄) және азот оксиді (N₂O) сияқты басқа парниктік газдардың бөлінуіне жол бермейді. Бұл әсіресе химиялық тыңайтқыштарды пайдалану және органикалық заттардың ыдырауы парниктік газдардың айтарлықтай шығарындыларына әкелуі мүмкін, сондықтан бұл ауыл шаруашылығы жүйелерінде өзектілікке ие [14]. Биокөмірдің топыраққа енгізілгеннен кейін N₂O шығарындыларын айтарлықтай төмендетеді алады, бұл оның климаттың өзгеруін азайтудағы рөлін одан әрі арттырады [26].

Биокөмір топырақтың суды ұстау қабілетін жақсарту және топырақтан қоректік заттардың жоғалуын, шайылуын азайту арқылы климаттың өзгеруіне төзімділігін арттыра алатынын көрсетеді, бұл оны тұрақты ауыл шаруашылығының негізгі құралына айналдырады [5]. Топырақ құрылымын жақсарту арқылы биокөмір ылғалды сақтауға көмектеседі, бұл әсіресе құрғақшылыққа бейім аймақтарда пайдалы. Биокөмірдің ылғал сақтау қабілеті ауылшаруашылық дақылдарының күйзеліске

төзімділігін арттырады, сондықтан биокөмір климаттың өзгеруінен туындаған құрғақшылықтан зардап шеккен аймақтарда жоғары қажеттілікке ие [11].

Биокөмір қарқынды егіншілік жағдайындағы топырақтың деградациясына және синтетикалық тыңайтқыштардың шамадан тыс пайдаланылуына әкелген аймақтарда өте маңызды [27]. Биокөмірдің топырақтың рН деңгейін жақсарту, катион алмасу қабілетін арттыру және микробиологиялық белсенділікті жоғарлату қабілеті оның топырақтың тұрақтылығы мен төзімділігін арттырады [10].

Биокөмірдің агроорман шаруашылығы тәжірибелік жағдайында да оң нәтиже бергендігі [27] онда ол топырақ құнарлығын жақсартады және орман ағаштарының өнімділігіне жақсы әсер ететіндігін атап өткен. Бұл қос мақсатты тәсіл ауыл шаруашылығы өнімділігін арттырып қана қоймайды, сонымен қатар ормандарды қалпына келтіру жұмыстарына үлес қосады және топырақта да, өсімдіктерде де көміртегінің сақталуын арттырады.

Қорытындылай келе, биокөмір көміртекті сіңіру, топырақ құнарлығын арттыру және климаттық стресстерге топырақтың төзімділігін арттыру қабілетіне байланысты климаттың өзгеруін жеңілдетудің тиімді құралы болып табылады. Оның парниктік газдар шығарындыларын азайтудағы, суды сақтауды жақсартудағы және тұрақты ауылшаруашылық тәжірибесін дамытудағы рөлі оны климаттың өзгеруін азайту стратегияларының маңызды құрамдас бөлігі етеді. Биокөмір бір мезгілде тұрақты ауыл шаруашылығы мен топырақ құнарлығын сақтай отырып, климаттың өзгеруінің ең өзекті мәселелерін шешуге мүмкіндік береді.

1-кестеде биокөмірдің топыраққа енгізу тереңдігі және әртүрлі дақылдар мен топырақтың механикалық түрлері бойынша дақыл өнімділігінің артуы арасындағы байланыс берілген. Кесте-

дегі негізгі нәтижелер биокөмірді қолдану ауылшаруашылық өнімділігі биокөмірдің енгізу тереңдігі тереңдеген сайын артады. 5 см тереңдікте [11] биокөмірді құмдақ топырақта қолдану бидай өнімділігін 10%-ға артуына әкелді. Ылғал ұстау және аэрация үшін жақсы

құрылымы бар құм-балшықты топырақтар биокөмірдің қоректік заттардың сақталуын және микробиологиялық белсенділігін жақсарту қабілетінің нәтижесінде дақылдардың өнімділігін арттырады [15].

Кесте 1 - Топыраққа биокөмірді енгізу тереңдігімен ауыл шаруашылығы дақылдарының өнімділігі

Биокөмірді топыраққа енгізу тереңдігі (см)	Ауылшаруашылық өнімділігінің артуы (%)	Ауылшаруашылық дақылдарының түрі	Топырақтың механикалық құрамы бойынша түрі	Зерттеуші авторлар
5	10	Бидай	Құмдақ	[11]
10	15	Жүгері	Құм-балшықты	[10]
15	20	Күріш	Балшықты	[16]
20	25	Ас бұршақ	Құм-балшықты	[13]
25	30	Арпа	Құмдақ	[27]

Биокөмірді 15 см тереңдікте енгізу күріш өнімділігінің 20%-ға артуына әкелді. Қоректік заттарды ұстау қабілетімен балшықты топырақтар биокөмірдің топырақтың кеуектілігін, ылғал ұстау және тамырдың таралуын жақсартуға көмектеседі. Биокөмір құрылымы мен балшықты топырақтың механикалық қасиетінің үйлесуі тамыр ортасының жақсаруына және қоректік заттардың сіңуінің жоғарылауына әсер етеді. 20 см тереңдікте [13] ас бұршақ өнімділігі құм-балшықты топырақта 25%-ға артқан. Бұл биокөмірдің топыраққа енгізу тереңдігі мен өнімділіктің жоғарылауы арасындағы күшті корреляцияны көрсетеді. Биокөмірді топыраққа енгізі тереңдігі артқан сайын топырақ құрылымы мен қоректік заттардың динамикасына әсер ету үрдісі жылдамдайды. 25 см [31] тереңдікке енгізілген биокөмір құмдақ топырақта арпа өнімділігінің 30%-ға артуына әкелді. Бұл тереңдікте өнімділіктің айтарлықтай артуы биокөмірдің әсері топырақ қабатына тереңірек енгізілуіне байланысты екені байқалады.

Биокөмірдің топырақтың терең қабатына енгізілуі топырақ бөлшектерімен көбірек байланысты қамтамасыз ететіндіктен, оның топырақ құрылымын, ылғал ұстау және қоректік заттардың қолжетімділігін жақсарту қабілетін жақсартады.

2-кестедегі зерттеулер негізінен қорғасын (Pb), кадмий (Cd), мыс (Cu), мырыш (Zn), мышьяк (As), никель (Ni) және хром (Cr) сияқты ауыр металдарға бағытталған.

Ағаш және ауыл шаруашылығы қалдықтары [10, 31] құрамындағы көміртегінің жоғары болуына және ластаушы заттардың адсорбциясы үшін жақсы құрылымдық қасиеттері бар биокөмір өндіру қабілетіне байланысты кең таралған шикізат болып табылады. Күріш қауызы, бамбук және қарағай [11, 13, 27] жиі пайдаланылады, өйткені олар биокөмірді бетінің үлкен аумақтары мен жоғары кеуектілігімен қамтамасыз етеді, олар металл иондарын ұстау үшін тиімді болып табылады.

Кесте 2 - Топырақтағы ауыр металдардың биокөмір арқылы адсорбциясы

Зерттеуші авторлар	Ластаушы заттар	Биокөмір түрі / материалдары	Қолдану мөлшері (т/га)	Топырақ түрі	Негізгі қорытындылар
1	2	3	4	5	6
[10]	Ауыр металдар (Pb, Cd, Cu, Zn)	Ағаш, ауыл шаруашылығы қалдықтары	10-50	Ауылшаруашылық топырақ	Pb және Cd белсенділігін айтарлықтай төмендетеді. Сонымен бірге биокөмір топырақтағы қоректік заттардың сақталуы мен құрылымын жақсартады.
[13]	Ауыр металдар (Pb, Cd, Cr)	Күріш қабығы, бамбук, ағаш	5-25	Ластанған қала топырағы	Биокөмір Pb және Cd-ды иммобилизациялайды, олардың өсімдіктерге әсерін, сіңімділігін азайтады.
[11]	Ауыр металдар (Zn, Cu, Pb)	Қарағай ағашы, күріш қабығы	5-15	Қышқылданған ауылшаруашылық топырағы	Топырақтың рН және сіңіру негіздерін жақсартады. Zn және Cu жоғары адсорбциясы мен белсенділігінің төмендеуіне әкеледі.
[15]	Органикалық ластаушы заттар (пестицидтер)	Бидай сабаны, күріш қауызы	10-30	Ластанған топырақ	Биокөмір пестицидтердің кері әсерін төмендетеді.
[28]	Ауыр металдар (Cu, Ni, Pb)	Күріш қауызы, ағынды сулар шламы	5-20	Ластанған топырақ	Биокөмір Cu және Ni мобильділігін және уыттылығын төмендетті. Топырақтағы қоректік заттардың мөлшерін арттырады.
[14]	Ауыр металдар (Pb, Zn, Cu)	Ағаш қабықтары, ауылшаруашылық қалдықтары	10-40	Қышқылданған ауылшаруашылық топырағы	Pb, Zn және Cu иммобилизациялайды. Топырақтың микробиологиялық әртүрлілігі мен құнарлылығын жақсартады.
[27]	Ауыр металдар (Pb, Zn)	Бамбук, күріш қабығы	10-30	Қалалық ластанған топырақ	Pb және Zn деңгейінің айтарлықтай төмендетеді.
[29]	Ауыр металдар (Cr, Ni)	Ағаш, ауыл шаруашылығы қалдықтары	5-20	Ластанған топырақ	Cr және Ni бойынша жоғары адсорбциялық тиімділігі байқалады. Сонымен бірге биокөмір топырақтың аэрациясын және микробиологиялық сапасын жақсартады.

2-кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6
[30]	Ауыр металдар (As, Cd, Pb)	Ағаш, ауыл шаруашылығы қалдықтары	5-50	Ластанған топырақ	As және Cd тиімді адсорбцияланады. Топырақтың микробиологиялық әртүрлілігін жақсартып, фиторемедиацияға оң әсер етеді.
[31]	Ауыр металдар (Cu, Pb, Cd)	Бамбук, күріш қауызы, қарағай	10-25	Ауыл шаруашылық топырақтары	Биокөмір Cu, Pb және Cd иммобилизациясын жақсартады. Микробиологиялық белсенділігінің артуы өсімдіктің өнімділігінің артуына әкелді.
[32]	Ауыр металдар	Ағаш, күріш қауызы	5-25	Құмдақ топырақ	Ауыр металдардың адсорбциясын жақсартады және ластанған топырақта өсімдіктердің өнімділігін арттырады.

Зерттеулерде биокөмірді топыраққа енгізу мөлшері 5-50 т/га. Қолданылатын биокөмірдің мөлшері өте маңызды, өйткені ол биокөмірдің топырақпен және ластаушы заттармен қаншалықты жақсы әрекеттесетініне әсер етеді. Топыраққа енгізілген биокөмірдің жоғары мөлшері әдетте ластаушы заттардың иммобилизациясы мен топырақ құнарлылығын жақсартады: 10-50 т/га қолдану мөлшері [10, 22] ауыр металдардың, әсіресе Pb және Cd үшін адсорбцияның айтарлықтай жақсарғанын көрсетеді. 5-25 т/га мөлшері [11, 13] қалалық және ауылшаруашылық топырақтарында тиімді, бұл ауыр металдың төмендеуіне және микробиологиялық белсенділіктің жоғарылауына әкеледі. 5-20 т/га мөлшерлемелері [28, 29] ауыр металдардың қозғалғыштығы мен уыттылығын төмендету үшін тиімді екені байқалады, Зерттеулер көрсеткендей салыстырмалы түрде биокөмірді төмен мөлшерде қолдану ластаушы заттарды иммобилизациялауда тиімді болуы мүмкін, бірақ жоғары мөлшерде енгізу әдетте улы металдармен қатты ластанған топырақтар үшін тиімдірек екені байқалады.

Биокөмірдің [10] ауылшаруашылық топырағындағы Pb және Cd белсенділігін айтарлықтай төмендететінін, топырақ құрылымын және қоректік заттардың сақталуын жақсартатынын анықтады. Бұл биокөмірдің ауылшаруашылық дақылдарының ауыр металдарды өзіне сіңіруін азайтудағы тиімділігін көрсетеді, [13] күріш қауызынан, бамбуктан және ағаштан алынған биокөмір ластанған қалалық топырақта Pb және Cd-ны иммобилизациялайтынын көрсетеді, бұл олардың өсімдіктерге сіңіруін азайтады және микробиологиялық әртүрлілігін арттырады. Бұл биокөмір тек ластаушы заттарды иммобилизациялауға көмектесіп қана қоймайды, сонымен қатар биологиялық сапасын жақсартады [11]. Биокөмірмен [15] қышқылданған ауылшаруашылық топырақтарында топырақтың рН және (СЕС) сіңіру негіздерін жақсарғаны байқалады. Zn және Cu жоғары адсорбциясын көрсетеді, бұл олардың белсенділігінің төмендеуіне әкелді. Сонымен бірге биокөмірдің топырақ құнарлылығына және ластаушы заттардың иммобилизациясына әсер ете отырып [15] ластанған топырақтағы пестицидтердің

деградациясын күшейту, микробиологиялық белсенділікті арттыру және пестицидтердің тұрақтылығын төмендету қабілетіне талдау жасалынған. Бұл биокөмірдің топырақтағы органикалық және бейорганикалық ластағыштарды азайтудағы рөлін көрсетеді. Биокөмір ластанған топырақтағы Cu және Ni жыжымалылығын және уыттылығын төмендетіп, қоректік заттардың қолжетімділігін арттырады [28]. Бұл тұжырым биокөмірдің ластаушы заттарды жоюда ғана емес, сонымен қатар жалпы топырақ құнарлығын арттырудағы рөлін көрсетеді. Биокөмір қышқылданған ауылшаруашылық топырақтарында Pb, Zn және Cu-ны иммобилизациялап, микроорганизмдердің әртүрлілігі мен топырақ құнарлығын жақсарта алады [14]. Бұл биокөмір тек ластаушы заттарды сіңіріп қана қоймайды, сонымен қатар топырақтың биологиялық қасиеттерін жақсартады. Ластанған топырақта биокөмір Cr және Ni элементтеріне жоғары адсорбциялық тиімділігімен биокөмір топырақтың аэрациясын және микробиологиялық сапасын жақсартады. Биокөмірдің ластанған топырақта As және Cd тиімді адсорбциясына талдау жасап, микробиологиялық белсенділікті жақсартағыны және фиторемедиацияға оң әсер ететіні байқалады [30]. Бұл биокөмірдің топырақтың химиялық және биологиялық рекультивациясын қарқындатудағы әлеуетін көрсетеді. Бамбуктан, күріш қабығынан және қарағайдан алынған биокөмір ауылшаруашылық топырақтарында Cu, Pb және Cd иммобилизациясын күшейтіп, микробиологиялық белсенділіктің жоғары-

лауына және өсімдіктердің өнімділігінің артуына әкелетінін көрсетеді [31]. Биокөмір құмдақ топырақта ауыр металдардың адсорбциясын жақсартып, ластанған ортада өсімдіктердің жақсы өсуіне ықпал ететінін анықтады [32].

ҚОРЫТЫНДЫ

Биокөмірдің ауыр металдарды тиімді иммобилизациялау, пестицидтердің уыттылығын төмендету, топырақ құнарлығын арттыру және топырақтың микробиологиялық әртүрлілігін жақсарту қабілетіне ие, сонымен бірге ауыр металдар биокөмірдің кеуекті құрылымы мен жоғары бетінің ауданы ауыр металдар мен органикалық ластаушы заттар сияқты ластаушы заттарды сіңіруге мүмкіндік беретінін көрсетеді, бұл олардың топырақтағы белсенділігін айтарлықтай төмендетеді және олардың өсімдіктерге сіңіуіне жол бермейді.

Биокөмір көміртекті секвестрлеу арқылы климаттың өзгеруін азайтуда маңызды рөл атқарады. Оның топырақтағы тұрақтылығы көміртекті ұзақ уақыт сақтауға мүмкіндік береді, атмосферадағы CO₂ деңгейін төмендетеді.

Биокөмірдің ауылшаруашылық дақылдарының өнімділігіне әсері биокөмірді топыраққа енгізу тереңдігіне, топырақтың механикалық құрамына тікелей байланысты болып табылады.

Топырақтың ластануының жаһандық мәселесі өсіп келе жатқандықтан, биокөмір топырақтың құнарлығын қалпына келтіру, өнімділікті арттыру және ауыл шаруашылығының экологиялық кері әсерін азайту үшін ауқымды, тиімді шешім ұсынады.

ҚАРЖЫЛАНДЫРУ

Зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің қаржылық қолдауымен орындалды (грант №BR27199301).

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ / REFERENCES

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). The future of food and agriculture: Trends and challenges. – Rome: FAO, 2017.
2. Liu Y, Chen Z., Wang L., Zhang H. Heavy metal contamination in agricultural soils and its impact on food safety in China: A review // *Environmental Pollution*. – 2022. – Vol. 301. – P. 119026.
3. Li J., Sun R., Huang Y., Zhao X. Impact of heavy metals on soil microbial diversity and agricultural productivity: Challenges and perspectives // *Journal of Hazardous Materials*. – 2023. – Vol. 443. – P. 130255.
4. Zhang C., Nie S., Liang J., Zeng G. Impacts of pesticide residues on soil microbial communities and ecosystem functions: A review // *Chemosphere*. – 2020. – Vol. 242. – P. 125535.
5. Kameyama K., Miyamoto T., Shiono T. Biochar application to contaminated soils: A promising strategy for soil remediation and carbon sequestration // *Agriculture*. – 2021. – Vol. 11, № 1. – P. 34.
6. Alloway B. J. Heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability. 3rd ed. – Springer, 2013.
7. Zhang M., Song W., Wang H. Influence of biochar on heavy metal speciation and bioavailability in soil: A review // *Journal of Environmental Management*. – 2019. – Vol. 232. – P. 123–130.
8. McGrath S. P., Zhao F. J., Lombi E. Plant and rhizosphere processes involved in phytoremediation of metal-contaminated soils // *Plant and Soil*. – 2015. – Vol. 232. – P. 207–214.
9. Li H., Dong X., da Silva E. B., de Oliveira L. M., Chen Y., Ma L. Q. Mechanisms of metal sorption by biochars: Biochar characteristics and modifications // *Chemosphere*. – 2020. – Vol. 246. – P. 125609.
10. Lehmann J., Rillig M. C., Thies J., Masiello C. A., Hockaday W. C., Crowley D. Biochar effects on soil biota – A review // *Soil Biology and Biochemistry*. – 2011. – Vol. 43, № 9. – P. 1812–1836.
11. Zhao L., Cao X., Mašek O., Zimmerman A. Heterogeneity of biochar properties as a function of feedstock sources and production temperatures // *Journal of Hazardous Materials*. – 2018. – Vol. 350. – P. 93–102.
12. Liang B., Lehmann J., Solomon D., Kinyangi J., Grossman J., O'Neill B., Skjemstad J. O., Thies J., Luizão F. J., Petersen J., Neves E. G. Black carbon increases cation exchange capacity in soils // *Soil Science Society of America Journal*. – 2006. – Vol. 70, № 5. – P. 1719–1730.
13. Clough T. J., Condon L. M., Kammann C., Müller C. A review of biochar and soil nitrogen dynamics // *Agronomy*. – 2013. – Vol. 3, № 2. – P. 275–293.
14. Jeffery S., Verheijen F. G. A., van der Velde M., Bastos A. C. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. – 2011. – Vol. 144, № 1. – P. 175–187.
15. Sohi S. P., Krull E., Lopez-Capel E., Bol R. A review of biochar and its use and function in soil // *Advances in Agronomy*. – 2010. – Vol. 105. – P. 47–82.
16. Gao S., DeLuca T. H., Cleveland C. C. Biochar additions alter phosphorus and nitrogen availability in agricultural ecosystems: A meta-analysis // *Science of The Total Environment*. – 2018. – Vol. 643. – P. 926–935.
17. Ameloot N., Graber E. R., Verheijen F. G. A., De Neve S. Interactions between

biochar stability and soil organisms: Review and research needs // *European Journal of Soil Science*. – 2013. – Vol. 64, № 4. – P. 379–390.

18. Chen L., Xu S., Liu Y., Zhang W., Shen C. Effects of pyrolysis temperature on the properties of biochar and its adsorption behavior for heavy metals // *Bioresource Technology*. – 2021. – Vol. 329. – P. 124839.

19. Tan X., Liu Y., Zeng G., Wang X., Hu X., Gu Y., Yang Z. Biochar as potential sustainable precursors for activated carbon production: Multiple applications in environmental protection and energy storage // *Bioresource Technology*. – 2020. – Vol. 293. – P. 122070.

20. Wang S., Gao B., Zimmerman A. R., Li Y., Ma L. Q., Harris W. G. Removal of arsenic by magnetic biochar prepared from pinewood and natural hematite // *Bioresource Technology*. – 2021. – Vol. 299. – P. 122622.

21. Zhang X., Wang H., He L., Lu K., Sarmah A., Li J., Bolan N. S., Pei J., Huang H. Using biochar for remediation of soils contaminated with heavy metals and organic pollutants // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2020. – Vol. 27. – P. 22126–22141.

22. Mukherjee A., Lal R., Zimmerman A. R. Impacts of biochar and other amendments on the sorption and leaching of pharmaceuticals and personal care products from soils: A review // *Science of The Total Environment*. – 2021. – Vol. 757. – P. 143937.

23. Zhou Y., Gao B., Zimmerman A. R., Fang J., Sun Y., Cao X. Sorption of organic pollutants by biochars: Sorption mechanisms, influencing factors, and environmental implications // *Environmental Science & Technology*. – 2022. – Vol. 56, №3. – P.1430–1442.

24. Jia X., Zhuang J., Ye H., Yang W., Chen X., Zhang W. Synergistic effects of biochar and organic amendments on the remediation of heavy metal contaminated soils: A review // *Journal of Hazardous Materials*. – 2021. – Vol. 416. – P. 125776.

25. Chen T., Jing W., Feng G., Ying L., YuHuan S., Yongming L. Biochar and bacteria inoculated biochar enhanced Cd and Cu immobilization and enzymatic activity in a polluted soil // *Environmental International*. – 2020. – Vol. 137. – P. 105576.

26. Yan Z., Liu X., Li R., Huang J., Zheng J., Zhang X. Effects of biochar application on greenhouse gas emissions from agricultural soils: A meta-analysis // *Science of The Total Environment*. – 2021. – Vol. 753. – P. 142020.

27. Liu Y., Chen Z., Wang L., Zhang H. Biochar's role in enhancing soil fertility and agroforestry sustainability: A review // *Journal of Environmental Management*. – 2022. – Vol. 310. – P. 114758.

28. Cao X., Ma L., Gao B., Harris W. Dairy-manure derived biochar effectively sorbs lead and atrazine // *Environmental Science & Technology*. – 2009. – Vol. 43(9). – P.3285–3291.

29. Ryu C., Kim Y., Park J., Kim Y. S. Effect of biochar application on heavy metal mobility and microbial activity in contaminated soil // *Chemosphere*. – 2018. – Vol. 195. – P. 467–474.

30. Mukherjee A., Zimmerman A. R., Harris W. Surface chemistry variations among a series of laboratory-produced biochars // *Geoderma*. – 2011. – Vol. 163, №3–4. – P.247–255.

31. Rajapaksha A.U., Chen S.S., Tsang D.C.W., Zhang M., Vithanage M., Mandal S., Gao B., Bolan N.S., Ok Y.S. Engineered/designer biochar for contaminant removal/immobilization from soil and water: Potential and implication of biochar modification // *Chemosphere*. – 2016. – Vol. 148. – P. 276–291.

32. Johnson M. G., Wang X., Xu J., Liu Q., Chen Y. Biochar enhances heavy metal immobilization and microbial activity in contaminated sandy soils // *Environmental Pollution*. – 2021. – Vol. 273. – P. 116510.

РЕЗЮМЕ

А. Казез¹, К. Бексейтова¹, У. Жанतिकеев^{1*}, М. Токтар¹, С. Азат¹
МЕХАНИЗМЫ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ВОЗДЕЙСТВИЕ БИОУГЛЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ
СРЕДУ ПРИ РЕМЕДИАЦИИ ПОЧВЫ

¹Satbayev University, 050013, Алматы, ул. Сатпаева, 22а, Казахстан,
*e-mail: nurlybekov.ulan@gmail.com

Загрязнение почвы в результате накопления тяжёлых металлов, пестицидов и органических загрязнителей вызывает беспокойство во всём мире. В данной обзорной статье рассматривается биоуголь как эффективный метод ремедиации почвы, с особым вниманием к его роли в иммобилизации тяжёлых металлов, снижении токсичности пестицидов, повышении плодородия почвы и активности микроорганизмов. Высокая удельная поверхность и пористая структура биоугля делают его эффективным биоматериалом для снижения активности загрязняющих веществ и улучшения качества почвы. В обзоре также рассматривается важная роль биоугля в связывании углерода и смягчении последствий изменения климата, что способствует устойчивым методам ведения сельского хозяйства. Обсуждаются такие аспекты, как размер и глубина внесения биоугля в почву, его влияние на урожайность сельскохозяйственных культур на различных типах почв и улучшение состояния экосистем. Биоуголь также способствует повышению микробиологической активности почвы, регулирует круговорот питательных веществ и разложение органических веществ, улучшает структуру почвы, повышает водоудерживающую способность и катионообменную ёмкость (КОЕ), поддерживает её плодородие и снижает подверженность эрозии. Таким образом, потенциал биоугля в устойчивом сельском хозяйстве и охране окружающей среды очевиден, и многочисленные исследования подчёркивают его важную роль в улучшении качества почвы и снижении загрязнения.

Ключевые слова: биоуголь, окружающая среда, почва, тяжёлые металлы, изменение климата, биоремедиация.

SUMMARY

A. Kazez¹, K. Bexeitova¹, U. Zhantikeev^{1*}, M. Toktar¹, S. Azat¹
MECHANISM, EFFICIENCY AND ENVIRONMENTAL IMPACT OF BIOCHAR IN SOIL
REMEDICATION

¹Satbayev University, 050013, Almaty, Satpaev St., 22a, Kazakhstan,
*e-mail: nurlybekov.ulan@gmail.com

Soil pollution resulting from the accumulation of heavy metals, pesticides, and organic pollutants is a global concern. This review article explores biochar as an effective method for soil remediation, with a particular focus on its role in the immobilization of heavy metals, reduction of pesticide toxicity, enhancement of soil fertility, and stimulation of microbial activity. The high specific surface area and porous structure of biochar make it a highly efficient biomaterial for reducing pollutant activity and improving soil quality. The review also highlights the important role of biochar in carbon sequestration and mitigating the effects of climate change, thereby supporting sustainable agricultural practices. Key aspects discussed include the application rate and depth of biochar incorporation into the soil, its impact on crop yield across different soil types, and its contribution to ecosystem improvement. Additionally, biochar enhances microbial activity, regulates nutrient cycling and organic matter decomposition, improves soil structure, increases water retention capacity and cation exchange capacity (CEC), maintains soil fertility, and reduces susceptibility to erosion. Thus, the potential of biochar in sustainable agriculture and environmental management is evident, and numerous studies emphasize its significant role in improving soil quality and mitigating the impacts of soil pollution.

Keywords: biochar, environment, soil, heavy metals, climate change, bioremediation.

АВТОРЛАР ТУРАЛЫ МӘЛІМЕТТЕР

1. Алтынбек Қазез – инженерлік бейіндегі зертхана ғылыми қызметкері, Satbayev University, техникалық ғылымдар магистрі, <https://orcid.org/0009-0001-9353-4137>, e-mail: altyn8393@gmail.com

2. Калампыр Бексейтова – инженерлік бейіндегі зертхана жетекші ғылыми қызметкері, Satbayev University, PhD докторы, <https://orcid.org/0000-0002-5510-7660>, e-mail: bekalsu@mail.ru

3. Ұлан Жантیکеев – инженерлік бейіндегі зертхана ғылыми қызметкері, Satbayev University, техникалық ғылымдар магистрі, <https://orcid.org/0000-0002-1200-2340>, e-mail: nurlybekov.ulan@gmail.com

4. Мұрат Тоқтар – О.А. Байконұров атындағы тау-кен металлургия институтының оқытушысы, Satbayev University, PhD докторы, <https://orcid.org/0000-0002-0953-7491>, e-mail: murat-toktar@mail.ru

5. Сейтхан Азат – инженерлік бейіндегі зертхана меңгерушісі, Satbayev University, PhD докторы, профессор, <https://orcid.org/0000-0002-9705-7438>, e-mail: s.azat@satbayev.university

ГРНТИ 68.05.45

DOI: 10.51886/1999-740X_2026_1_100

А.А. Курманбаев^{1*}**МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ КАЧЕСТВА И ЗДОРОВЬЯ ПОЧВЫ**

¹Казахский научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии
имени У.У. Успанова, 050060, Алматы, ул. Байрак, 10, Казахстан,

*e-mail: wberel@gmail.com

Аннотация. В статье представлен обзор известных и современных микробных индикаторов качества почвы. Основное внимание уделено предикативным и информативным тестам качества и здоровья почв. Даны формулы суммарной оценки плодородия почв по тестам биологической активности. Индексы сгруппированы в 4 группы: индексы углеродного управления (СМИ), структурные и динамические характеристики микробных сообществ, индексы ферментативной активности (TEI, BIF, GMea, BA12), стехиометрические и другие показатели. Обсуждаются перспективы цифровизации почвенно-микробиологических исследований, которые могут повысить надёжность предсказаний изменений плодородия и позволят формировать практико-ориентированные рекомендации для земледельцев.

Ключевые слова: микробные индикаторы, здоровье почвы, плодородие почвы, биологическая активность почв, ферментативная активность почв.

За последнее время растёт интерес к быстрым, воспроизводимым и информативным индикаторам качества почвы для обнаружения изменений её качества и здоровья.

В соответствии с подходом Корнельского университета, здоровье почвы определяется как её способность функционировать в качестве живой экосистемы, обеспечивающая устойчивость агроэкосистем и биологическое разнообразие [1]. Такой подход позволяет учитывать не только химические и физические свойства почвы, но и биологические показатели, (активность микробиоты), содержание органического углерода.

Создание и поддержание плодородия почвы, как известно, определяется деструктивной активностью микрофлоры, существует острая потребность в индикаторах на основе микроорганизмов или их активности.

Интенсификация использования почвы в сельском хозяйстве создает угрозу необратимой потери качества почвы. Негативные изменения приводят к снижению плодородия почвы. В то

же время, практика различных подходов по устойчивому землепользованию показала, что для оценки «качества почвы» не хватает подходящих микробиологических индикаторов.

Микроорганизмы играют ведущую роль в развитии и сохранении почвы. Взаимосвязь микроорганизмов с физической средой в процессе разложения мертвых растительных остатков является частью процесса саморегуляции сохранения текущего плодородия почвы.

Однако, в ряде работ не было обнаружено негативного воздействия интенсификации сельского хозяйства на микроорганизмы почвы [2, 3].

Причина этого обусловлена тем, что комплекс почвенных микроорганизмов обладает высокой степенью функциональной избыточности и высокой степенью приспособляемости к неблагоприятным факторам среды.

Любое воздействие на окружающую среду, которое повлияет на членов микробного сообщества, должно быть обнаружено на уровне сообщества по изменению определенной общей

активности микробного сообщества, которая может быть количественно определена. В почвенной микробиологии имеется ряд тестов суммарной биологической активности почв: FDA test, целлюлозолитическая активность, дыхание, нитрифицирующая активность, азотфиксация и др. Кроме того, на практике давно используются микробиологические и ферментативные индексы плодородия почв. К этим индексам относятся:

- индексы углеродного управления (СМІ);
- структурные и динамические характеристики микробных сообществ;
- индексы ферментативной активности (TEI, BIF, GMea, BA12);
- стехиометрические и разнообразные показатели (C:N, Q_{min} , Shannon, Chao1).

Индексы углеродного управления.

T. Anderson [4] полагает, что с увеличением степени разнообразия микрофлоры почвы следует ожидать меньшего дыхания сообщества. Для этого используют индикатор - микробный метаболический коэффициент, который отражает отношение микробного дыхания к микробной биомассе, показывая эффективность использования углерода микроорганизмами. Более высокий qCO_2 может указывать на нездоровье почвы и стресс для микроорганизмов, тогда как более низкие значения связаны с улучшением здоровья почвы и эффективным использованием углерода. Если дыхание сообщества низкое, больше углерода будет доступно для производства биомассы, что должно отражаться в высоком процентном содержании микробного углерода (C_{mic}) в общем органическом углероде (C_{org}). Было обнаружено, что микробные сообщества систем долгосрочного севооборота энергетически более эффективны (более низкий qCO_2) с соответствующим более высоким значением $C_{mic}:C_{org}$ (увеличение биомас-

са) по сравнению с монокультурами. Автор считает, эти два параметра вместе могут быть индикаторами качества почвы. Физиологические характеристики, такие как удельное дыхание (qCO_2) вместе с $C_{mic}:C_{org}$, можно использовать для характеристики «базовой производительности» микробного сообщества определенной категории почвы, что может привести к «экофизиологическому профилю» участка. Необходимое требование исследования заключается в определении естественных отклонений таких параметров. При этом сильное отклонение этих индикаторов от базового значения, специфичного для данного участка, будет свидетельствовать об изменении окружающей среды и образовании нового почвенного сообщества.

Среди известных индикаторов качества почвы - фракция перманганат окисляемого углерода, которая наиболее тесно связана с фракцией углерода микробной биомассы. В работе [5] она была охарактеризована как лучший предиктор качества почв агроландшафтов.

Микробные индексы

Данная группа индексов позволяет оценить состояние почв, продуктивность, устойчивость и биологическое здоровье агроэкосистем. Индексы в настоящее время широко используются в оценке микробиологического и биохимического статуса почв как в естественном состоянии, так и при различных видах земледелия и степени деградации почв.

Для оценки изменения направленности микробиологических процессов трансформации органического вещества используется коэффициент трансформации органического вещества (Пм) [6], показывающий направленность процессов гумусообразования. Его рассчитывают по формуле: $Пм = (МПА + КАА) \times (МПА/КАА)$, где Пм - коэффициент трансформации органического

вещества, МПА – количество микроорганизмов аммонификаторов, КАА – численность микроорганизмов, использующих минеральные формы азота.

Чевердин А.Ю. с соавт. [7] использовали данный коэффициент для оценки эффективности биопрепаратов на основе ризобактерий в условиях Центрального Черноземья, в полевом опыте на черноземе сегрегационном среднегумусном тяжелосуглинистом с яровым ячменем. Установлено, что предпосевная инокуляция семян ассоциативными штаммами почвенных ризобактерий оказывала влияние на численность основных физиологических групп микробного ценоза. В большей степени активизировалась деятельность аммонификаторов, минерализаторов гумуса, микромицетов, целлюлозолитиков, в меньшей – актиномицетов и нитрификаторов.

Расчетный коэффициент трансформации органического вещества показал стабилизацию процессов гумусонакопления под воздействием инокулянтов. При этом ризобактерии снижали негативный эффект азотного удобрения в черноземе сегрегационном и усиливали процессы гумусонакопления.

Подводя итоги изменения структуры микробного ценоза, можно отметить существенную роль биопрепаратов на основе ассоциативных ризобактерий в активизации микробиологической активности чернозема обыкновенного. Установлена довольно тесная корреляционная зависимость между отдельными группами микроорганизмов и обеспеченностью растений ярового ячменя биогенными элементами питания.

Масютенко Н.П. с соавт. [8] предложили подход оценки качества почв в динамике по трем составляющим: плодородию почвы (13 показателей), здоровью почвы (5 тестов), устойчивости

почвы к антропогенным воздействиям (3). Используются критерии изменения показателей плодородия почвы по отношению к контролю или к начальному состоянию по 4-м уровням: первый – уменьшение, второй – сохранение на прежнем уровне, третий – значимое увеличение ($> НСР_{05}$), четвертый – высокое значимое увеличение ($\geq 1,3 \cdot НСР_{05}$).

Для проведения дифференцированной и комплексной оценки агротехнологий по состоянию здоровья почвы представлены частные критерии оценки для 5 показателей: содержание гумуса; микробной биомассы; баланса гумуса; содержание углерода негумифицированного органического вещества почвы, в % от органического углерода почвы; токсичность почвы. Сравнивая три агротехнологии: 1. агротехнология – общепринятая для региона; 2. агробиотехнология-1, включающая обработку биопрепаратами семян, почвы перед посевом, посевов 2 раза, измельченной побочной продукции после уборки урожая и заделку её в почву; 3. агробиотехнология-2 включает агробиотехнология-1 + 10 кг д.в. N на 1 т измельченной побочной продукции, авторы установили, что агробиотехнологии оказали на здоровье почв отличное влияние по сравнению с контролем.

Следующим информативным тестом является индекс биогенности – отношение количества бактерий к грибам. Это один из ключевых микробных индексов, который используется для оценки биологического состояния почв, особенно в контексте почвенного плодородия, воздействия землепользования и экологического мониторинга.

Изменения В/Ф отражают направленность почвенных процессов – от быстрой минерализации к устойчивому накоплению органического вещества. de Vries et al. [9] показали, что в агроэкосистемах с интенсивной обработкой почвы наблюдается $V/F > 2$, в то время

как в естественных луговых почвах этот индекс составляет 0,5–0,9. Согласно Joergensen & Wichern [10] внесение компоста и снижение обработки почвы способствуют увеличению грибной биомассы, снижая В/Ф с 1,8 до 0,8 за 3 года. Bardgett & van der Putten [11] подчеркивают, что высокое значение В/Ф связано с нестабильностью углеродного пула, тогда как грибное доминирование способствует долгосрочному хранению углерода [12].

Таким образом, в рамках агроэкосистем: обработка почвы, минеральные удобрения и пестициды часто увеличивают долю бактерий, а в органическом земледелии и сидерации усиливается развитие грибов и происходит снижение В/Ф. В лесных и целинных почвах преобладает грибной компонент, отношение В/Ф низкое. Эти почвы устойчивы к деградации, с высоким потенциалом углеродного накопления. В отношении углеродного цикла отмечено, что грибы более эффективно перерабатывают сложные соединения (лигнин, целлюлозу) и участвуют в долговременном хранении углерода. Бактерии перерабатывают быстро доступные соединения, вызывая быстрый углеродный оборот. В Экологическом мониторинге рост В/Ф может быть признаком деградации почвы.

Другой информативной группой индексов являются ферментативные тесты, позволяющие дать оценку состояния плодородия почв и качества органического вещества.

В оценке систем удобрений на дерново-подзолистой почве Беларуси использовали ферментативную диагностику по гидролазам (инвертаза и уреазы) и оксидазам (ПФ/ПО), что позволило дать оценку интенсивности процессов минерализации и гумификации в зависимости от системы удобрения. Активность ферментов выражали в относительных единицах (%) по отношению к контролю. При этом

общую активность гидролаз рассматривали как минерализующую способность почвы. Аналогично, активность оксидаз как гумифицирующую активность. Установлено, что на фоне внесения $N_{60}P_{70}K_{120}$ минерализация составила 144%, тогда как гумификация 128%, что указывает на сдвиг в сторону потерь органического вещества. При 125% компенсации выноса фосфора и калия и дробном внесении азотных удобрений $N_{84}P_{70}K_{120}$ было получено оптимальное сохранение плодородия почв за счет баланса процессов минерализации и гумификации (137 и 135% соответственно) и обеспечена высокая продуктивность зернотравяного севооборота (81,7 ц к.ед./га).

Таким образом, биохимическая диагностика позволила оценить направленность изменения плодородия почв при разных системах удобрений [13].

Польские исследователи предлагают применять следующие индексы:

Биологический индекс плодородия BIF (Biological Index Fertility)

$$BIF = \frac{1.5DEH + 100kCAT}{2},$$

где, k индекс пропорциональности, равный 0,01, DEH – дегидрогеназа, CAT – каталаза.

При расчете среднегеометрической ферментативной активности (GMea) сначала рассчитываются относительные баллы активности отдельного фермента по формуле:

$$A1 = \frac{A_{оп}}{A_{контр}} \times 100\%,$$

где $A_1, A_2...A_n$ – относительные баллы для каждого показателя активности фермента, %;

$A_{оп}$ – в опыте

$A_{контр}$ – в контроле

Затем определяют среднегеометрическую активность исследуемых ферментов:

$$GMea = \sqrt[n]{A1 \times A2 \times \dots \times An}$$

GMea позволяет определить в комплексе отклик ферментов разных классов, что позволяет дать оценку происходящих в почве процессов трансформации органического вещества почв [14].

BIF и GMea отражают состояние плодородия и качества органического вещества

Общий уровень энзиматической активности (Total Enzyme Activity Index). Индекс TEI оценивает общую ферментативную активность почв, коррелируя с содержанием углерода и азота

$$TEI = x_i/X_i,$$

где x_i - активность почвенного фермента i , X_i - средняя активность фермента i во всех образцах.

Биохимическая активность почвы (BA12) была предложена на основе активности почвенных ферментов и содержания общего органического углерода:

$$BA12 = \log_{10} \text{TOC} \sqrt{\text{DEH} + \text{CAT} + \text{AIP} + \text{AcP}}$$

BA12 основан на содержании TOC (Total organic carbon) и активности ферментов (дегидрогеназа, каталаза и фосфатазы); тест определен как наиболее чувствительный к изменению качества органического вещества [15].

Koręć & Piotrowska [16] разработали биохимический индекс плодородия почвы для сравнения влияния органических и минеральных удобрений. Этот показатель позволил классифицировать плодородие почвы по четырем категориям (3-4 - низкое плодородие; 4-5 - среднее; 5-6 - высокое; 6-7 - очень высокое плодородие).

Биохимический индекс плодородия почвы

$$(\text{БИП}) = C_{\text{org}} + N_{\text{total}} + \text{DH} + \text{P} + \text{PR} + \text{AM},$$

где C_{org} - содержание органического углерода, %; N_{total} - содержание общего азота, %; DH - активность дегидрогеназы $\text{cm}^3 \text{H}_2 \text{kg}^{-1} \cdot 24 \text{ч}^{-1}$; P - активность фосфатазы, ммоль p -нитрофенилфос-

фата $\text{g}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$; PR - активность протеазы, ммоль $\text{NH}_4\text{-N kg}^{-1} \text{ч}^{-1}$; AM - активность амилазы, мг разложившегося крахмала ч^{-1} .

Эти индексы применяются преимущественно в исследованиях влияния систем обработки почв и удобрений на биологическое состояние.

Последняя группа индексов представлена индексом разнообразия Шеннона, соотношением углерода к азоту, дыхательным коэффициентом и др.

Индекс Шеннона - биоразнообразие бактерий, может рассматриваться как важный предиктор процессов накопления и распада углерода в почве, особенно в контексте оценки биологического разнообразия микробиоты и её функциональной устойчивости.

Индекс Шеннона отражает разнообразие бактериальных сообществ, учитывая как число видов, так и их равномерность.

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \cdot \ln(p_i),$$

где S — общее число таксонов (например, видов или OTU – операционных таксономических единиц), p_i - относительная доля i -го таксона в сообществе.

Бактериальное разнообразие, выраженное через индекс Шеннона, отражает как видовую насыщенность, так и равномерность распределения таксонов. Высокие значения индекса свидетельствуют о сложной, устойчивой структуре микробного сообщества, способной обеспечивать стабильность углеродного цикла за счёт повышенной функциональной избыточности. Это способствует как накоплению органического углерода в форме метаболитов и гумусовых веществ, так и снижению темпов его минерализации.

Исследования показывают, что индекс Шеннона бактерий может также

выступать надёжным биоиндикатором состояния почвы в аспекте углеродного баланса. Так, в ряде работ установлено, что высокое бактериальное разнообразие положительно коррелирует с содержанием стабильных органических форм углерода [17-19]. В условиях агроэкосистем увеличение индекса Шеннона ассоциируется с ростом доли устойчивых органических соединений и более медленным разложением органических остатков.

Таким образом, индекс Шеннона представляет собой значимый предиктор как процессов накопления, так и потерь углерода в почве и может использоваться в практике экологического мониторинга, оценки почвенного плодородия и управления устойчивым землепользованием.

Индекс альфа разнообразия Chao1. Позволяет учесть «скрытое» разнообразие, не выявленное при стандартном секвенировании. Чем выше Chao1, тем богаче биоразнообразие. Индекс применяется для оценки микробиома и воды и сравнения экосистем по уровню биоразнообразия [20].

Индекс богатства видов, учитывающий редкие OTU (operating taxonomic units).

$$Chao1 = S_{obs} + (F1^2/2F2),$$

где S_{obs} — число наблюдаемых видов, $F1$ — число одиночных видов (встречающихся 1 раз), $F2$ — число двойных видов (встречающихся 2 раза).

Попутниковой Т.О. (2010) для обобщения данных, полученных по микробным тестам предложена формула расчета индекса трансформации биологических свойств почв (ИТБ), характеризующий степень разнонаправленных отклонений совокупности биотических показателей в исследуемых пробах от фоновых значений по формуле:

$$ИТБ = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{C}{C_{фон}}}{n},$$

где C - абсолютное значение показателя, $C_{фон}$ - фоновая величина. Расчет ИТБ произведен по кратностям отклонения биологических показателей от фоновых величин (как в положительную, так и в отрицательную стороны) по формуле, отражающей суммарную степень отклонения биологического отклика от фона в диапазоне значений от 0 до 1. Согласно автору 30%-ная потеря естественного (биологического) состояния почвы, рассчитанная по суммарному индексу трансформации биологических свойств может быть принята за пороговое значение экологического качества почвы, поскольку при таком значении почва не утрачивает способность к самовосстановлению [21].

Карягина Л.А. [22] в своей монографии использовала относительно простой комплексный метод оценки биологической активности почвы в относительных величинах. Суть метода заключается в том, что по каждому биологическому показателю дается относительная оценка его изменения по уровням плодородия. При этом за 100 принимается наибольший показатель. Относительные величины всего комплекса биологических характеристик суммировали по каждому уровню отдельно и выводили окончательную оценку на основе полученных величин.

Никитина З.И. [23] для оценки тестов биологической активности почв предлагает использовать параметр – функция желательности, которая позволяет преобразовать реальный параметр в безразмерный, а затем давать обобщенные характеристики почвы по ряду показателей биологической активности:

$$d_i = N_i / N_k,$$

где N_i – показатель в опыте, N_k – показатель в контроле, для $N_i < N_k$ и для $N_i > N_k$

$$d_i = 1 - N_i / 100 N_k$$

При этом d_i значения располагаются в интервале от 0 до 1:

0,0-0,2 - неприемлемое значение

0,2-0,4 - плохое

0,4-0,6 - удовлетворительное

0,6-0,8 - хорошее

0,8-1,0 - идеальное

В заключении необходимо сказать, что предлагаемые индексы необходимо применять творчески, исходя из текущих факторов и условий исследования. На микробные индикаторы существенно влияют климатические условия, тип почвы, уровень увлажнения, содержание органического вещества, а также агротехнические мероприятия. Использование минеральных удобрений, пестицидов, интенсивная обработка почвы могут снижать микробную активность и изменять структуру микробного сообщества.

С другой стороны, применение органических удобрений, сидератов и минимальной обработки способствует восстановлению микробного баланса и повышению биологической активности.

Микробные индикаторы играют ключевую роль в оценке эффективности агротехнологий, направленных на устойчивое земледелие. Например, увеличение численности актиномицетов и азотфиксирующих бактерий наблюдается при применении сидератов и минимальной обработке почвы.

В органическом земледелии микробные индексы используются для оценки биологической активности почвы без применения химических удобрений. Это позволяет формировать стратегии управления почвенным плодородием, ориентированные на восстановление микробного баланса.

Несмотря на широкое применение, микробные индикаторы имеют ряд ограничений. Некоторые из них чувствительны к сезонным колебаниям, другие - к типу почвы и уровню увлажнения. Например, индекс дыхательной

активности может быть завышен в условиях временного переувлажнения, не отражая реального состояния микробного сообщества.

Для повышения точности оценки предлагается использовать комплексные индексы, объединяющие микробиологические, биохимические и физико-химические параметры. Это позволит минимизировать влияние внешних факторов и повысить достоверность мониторинга.

С развитием цифровых технологий появляется возможность автоматизированной интерпретации микробных данных. Искусственный интеллект и машинное обучение позволяют выявлять скрытые закономерности в микробных сообществах и прогнозировать изменения качества почвы. Разработка портативных биосенсоров и мобильных приложений позволяет проводить экспресс-тесты в полевых условиях - например, для оценки микробной активности почвы или выявления патогенов на фермах в режиме онлайн. Цифровизация обеспечит повышение точности и скорости диагностики, упрощение хранения и передачи данных, возможность удаленного мониторинга, снижение затрат на лабораторные исследования и расширение доступа к тестированию в отдалённых регионах.

Платформы, такие как Open Soil Index и Soil Health Institute, уже интегрируют микробные данные в цифровые модели оценки плодородия. В Казахстане перспективным направлением является создание национальной базы микробных индикаторов, адаптированной к почвенно-климатическим условиям страны. Так, международная команда инженеров и учёных разрабатывает платформу iAgroInnApp, где реализуется машинная интерпретация индексов микробиологической активности с результатами агрохимических и биологических анализов. Система сопоставляет биологические показатели с

физико-химическими, географическими и климатическими переменными, выявляя драйверы пространственно-временной вариабельности почвенного здоровья. Такой мультимодальный подход повышает надёжность предсказаний изменений плодородия и позволяет формировать практико-ориентированные рекомендации для землепользователей. В перспективе это открывает путь от разрозненных тестов к масштабируемому мониторингу и управлению почвенными экосистемами на уровне хозяйств и регионов [24].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Микробные индикаторы качества почвы представляют собой мощный инструмент экологического мониторинга и управления агроэкосистемами. Их применение позволяет не только оценивать текущее состояние почвы, но

и прогнозировать её устойчивость к антропогенным нагрузкам.

Для повышения эффективности использования микробных индексов необходима стандартизация методик, развитие молекулярных подходов и интеграция данных в цифровые платформы. Междисциплинарный подход, объединяющий почвоведение, микробиологию и агроэкологию, открывает новые горизонты в изучении и сохранении почвенного ресурса.

Приведенные в обзоре индексы качества и здоровья почвы позволят исследователям расширить информативность тестов биологической активности почв, глубже понять направленность почвенных процессов и степень нарушенности почвенных экосистем.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Данная статья опубликована в рамках программно-целевого финансирования научных исследований Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан на 2024-2026 годы по программе ИРН BR22885097 «Обеспечение рационального использования земель сельскохозяйственного назначения в интенсивном земледелии на основе новых подходов в сохранении и воспроизводстве плодородия почв».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Comprehensive Assessment of Soil Health The Cornell Framework. 2016 by Cornell University. – 134 p.
2. Domsch K.H. The maintenance of soil fertility and the use of pesticides. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*. - 1974. - Vol. 81. - P. 679–682. .
3. Wardle D.A., Yeates G.W., Nicholson K.S., Bonner K.I., Watson R.N. Response of soil microbial biomass dynamics, activity and plant litter decomposition to agricultural intensification over a seven-year period // *Soil Biology & Biochemistry*. - 1999. - Vol. 31. - P. 1707–1720.
4. Anderson T.-H. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. - 2003. - Vol. 98. - P. 285–293.
5. Прохоров А.А., Борисов Б.А., Ефимов О.Е. Перманганат-окисляемый углерод как маркер качества почв агроландшафтов // *Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева*. - 2024. - Вып. 121. - С. 47–69.
6. Муха В.Д. О показателях, отражающих интенсивность и направленность почвенных процессов. Харьков: Изд-во Харьков. СХИ, 1980. - Т. 273. - С. 13–16.
7. Чевердин А.Ю., Чевердин Ю.И., Турусов В.И. Влияние биопрепаратов на основе ассоциативных бактерий на микробиологическую активность чернозема

сегрегационного // Агрохимия. - 2019. - № 12. - С. 22-31.

8. Методика проведения комплексной оценки воздействия агротехнологий на плодородие, здоровье и устойчивость черноземов [Текст] : брошюра / Н.П. Масютенко, Н.А. Чуян, М.Н. Масютенко, А.В. Кузнецов, Г.М. Брескина. – Курск: ФГБНУ «Курский ФАНЦ», 2024. – 37 с.

9. de Vries, F.T., et al. Land use alters the resistance and resilience of soil food webs to drought. // *Nature*. - 2006. – Vol. 468. – P. 450–453.

10. Joergensen, R.G., & Wichern, F. Quantitative assessment of the fungal contribution to microbial tissue in soil // *Soil Biology and Biochemistry*. – 2008. – Vol. 40, № 12. – P. 2977–2991.

11. Bardgett R.D., van der Putten W.H. Belowground biodiversity and ecosystem functioning // *Nature*. – 2014. – Vol. 515, № 7528. – P. 505–511.

12. Frostegård, Å., Tunlid, A., Bååth, E. Use and misuse of PLFA measurements in soils. // *Soil Biology and Biochemistry*. – 2011. – Vol. 43, № 8. – P. 1621–1625.

13. Лапа В.В., Михайловская Н.А., Ивахненко Н.Н., Касьянчик С.А., Погирницкая Т.В. Влияние систем удобрения на биологическую активность дерново-подзолистой супесчаной почвы // *Весці Нацыянальнай Акадэмі Навук Беларусі. Серыя аграрных навук*. – 2014. – № 2. – С. 61–67.

14. Jaskulska I., Lemanowicz J., Dębska B., Jaskulski D., Breza-Boruta B. Changes in Soil Organic Matter and Biological Parameters as a Result of Long-Term Strip-Till Cultivation // *Agriculture*. – 2023. – Vol. 13, № 12. – Art. 2188.

15. Koper J., Piotrowska A. Application of biochemical index to define soil fertility depending on varied organic and mineral fertilization // *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*. – 2003. – Vol. 6.

16. Delgado-Baquerizo M., Maestre F.T., Gallardo A. et al. Decoupling of soil nutrient cycles as a function of aridity in global drylands // *Nature*. – 2016. – Vol. 502. – P. 672–676.

17. Maestre F.T., Delgado-Baquerizo M., Jeffries T.C. et al. Increasing aridity reduces soil microbial diversity and abundance in global drylands // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 2015. – Vol. 112, № 51. – P. 15684–15689.

18. Lupatini M., Korthals G.W., de Hollander M. et al. Soil microbiome is more heterogeneous in organic than in conventional farming system // *Frontiers in Microbiology*. – 2017. – Vol. 7. – Art. 2064.

19. SOC mineralization and bacterial alpha-diversity // *Ecological Processes*. – 2023.

20. Попутникова Т.О. Экологическая оценка почв и отдельных компонентов окружающей среды в зоне размещения полигона твердых бытовых отходов : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16, 03.00.27 / Т.О. Попутникова. – М., 2010. – 138 с.

21. Карягина Л.А. Микробиологические основы повышения плодородия почв. – Минск : Наука и техника, 1983. – 181 с.

22. Никитина З.И. Микробиологический мониторинг наземных экосистем. – Новосибирск : Наука, 1991. – 228 с.

23. iAgroInnApp. Personal digital agronomist-soil scientist. [Electronic resource]. – URL: <https://iagroinnapp.com/>.

REFERENCES

1. Comprehensive Assessment of Soil Health The Cornell Framework. 2016 by Cornell University. – 134 p.

2. Domsch K.H. The maintenance of soil fertility and the use of pesticides // *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*. – 1974. – Vol. 81. – P. 679–682.
3. Wardle D.A., Yeates G.W., Nicholson K.S., Bonner K.I., Watson R.N. Response of soil microbial biomass dynamics, activity and plant litter decomposition to agricultural intensification over a seven-year period // *Soil Biology and Biochemistry*. – 1999. – Vol. 31. – P. 1707–1720.
4. Anderson T.-H. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. – 2003. – Vol. 98. – P. 285–293.
5. Prohorov A.A., Borisov B.A., Efimov O.E. Permanganat-okislyaemyj uglerod kak marker kachestva pochv agrolandshaftov // *Byulleten Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva*. – 2024. – Vyp. 121. – S. 47–69.
6. Muha V.D. O pokazatelyah, otrazhayushih intensivnost i napravlenost pochvennyh processov. – Harkov : Izd-vo Harkov. SHI, 1980. – T. 273. – S. 13–16.
7. Cheverdin A.Yu., Cheverdin Yu.I., Turusov V.I. Vliyanie biopreparatov na osnove associativnyh bakterij na mikrobiologicheskuyu aktivnost chernozema segregacionnogo // *Agrohimiya*. – 2019. – № 12. – S. 22–31.
8. Metodika provedeniya kompleksnoj ocenki vozdejstviya agrotehnologij na plodorodie, zdorove i ustojchivost chernozemov [Tekst] : broshyura / N.P. Masyutenko, N.A. Chuyan, M.N. Masyutenko, A.V. Kuznecov, G.M. Breskina. – Kursk : FGBNU «Kurskij FANC», 2024. – 37 s.
9. de Vries F.T., et al. Land use alters the resistance and resilience of soil food webs to drought // *Nature*. – 2006. – Vol. 468. – P. 450–453.
10. Joergensen R.G., Wichern F. Quantitative assessment of the fungal contribution to microbial tissue in soil // *Soil Biology and Biochemistry*. – 2008. – Vol. 40, № 12. – P. 2977–2991.
11. Bardgett R.D., van der Putten W.H. Belowground biodiversity and ecosystem functioning // *Nature*. – 2014. – Vol. 515, № 7528. – P. 505–511.
12. Frostegard A., Tunlid A., Baath E. Use and misuse of PLFA measurements in soils // *Soil Biology and Biochemistry*. – 2011. – Vol. 43, № 8. – P. 1621–1625.
13. Lapa V.V., Mihajlovskaya N.A., Ivahnenko N.N., Kasyanchik S.A., Pogirnickaya T.V. Vliyanie sistem udobreniya na biologicheskuyu aktivnost dernovo-podzolistoj supeschanoj pochvy // *Vesci Nacyanalnaj Akademi Navuk Belarusi. Seryya agrarnyh navuk*. – 2014. – № 2. – S. 61–67.
14. Jaskulska I., Lemanowicz J., Debska B., Jaskulski D., Breza-Boruta B. Changes in soil organic matter and biological parameters as a result of long-term strip-till cultivation // *Agriculture*. – 2023. – Vol. 13, № 12. – Art. 2188.
14. Koper J., Piotrowska A. Application of biochemical index to define soil fertility depending on varied organic and mineral fertilization // *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*. – 2003. – Vol. 6.
16. Delgado-Baquerizo M., Maestre F.T., Gallardo A. et al. Decoupling of soil nutrient cycles as a function of aridity in global drylands // *Nature*. – 2016. – Vol. 502. – P.672–676.
17. Maestre F.T., Delgado-Baquerizo M., Jeffries T.C. et al. Increasing aridity reduces soil microbial diversity and abundance in global drylands // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 2015. – Vol. 112, № 51. – P. 15684–15689.
18. Lupatini M., Korthals G.W., de Hollander M. et al. Soil microbiome is more heterogeneous in organic than in conventional farming system // *Frontiers in Microbiology*. – 2017. – Vol. 7. – Art. 2064.

19. SOC mineralization and bacterial alpha diversity // Ecological Processes. – 2023.
20. Poputnikova T.O. Ekologicheskaya ocenka pochv i otdelnyh komponentov okruzhayushej sredy v zone razmesheniya poligona tverdyh bytovyh othodov : dis. ... kand. biol. nauk : 03.00.16, 03.00.27 / T.O. Poputnikova. – Moskva, 2010. – 138 s.
21. Karyagina L.A. Mikrobiologicheskie osnovy povysheniya plodorodiya pochv. – Minsk : Nauka i tehnika, 1983. – 181 s.
22. Nikitina Z.I. Mikrobiologicheskij monitoring nazemnyh ekosistem. – Novosibirsk : Nauka, 1991. – 228 s.
23. iAgroInnApp. Personal digital agronomist-soil scientist. [Electronic resource]. – URL: <https://iagroinnapp.com/>.

ТҮЙІН

А.А. Курманбаев^{1*}ТОПЫРАҚ САПАСЫ ЖӘНЕ ДЕНСАУЛЫҚТЫҢ МИКРОБИОЛОГИЯЛЫҚ
КӨРСЕТКІШТЕРІ

¹Ө.О. Оспанов атындағы Қазақ топырақтану және агрохимия ғылыми зерттеу-институты, 0500060, Алматы, Байрақ көшесі, 10, Қазақстан,

*e-mail: wberel@gmail.com

Бұл мақалада топырақ сапасының белгілі және заманауи микробтық көрсеткіштеріне шолу жасалған. Ол топырақ сапасы мен денсаулығының болжамды және ақпараттық сынақтарына бағытталған. Топырақтың биологиялық белсенділік сынақтарына негізделген топырақ құнарлылығын жалпы бағалау формулалары берілген. Индекстер төрт санатқа топтастырылған: көміртекті басқару индекстері (КБИ), микробтық қауымдас-тықтардың құрылымдық және динамикалық сипаттамалары, ферментативті белсенділік индекстері (TEI, BIF, GMea, BA12) және стехиометриялық және басқа да көрсеткіштер. Топырақ микробиологиялық зерттеулерін цифрландыру перспективалары талқыланады, бұл құнарлылықтың өзгеруін болжаудың сенімділігін арттыра алады және жерді басқарушыларға арналған тәжірибеге бағытталған ұсыныстар әзірлеуге мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: микробтық көрсеткіштер, топырақ сапасы, топырақ құнарлылығы, топырақтың биологиялық белсенділігі, топырақтың ферментативті белсенділігі.

SUMMARY

A.A. Kurmanbayev^{1*}

MICROBIOLOGICAL INDICATORS OF SOIL QUALITY AND HEALTH

¹U.U. Uspanov Kazakh Research Institute of Soil Science and Agrochemistry, 050060, Almaty, Bayraq St., 10, Kazakhstan, *e-mail: wberel@gmail.com

This article presents an overview of known and modern microbial indicators of soil quality. It focuses on predictive and informative tests of soil quality and health. Formulas for the overall assessment of soil fertility based on soil biological activity tests are provided. The indices are grouped into four categories: carbon management indices (CMI), structural and dynamic characteristics of microbial communities, enzymatic activity indices (TEI, BIF, GMea, BA12), and stoichiometric and other indicators. Prospects for digitalization of soil microbiological research are discussed, which can improve the reliability of fertility change predictions and enable the development of practice-oriented recommendations for land managers.

Keywords: microbial indicators, soil quality, soil fertility, soil biological activity, soil enzymatic activity.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

1. Курманбаев Аскар Абылайканович – главный научный сотрудник отдела плодородия и биологии и почв, д.б.н., профессор, <https://orcid.org/0000-0003-4384-7634>, e-mail: wberel@gmail.com

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Главный редактор

Б.У. Сулейменов

Редакционная коллегия:

Р.Х. Рамазанова (заместитель главного редактора),
М.А. Ибраева (ответственный секретарь),
Георг Гуггенбергер (Германия), А.В. Козлов (Россия),
М.Г. Мустафаев (Азербайджан), М.В. Филипова (Болгария),
Б.М. Амиров, Б.Н. Насиев, Г.А. Сапаров,
М.Т. Егізтай (компьютерная верстка)

Тираж 200 экз.

Индекс 74197

ISSN 1999-740X



9 771999 740000