

Как цитировать: Соловьёв, О.Ю., Заика, В.В., Савинкина, Л.И. (2026). Влияние различных технологий обработки почвы на баланс органического вещества и биоэнергетическую эффективность возделывания культур в плодосменном севообороте. Евразийский агротехнический журнал, 2(130), 130-140. DOI: [https://doi.org/10.51452/eaj.2026.2\(130\).2214](https://doi.org/10.51452/eaj.2026.2(130).2214)

УДК 631.452, 631.51

Исследовательская статья

Влияние различных технологий обработки почвы на баланс органического вещества и биоэнергетическую эффективность возделывания культур в плодосменном севообороте

Соловьёв О.Ю. , Заика В.В. , Савинкина Л.И. 

Северо-Казахстанская сельскохозяйственная опытная станция,
Северо-Казахстанская область, Аккайынский район, с. Шагала, Казахстан

Автор-корреспондент: Соловьёв О.Ю.: solovyev_1990@mail.ru

Соавторы: (1: ВЗ) vital_1990@mail.ru; (2: ЛС) lsavinkina431@gmail.com

Получено: 23.04.2026 **Принято:** 29.06.2026 **Опубликовано:** 30.06.2026

Авторские права: Соловьёв О.Ю. и др. Данная статья размещена в открытом доступе и распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Аннотация

Предпосылки и цель. Актуальность исследований заключается в необходимости стабилизации и повышении содержания органического вещества в почвах Северо-Казахстанской области. В настоящий момент плодородие почв в регионе оценивается на уровне низкого и среднего содержания (2,1–6,0%) на более 95% площади пашни. При этом, согласно долгосрочной оценке динамики изменения запасов гумуса почвы за 30 лет по Северо-Казахстанской области отмечено снижение на 20–35% от исходного содержания в пределах 5,6–6% и ежегодной потерей до 0,4–0,6% при использовании экстенсивных технологий земледелия.

Материалы и методы. Научные исследования проводились на базе 5-ти полного плодосменного севооборота (пар-рапс-пшеница-горох-пшеница) с различными технологиями земледелия – традиционной (механической обработкой), минимальной и нулевой. Методика исследований предполагала полевую закладку опытов в стационаре, а также лабораторную оценку продуктивности с/х культур и анализ данных.

Результаты. По результатам исследования установлено, что наиболее продуктивными в севообороте выступают ресурсосберегающие системы – минимальная и нулевая обработки, обеспечивающие при этом повышение биоэнергетической эффективности агроэкосистем. При этом, данные системы обеспечивают минимальную экологическую нагрузку с положительным балансом органического вещества почвы и показателями его группового состава.

Закключение. Многолетнее применение ресурсосберегающих систем земледелия на обыкновенных черноземах не только способствует общему повышению гумуса и связанных с ним показателей (углерод, гуминовые кислоты, фульвокислоты), но и имеет высокую эффективность производства, даже с учетом расходной части гумуса, требуемой для формирования урожая. Практическая ценность проведенных исследований заключается в получении достоверных данных по оценке влияния применяемых систем земледелия в производственных масштабах на общую продуктивность и эффективность нагрузки на показатели почвенного плодородия.

Ключевые слова: плодородие; плодосменный севооборот; минимальная технология (Mini-till); нулевая технология (No-till); биоэнергетическая эффективность.

Введение

Одной из основных задач сельскохозяйственного производства Северного Казахстана является стабилизация и повышение содержания органического вещества почвы, при этом в настоящее время проблеме не придается большого значения. Так, плодородие почв Северо-Казахстанской области, по последним результатам агрохимического обследования

государственным мониторинговым центром, характеризуется невысоким содержанием гумуса – 4–5%, соответственно средним уровнем содержания легкогидролизуемого азота, низкой и очень низкой обеспеченностью фосфором и повышенным содержанием калия. По содержанию органического вещества (гумуса) – более 95% площади пашни по области на уровне низкого и среднего содержания (2,1–6,0%). Также отмечается ежегодное снижение запасов органического вещества на 0,5–0,8%, что за период 10 лет доходит до 5% и более [1, 2]. При этом, согласно долгосрочной оценке динамики изменения запасов гумуса почвы с 1989 по 2018 год (за 30 лет) по Северо-Казахстанской области, отмечено снижение на 20–35% от исходного содержания в пределах 5,6–6% [3].

С учетом этого, современные агротехнологии возделывания полевых культур должны обеспечивать получение высоких урожаев с хорошим качеством растениеводческой продукции при условии сохранения и воспроизводства плодородия почвы. Физическая и химическая структура, а также биологическая активность почвы, включая пространственное расположение ее компонентов, имеют основополагающее значение для поддержания сельскохозяйственной продуктивности и определяют здоровье и плодородие почвы [4, 5]. Рекомендуемые варианты управления сельскохозяйственными землями для увеличения содержания органического вещества в почве и улучшения ее качества, почти всегда включают некоторое снижение интенсивности обработки почвы и внедрение интегрированных многофункциональных севооборотов, включающих кормовые бобовые и/или мелкозерновые культуры. Было доказано, что интегрированные, расширенные севообороты, включающие мелкозерновые культуры (рапс, лен, горчица) и кормовые бобовые увеличивают содержание органического углерода в почве по сравнению с моно- или бикультурными севооборотами [6, 7]. При этом, рядом зарубежных авторов установлено благотворное влияние ресурсосберегающих систем земледелия и их преимущество над традиционными системами на снижение эрозии почв, содержание органического углерода, улучшение микробного здоровья и др., а расширение площадей, обрабатываемых ресурсосберегающим методом, имеет экономические преимущества для фермеров, как материальные, так и нематериальные (энерго и экологосберегающие) [8, 9, 10].

Цель исследования – изучение влияния ресурсосберегающих технологий обработки почвы, в сравнении с традиционной для зоны, на баланс органического вещества и биоэнергетическую эффективность возделывания культур в плодосменном севообороте.

Материалы и методы

Полевые опыты закладывались на экспериментальном стационаре Северо-Казахстанской сельскохозяйственной опытной станции в 2021–2025 гг. в степной зоне Северо-Казахстанской области. Климат зоны – засушливый, среднеобеспеченный теплом. Среднегодовое количество осадков 384,0 мм, за период вегетации – 217 мм (2021 г. – 154 мм; 2022 г. – 197 мм; 2023 г. – 148 мм; 2024 г. – 312 мм; 2025 г. – 302 мм). Период вегетации в пределах 136 дней, среднемноголетняя сумма положительных температур – 2250 °С, гидротермический коэффициент (ГТК) – 0,85. Рельеф – равнинный с большим количеством неглубоких впадин, занятых озёрами. Ландшафты характеризуются отсутствием лесов.

Почва опытного участка – чернозём обыкновенный, среднемощный, с нейтральной и слабощелочной реакцией, pH водной вытяжки 7,2–8,0. Содержание гумуса 4,5–5,0%, плотность слоя 0–20 см – 1,10–1,15 г/см³. Агротехнический фон – традиционная технология (с комплексом механических обработок), минимальная технология (совмещение механических и гербицидным обработок), нулевая технология No-Till (полное отсутствие механических обработок). Повторность опыта трехкратная. Размер учётной делянки – 240 м² (8 × 30 м), площадь опыта – 10 800 м². Посев проведён анкерной сеялкой точного высева Amazone DMC 3000 в оптимальные агротехнические сроки. Норма высева яровой пшеницы – 3,5 млн всхожих семян/га, гороха – 1,2 млн всхожих семян/га, рапса – 0,7 млн всхожих семян/га. Для посева использованы районированные для региона сорта, имеющие оптимальные посевные показатели. Учёт урожайности произведён учётным комбайном Sampro прямым комбайнированием.

Объектом исследования выступил 5-ти польный плодосменный севооборот – 1. пар, 2. рапс, 3. пшеница яровая, 4. горох, 5. пшеница яровая.

Учёты и наблюдения проведены по Методикам:

1. Методика проведения государственного сортоиспытания сельскохозяйственных растений [11];
2. Метод определения содержания и структуры органического вещества по методу Тюрина в модификации ЦИНАО, в слое почвы 0–20 см [12];
3. Методика биоэнергетической оценки технологий производства продукции растениеводства [13].
4. Методика расчёта и минимизации энергоёмкости продукции растениеводства [14].
5. Расчет валовых запасов гумуса почвы проведен по Методике проведения бонитировки почвы (принятой в Республике Казахстан), 2011 г [15].
6. Статистический анализ данных проведен по методике полевого опыта *Б.А. Доспехова* [16].

Результаты

Продуктивность севооборота определяется урожайностью отдельных культур в зависимости от варианта обработки почвы (механическая, минимальная, нулевая).

На основании проведенной выборки данных продуктивности севооборотов за период 2021–2025 гг. отмечен рост среднесугодней урожайности по вариантам сокращенной технологии (минимальная и нулевая). Наиболее эффективной технологией выступает нулевая (No-till), обеспечивающая максимальные показатели как по отдельным культурам, так и в среднем по севообороту. Так, по нулевому фону получена средняя урожайность севооборота, в пределах 2,35 т/га, что выше минимального фона на 0,14 т/га (+6%), и традиционного на 0,3 т/га (+13%), таблица 1.

Таблица 1 – Среднегодовая урожайность культур севооборота при применении различных технологий обработки почвы за период 2021–2025 гг., т/га

Фон	Культура в севообороте	Урожайность, т/га					
		2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2025 г.	средняя (за 5 лет)
1.Традиционная механическая обработка почвы	Пар	-	-	-	-	-	-
	Рапс	2,08	1,89	1,39	2,42	1,93	1,94
	Пшеница	2,69	1,43	2,80	3,10	2,50	2,50
	Горох	1,56	0,96	1,23	2,31	1,94	1,60
	Пшеница	1,44	2,24	1,83	2,54	2,72	2,15
Средняя по севообороту:							2,05
2.Минимальная технология (Mini-till)	Пар	-	-	-	-	-	-
	Рапс	2,23	2,28	1,58	2,30	2,39	2,16
	Пшеница	3,46	1,44	2,27	2,72	3,19	2,62
	Горох	1,60	1,09	1,58	1,90	2,28	1,69
	Пшеница	1,94	2,60	1,86	2,35	3,08	2,37
Средняя по севообороту:							2,21
3.Нулевая технология (No-till)	Пар	-	-	-	-	-	-
	Рапс	2,32	2,12	1,72	2,35	2,48	2,20
	Пшеница	3,43	1,88	2,85	2,60	3,28	2,81
	Горох	1,47	1,12	1,37	1,96	2,45	1,67
	Пшеница	2,34	3,16	2,08	2,28	3,73	2,72
Средняя по севообороту:							2,35
НСР _{0,95}							0,24

В разрезе отдельных культур, максимальная продуктивность рапса за 5 лет получена по минимальной и нулевой технологии – 2,16 – 2,20 т/га (с превышением традиционного фона на 11–13%). По продуктивности гороха также изучаемые технологии были довольно близки, со значением 1,67–1,69 т/га (+4-6% к традиционному фону). При этом максимальная разность

отмечена по яровой пшенице, с урожайность по традиционной обработке 2,15–2,50 т/га, и прибавкой по минимальной – 5–10%, нулевой технологии – 12–26%.

Одним из основных факторов формирования продуктивности является содержание гумуса почвы, и его составные элементы. В наших исследованиях, наряду с удельным содержанием гумуса (%) и его составом, произведен расчет валовых запасов гумуса почв в зависимости от применяемой технологии обработки почвы. Так, запас гумуса рассчитывался на основе процента содержания гумуса в почве, плотности почвы и мощности слоя (в слое 0–20 см), по формуле 1.

$$\text{Гумус}_{\text{вал}} = C \times H \times d \times 100, \quad (1)$$

где

C – содержание гумуса, %;

H – мощность слоя;

m, d – плотность почвы, т/м³.

По полученным данным, севооборот с традиционной обработкой почвы характеризовался относительно низким уровнем гумуса и углерода. Структура органического вещества менее устойчива по сравнению с ресурсосберегающими технологиями. При удельном содержании гумуса по данной системе 3,98%, валовые запасы достигали 95,4 т/га, с максимальным содержанием по фону рапса, посеянного по пару (таблица 2). Запасы общего углерода в пределах 2,00% и углерода лабильного – 0,92%, были минимальными среди изучаемых вариантов. При этом, соотношение гуминовых кислот к фульвокислотам в гумусе, характеризующее уровень плодородия, стабильность почвенной структуры, также было минимальным.

Таблица 2 – Содержание и структура органического вещества почвы по изучаемым культурам и технологиям в севообороте

Фон	Культура в севообороте	Гумус почвы, %	Валовый гумус, т/га	Общий углерод (Собщ), %	Углерод лабильный (Слаб), %	Сгк/Сфк*
1. Традиционная механическая обработка почвы	Пар	3,87	92,9	2,04	0,95	2,6/1
	Рапс	4,32	103,7	2,10	0,93	3,0/1
	Пшеница	3,99	95,6	2,13	0,86	3,2/1
	Горох	3,78	90,6	1,82	0,95	2,0/1
	Пшеница	3,92	94,0	1,92	0,91	2,4/1
Средняя по севообороту:		3,98	95,4	2,00	0,92	2,6/1
2. Минимальная технология (Mini-till)	Пар	3,88	100,9	2,07	1,04	3,2/1
	Рапс	4,04	105,0	2,24	1,10	3,0/1
	Пшеница	4,19	108,9	1,89	1,07	3,5/1
	Горох	3,97	103,2	2,18	1,15	2,5/1
	Пшеница	4,25	110,5	2,31	1,23	2,8/1
Средняя по севообороту:		4,07	105,7	2,14	1,12	3,0/1
3. Нулевая технология (No-till)	Пар	3,94	110,2	2,14	1,12	3,9/1
	Рапс	3,80	106,3	2,44	1,14	2,9/1
	Пшеница	4,23	118,3	1,96	1,28	3,7/1
	Горох	4,09	114,5	1,96	1,09	2,5/1
	Пшеница	4,75	132,9	2,50	1,22	3,1/1
Средняя по севообороту:		4,16	116,4	2,20	1,17	3,2/1
НСР _{0,95}		0,36	9,61	0,26	0,09	-

* - Сгк/Сфк – отношение удельного веса гуминовых кислот к фульвокислотам.

Гуминовые кислоты, в свою очередь, являются результатом постепенного распада органики, которая со временем превращается в гумус – органическую составляющую почвенного грунта. Поэтому именно наличие в почве гуминовых кислот связывают с повышением содержания гумуса [17, 18]. В наших исследованиях запасы гумуса повышались при использовании минимальной технологии до 4,07% (+0,1%), или валовом выражении до 105,7 т/га (+11%), при использовании нулевой технологии до 4,16% (+0,18%), в валовом выражении – 116,4 т/га (+22%). В то же время отмечается закономерное повышение структурных показателей гумуса, в том числе общего содержания углерода на 0,14% на минимальном, и 0,20% на нулевом фоне, содержания углерода лабильного на 0,20% на минимальном, 0,25% на нулевом фоне. Отмечается устойчивый рост соотношения гуминовых кислот над фульвокислотами на фонах с ресурсосберегающими технологиями, до 3,0/1 – на минимальном, и 3,2/1 – на нулевом фоне. Это характеризует более высокое поступление органических пожнивных остатков в почву, и интенсивное разложение в поверхностных слоях. При этом показатель увеличения суммарного содержания гуминовых кислот, указывает на протекание процесса гумусообразования в гуматном направлении на вариантах сокращенной обработки почвы.

Для оценки достоверности различий между вариантами технологий обработки почвы были рассчитаны значения НСР_{0,95}. Полученные значения составили: для содержания гумуса почвы – 0,36 %, для валового гумуса – 9,61 т/га, для общего углерода ($C_{\text{общ}}$) – 0,26 %, для лабильного углерода ($C_{\text{лаб}}$) – 0,09 %. Следовательно, различия между сравниваемыми вариантами считаются статистически достоверными при превышении указанных величин. Наибольшие различия между технологиями наблюдаются по показателю валового гумуса, что свидетельствует о более выраженном влиянии способа обработки почвы на накопление органического вещества.

Энергетическая оценка эффективности возделывания сельскохозяйственных культур, наряду с экономическим или статистическим анализом, заключается в соотношении количества накопленной растительным сообществом энергии с антропогенными затратами и позволяет более объективно и точно проводить это через энергетические эквиваленты, затрачиваемые на производство единицы сельскохозяйственной продукции независимо от ценовой политики. Энергетический подход представляет возможность количественно определить энергетическую оценку сельскохозяйственной продукции и технологий их возделывания [19]. Основным показателем, оказавшим влияние на энергетическую эффективность технологий возделывания (традиционная, минимальная, нулевая) в проводимых исследованиях, выступала урожайность и накопленная в ней энергия. Расходная часть баланса рассчитывалась по технологической карте возделывания культур в севообороте (пшеница яровая, рапс, горох), с учётом основных статей затрат. При этом, методы энергетической оценки технологий возделывания сельскохозяйственных культур следует ориентировать с позиций влияния их на почвенное плодородие. В частности, учитывать динамику запасов гумуса, который в чернозёмной зоне составляет около 95% энергии от общего энергопотенциала почвы [20].

Содержание энергии севооборота в разрезе изучаемых технологий рассчитывалось на основании средних коэффициентов содержания энергии в продукции сельского хозяйства: пшеница яровая – 12,0–12,5 МДж/кг, рапс – 13,0–13,5 МДж/кг, горох – 13,4–14,0 МДж/кг. При этом, наибольшее содержание энергии в продукции отмечено в севообороте по нулевой системе земледелия – 29,33 МДж/га, с превышением минимальной системы на 1,68 МДж/га (+ 6%) и традиционной системы на 3,71 МДж/га (+15%). В разрезе отдельных культур максимальный запас энергии обеспечила яровая пшеница, в пределах 25,80–33,72 МДж/га, в виду более высокой валовой продуктивности (таблица 3).

Таблица 3 – Биоэнергетическая эффективность возделывания культур плодосменного севооборота при использовании различных технологий (традиционная, минимальная, нулевая)

Фон	Культура в севообороте	Продуктивность, зерн. ед., т/га в год	Содержание энергии в продукции МДж/га	Коэфф. энергет. эффективности без учёта затрат энергии гумуса	Коэфф. энергет. эффективности с учётом затрат энергии гумуса
1. Традиционная механическая обработка почвы	Пар	-	-	-	
	Рапс	1,94	25,22	0,98	0,69
	Пшеница	2,50	30,00	1,16	0,82
	Горох,	1,60	21,44	1,16	0,73
	Пшеница	2,15	25,80	0,99	0,70
Средняя по севообороту:		2,05	25,62	1,07	0,74
2. Минимальная технология (Mini-till)	Пар	-	-	-	
	Рапс	2,16	28,08	1,12	0,87
	Пшеница	2,62	31,44	1,20	0,94
	Горох	1,69	22,65	1,22	0,88
	Пшеница	2,37	28,44	1,09	0,85
Средняя по севообороту:		2,21	27,65	1,15	0,89
3. Нулевая технология (No-till)	Пар	-	-	-	
	Рапс	2,20	28,60	1,26	1,09
	Пшеница	2,81	33,72	1,31	1,15
	Горох	1,67	22,38	1,37	1,12
	Пшеница	2,72	32,64	1,27	1,11
Средняя по севообороту:		2,35	29,33	1,30	1,12

Энергоэффективность изучаемых технологий определена как отношение энергии, накопленной в урожае, к затратам совокупной энергии (рассчитанной по технологической карте), по формуле (2).

$$\text{Коэффициент энергетической эффективности}_3 = \frac{\mathcal{E}_в}{\mathcal{E}_з} \quad (2)$$

где

$\mathcal{E}_в$ – энергия, накопленная в урожае (полученная энергия), МДж/га;

$\mathcal{E}_з$ – совокупные затраты энергии (затраченная энергия), МДж/га [14].

При этом, с целью оценки энергоэффективности расхода гумуса почвы на формирование урожая при различных технологиях земледелия, рассчитан коэффициент с учётом включения затрат энергии гумуса, в совокупные затраты энергии на формирование урожая ($\mathcal{E}_з$).

По полученным расчётным данным коэффициент энергетической эффективности без учёта затрат энергии гумуса возрастает от 1,07 при традиционной обработке до 1,15 при минимальной и 1,30 при нулевой технологии, что указывает на более рациональное использование энергетических ресурсов при сокращении механических обработок. Полученный коэффициент со значением $1,07-1,30 > 1$ показывает, что технология эффективна, урожай даёт больше энергии, чем затрачено. С учётом включения энергетических затрат гумуса различия между технологиями становятся более выраженными: коэффициент составляет 0,74 для традиционной, 0,89 для минимальной и достигает 1,12 при нулевой обработке почвы. Это подтверждает, что технологии с минимальным вмешательством в почвенный покров, в долгосрочной перспективе, способствуют не только росту продуктивности, но и сохранению энергетического потенциала почвы. В данном случае только по нулевой системе коэффициент превышает 1, что показывает эффективность технологии даже с учетом нагрузки на почву.

Обсуждение

По результатам проведенных исследований установлено, что наиболее продуктивной в севообороте выступает нулевая технология возделывания с/х культур (No-till), обеспечивающая максимальные показатели как по отдельным культурам, так и в среднем по севообороту. Средняя продуктивность севооборота составила 2,35 т/га, что выше минимального фона на 0,14 т/га (+6%) и традиционного на 0,3 т/га (+13%). Повышенная продуктивность на фонах с ресурсосберегающими системами земледелия обеспечивает максимальное валовое содержание энергии в продукции, достигающее 29,33 МДж/га в севообороте по нулевой технологии, с превышением минимальной системы на 6% и традиционной системы на 15%. В то же время, долгосрочное применение ресурсосберегающих систем земледелия на обыкновенных черноземах Северного Казахстана приводило к устойчивому повышению удельного содержания гумуса почвы и, в частности, его структурных показателей. Одним из основных факторов повышения запасов органического вещества почвы при использовании нулевых технологий является большее поступление растительного материала в виде мульчирования (соломы, пожнивных остатков, корневой массы). С тонной соломы зерновых культур в почву поступает 810 кг органического вещества, 5–14 кг – азота, 0,7–2,4 кг – фосфора, 10–17 кг калия, 9–12 кг – кальция и 0,8–3,0 кг магния. Благодаря высокому содержанию целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина она служит важным источником углерода для почвенной микробиоты [21]. Образование гумусовых кислот и их закрепление во многом определяется количеством и качеством растительного материала, поступающего в почву, гидротермическим режимом, реакцией среды, окислительно-восстановительными условиями. Трансформация органических остатков в почвах завершается в той или иной мере формированием новообразованных групп гумусовых соединений, входящих в состав лабильных [22].

Так, запасы гумуса при использовании минимальной технологии повышались до 4,07% (+0,1%) или валовом выражении до 105,7 т/га (+11%), при использовании нулевой технологии до 4,16% (+0,18%), в валовом выражении – 116,4 т/га (+22%), в сравнении с традиционной обработкой. Показатели группового состава гумуса по вариантам с нулевой и минимальной технологией возрастали закономерно балансу гумуса. По общему количеству углерода (Собщ) севообороты с ресурсосберегающими системами превысили традиционный фон на 0,14–0,20%, углерода лабильного (Слаб) на 0,20–0,25%. При этом преобладающую долю гумусовых веществ в органическом веществе занимали гуминовые кислоты (Сгк), с соотношением гуминовых кислот к фульвокислотам на фонах с ресурсосберегающими технологиями до 3,0/1 – на минимальном и 3,2/1 – нулевом фоне. Это свидетельствует о более высоком поступлении органических пожнивных остатков в почву, повышенной активности микроорганизмов почвы, и интенсивном разложении органической массы в поверхностных слоях.

Конечным показателем изучения эффективности многолетнего применения ресурсосберегающих систем земледелия в наших исследованиях выступала биоэнергетическая оценка технологий. На основании данного анализа установлено, что снижение интенсивности обработки почвы сопровождается повышением биоэнергетической эффективности агроэкосистем. Наиболее высокие значения всех анализируемых показателей характерны для технологий сокращённой обработки почвы (Mini-till, No-till), что свидетельствует о её преимуществе с точки зрения энергетической эффективности и устойчивости земледелия.

Заключение

Согласно полученным сводным данным исследования, выявлено положительное влияние многолетнего использования ресурсосберегающих систем земледелия на сохранение и восстановление запасов органического вещества почвы на обыкновенных чернозёмах Северного Казахстана. Установлено, что многолетнее использование данных систем не только приводит к общему повышению гумуса и связанных с ним показателей (углерод, гуминовые кислоты, фульвокислоты), но и имеет высокую эффективность производства, даже с учётом расходной части гумуса, требуемой для формирования урожая. Изучение группового состава гумуса на данных вариантах подтверждает глубокие положительные изменения, происходящие в почве,

и чётко согласовываются с оцениваемыми факторами образования гумуса. Полученные данные показывают, что особое внимание в процессе внедрения интенсивных технологий земледелия должно уделяться экологическим аспектам.

Вклад авторов

ОЮ: определение целей и задач исследования, разработка методологии, анализ данных и написание основной части статьи. ВВ, ЛИ: обработка экспериментальных данных, литературный обзор, анализ данных и описание, рецензирование и редактирование. Все авторы прочитали, изучили и одобрили окончательную редакцию рукописи, с учётом доработок и представленных замечаний.

Информация о финансировании

Работа выполнена в рамках программно-целевого финансирования МСХ РК BR22885719 «Разработать и внедрить устойчивые системы земледелия для рентабельного производства сельскохозяйственной продукции в условиях изменяющегося климата для различных почвенно-климатических зон Казахстана» на 2024–2026 гг.

Список литературы

- 1 Пашков, С.В., Байбусинова, С.Б. (2017). Природные и агрогенетические условия плодородия почв в Северном Казахстане. *Журнал Забайкальского государственного университета*, 23(2), 16–27. DOI: 10.21209/2227924520172321627.
- 2 Базильжанов, Е.К. (2011). Состояние пахотных земель в Казахстане. *Земельные ресурсы Казахстана*, 2(65), 16–18.
- 3 Лебедь, Л., Есеркепова, И. (2023). Экологический мониторинг возделываемых земель в национальной системе инвентаризации парниковых газов. *Гидрометеорология и экология*, 3, 156–158.
- 4 Никитин, С.Н., Куликова, А.Х., Карпов, А.В. (2015). Влияние удобрений на урожайность и биоэнергетическую эффективность технологий возделывания сельскохозяйственных культур в севообороте. *Вестник Ульяновской ГСХА*, 4(32), 45–51. DOI:10.18286/1816-4501-2015-4-45-51.
- 5 Lehman, R.M., Cambardella, C.A. et al. (2015). Understanding and Enhancing Soil Biological Health: The Solution for Reversing Soil Degradation. *Sustainability*, 7(1), 988–1027. DOI:10.3390/su7010988.
- 6 Potter, S.R., Andrews, S., Atwood, J.D. (2006). Model simulation of soil loss, nutrient loss, and change in soil organic carbon associated with crop production. USDA. *Natural Resources Conservation Service, Washington, DC*. <http://www.nrcs.usda.gov/technical/nri/ceap>.
- 7 Marriott, E.E., Wander, M. (2006). Qualitative and quantitative differences in particulate organic matter fractions in organic and conventional farming systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(7), 1527–1536. DOI: 10.1016/j.soilbio.2005.11.009.
- 8 Țopa, D.-C., Căpșună, S., Calistru, A.-E., Ailincăi, C. (2025). Sustainable Practices for Enhancing Soil Health and Crop Quality in Modern Agriculture: A Review. *Agriculture*, 15(9), 998. DOI:10.3390/agriculture15090998.
- 9 Busari, M.A., Kukal, S.S., Kaur, A., Bhatt, R., Dulazi, A.A. (2015). Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. *International soil and water conservation research*, 3(2), 119–129. DOI: 10.1016/j.iswcr.2015.05.002.
- 10 MacRae, R.J., Hill, S.B., Mehuys, G.R., Henning, J. (1990). Farm-scale agronomic and economic conversion from conventional to sustainable agriculture. *Advances in agronomy*, 43, 155–198. DOI:10.1016/S0065-2113(08)60478-2.
- 11 *Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур*. (2002). Под ред. С.О. Скокбаева. Алматы: 378.
- 12 Межгосударственный стандарт ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. (1993). Методика определение органического вещества по методу Тюрина в модификации ЦИНАО.

13 *Методика биоэнергетической оценки технологий производства продукции растениеводства.* (1983). Москва: МСХ СССР, ВАСХНИЛ, под ред. Коверина А.В.

14 *Методика расчёта и минимизации энергоемкости продукции растениеводства.* (2007). Под ред. Ловкис В.Б., Дашков В.Н. Москва: 12–14.

15 Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., David Reay, G., Robertson, P., Smith P. (2016). Climate-smart soils. *Nature*, 532(7597), 49–57. DOI:10.1038/nature17174.

16 Шеховцов, Г.А., Чайкина, Н.Н. (2018). Мониторинг плодородия почв. *Земледелие*, 6, 21–26.

17 Vikram, N., et al. (2022). Properties of Humic Acid Substances and Their Effect in Soil Quality and Plant Health. In *Humus and Humic Substances - Recent Advance, IntechOpen*. DOI:10.5772/intechopen.105803.

18 Uttam Biswas, A., Tusar Kanti, R., et al. (2025). Role of humic acid in climate change adaptation measures to enhance agricultural resilience and improve soil health: A potential review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 313, 144043. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2025.144043.

19 Булаткин, Г.А. (1997). Энергетическая эффективность земледелия и агроэкосистем: взаимосвязи и противоречия. *Агрохимия*, 3, 63–66.

20 Куликова, А.Х., Карпов, А.В., Вандышев, И.А., Тигин, В.П. (2007). Агроэкологическая оценка плодородия почв среднего Поволжья и концепция его воспроизводства. *Ульяновская ГСХА*, 2, 171.

References

1 Pashkov, S.V., Baybusinova, S.B. (2017). Prirodnye i agrogeneticheskie usloviya plodorodiya pochv v Severnom Kazahstane. *Zhurnal Zabaikal'skogo gosudarstvennogo universiteta*, 23(2), 16–27. DOI:10.21209/2227924520172321627. [in Russ].

2 Bazilzhanov, E.K. (2011). Sostoyanie pahotnyh zemel' v Kazahstane. *Zemel'nye resursy Kazahstana*, 2(65), 16–18. [in Russ].

3 Lebed, L., Eserkepova, I. (2023). Ekologicheskii monitoring vozdeleyvaemykh zemel' v nacional'noi sisteme inventarizatsii parnikovyykh gazov. *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 3, 156–158. [in Russ].

4 Nikitin, S.N., Kulikova, A.Kh., Karpov, A.V. (2015). Vliyanie udobrenii na urozhainost' i bioenergeticheskuyu effektivnost' tehnologii vozdeleyvaniya sel'skohozyaystvennykh kul'tur v sevoobroto. *Vestnik Ul'yanovskoi GSHA*, 4(32), 45–51. DOI:10.18286/1816-4501-2015-4-45-51. [in Russ].

5 Lehman, R.M., Cambardella, C.A. et al. (2015). Understanding and Enhancing Soil Biological Health: The Solution for Reversing Soil Degradation. *Sustainability*, 7(1), 988–1027. DOI:10.3390/su7010988.

6 Potter, S.R., Andrews, S., Atwood, J.D. (2006). Model simulation of soil loss, nutrient loss, and change in soil organic carbon associated with crop production. USDA. *Natural Resources Conservation Service, Washington, DC*. <http://www.nrcs.usda.gov/technical/nri/ceap>.

7 Marriott, E.E., Wander, M. (2006). Qualitative and quantitative differences in particulate organic matter fractions in organic and conventional farming systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(7), 1527–1536. DOI: 10.1016/j.soilbio.2005.11.009.

8 Țopa, D.-C., Căpșună, S., Calistru, A.-E., Ailincăi, C. (2025). Sustainable Practices for Enhancing Soil Health and Crop Quality in Modern Agriculture: A Review. *Agriculture*, 15(9), 998. DOI:10.3390/agriculture15090998.

9 Busari, M.A., Kukal, S.S., Kaur, A., Bhatt, R., Dulazi, A.A. (2015). Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. *International soil and water conservation research*, 3(2), 119–129. DOI: 10.1016/j.iswcr.2015.05.002.

10 MacRae, R.J., Hill, S.B., Mehuys, G.R., Henning, J. (1990). Farm-scale agronomic and economic conversion from conventional to sustainable agriculture. *Advances in agronomy*, 43, 155–198. DOI:10.1016/S0065-2113(08)60478-2.

11 *Методика государственного сортиспытания сельскохозяйственных культур.* (2002). Под ред. С.О. Скокбаева. Алматы: 378. [in Russ].

12 Межгосударственный стандарт GOST 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. (1993). Методика определения органического вещества по методу Тюринга в модификации ЦИНАО. [in Russ].

- 13 *Metodika bioenergeticheskoo ocenki tehnologii proizvodstva produkcii rastenievodstva*. (1983). Moskva: MSH SSSR, VASHNIL, pod red. Koverina A.V. [in Russ].
- 14 *Metodika rascheta i minimizacii energoemkosti produkcii rastenievodstva*. (2007). Pod red. Lovkis V.B., Dashkov V.N. Moskva: 12–14. [in Russ].
- 15 Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., David Reay, G., Robertson, P., Smith, P. (2016). Climate-smart soils. *Nature*, 532(7597), 49–57. DOI:10.1038/nature17174.
- 16 Shekhovtsov, G.A., Chaikina, N.N. (2018). Monitoring plodorodiya pochv. *Zemledelie*, 6, 21–26. [in Russ].
- 17 Vikram, N., et al. (2022). Properties of Humic Acid Substances and Their Effect in Soil Quality and Plant Health. In *Humus and Humic Substances - Recent Advance, IntechOpen*. DOI:10.5772/intechopen.105803.
- 18 Uttam Biswas, A., Roy, T.K., et al. (2025). Role of humic acid in climate change adaptation measures to enhance agricultural resilience and improve soil health: A potential review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 313, 144043. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2025.144043.
- 19 Bulatkin, G.A. (1997). Energeticheskaya effektivnost' zemledeliya i agroekosistem: vzaimosvyazi i protivorechiya. *Agrohimiya*, 3, 63–66. [in Russ].
- 20 Kulikova, A.Kh., Karpov, A.V., Vandyshchev, I.A., Tigin, V.P. (2007). Agroiekologicheskaya ocenka plodorodiya pochv srednego Povolzh'ya i koncepciya ego vosproizvodstva. *Ul'yanovskaya GSHA*, 2, 171. [in Russ].

**Жемісалмалы ауыспалы егісте ауыл шаруашылығы дақылдарын өсіру кезінде
топырақты өңдеудің әртүрлі технологияларының органикалық заттар балансына
және биоэнергетикалық тиімділікке әсері**

Соловьёв О.Ю., Заика В.В., Савинкина Л.И.

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Зерттеудің өзектілігі Солтүстік Қазақстан облысы топырағындағы органикалық заттардың мөлшерін тұрақтандыру және арттыру қажеттілігімен байланысты. Қазіргі уақытта өңірдегі топырақ құнарлылығы егістік жерлердің 95% астам бөлігінде төмен және орташа деңгейде (2,1–6,0%) бағаланады. Сонымен қатар, Солтүстік Қазақстан облысы бойынша 30 жыл ішіндегі топырақтағы қарашірік қоры динамикасының ұзақ мерзімді бағалау нәтижелері бастапқы 5,6–6,0% мөлшерінен 20–35% төмендегенін, ал экстенсивті егіншілік технологияларын қолдану кезінде жыл сайынғы шығын 0,4–0,6% дейін жететінін көрсетті.

Материалдар мен әдістер. Ғылыми зерттеулер бес танапты жемісалмалы ауыспалы егіс жүйесінде (сүрі жер-рапс-бидай-бұршақ-бидай) әртүрлі дәстүрлі (механикалық өңдеу), минималды және нөлдік технологиялар қолдану жағдайында жүргізілді. Зерттеу әдістемесі стационарлық жағдайда танаптық тәжірбиелер жүргізуді, сондай-ақ ауыл шаруашылық дақылдарының өнімділігін зертханалық бағалауды және алынған мәліметтерді талдауды қамтыды.

Нәтижелер. Зерттеу нәтижелері бойынша ауыспалы егісте ең жоғары өнімділікті қамтамасыз ететін жүйелер ретінде ресурсты үнемдейтін минималдық және нөлдік өңдеу технологиялары анықталды, олар агроэкожүйелердің биоэнергетикалық тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, бұл жүйелер топырақтағы органикалық заттардың оң балансын, оның минималды және топтық құрамының қолайлы көрсеткіштерін қамтамасыз ете отырып, экологиялық жүктемені төмендетеді.

Қорытынды. Кәдімгі қара топырақта егін шаруашылығының ресурсты үнемдейтін жүйелерін ұзақ қолдану ол жалпы қарашіріктің көтерілуіне мүмкіндік туғызады және оған байланысты көрсеткіштердің (көміртегі, гумин қышқылы, фульво қышқылы) және өндірістің жоғарғы көрсеткіштерін, керек десе өнімділік қалыптастыруға қажетті қарашірік шығын бөлігін есептегенде. Жүргізілген зерттеулердің практикалық маңызы – өндірістік ауқымда қолданылатын

егіншілік жүйелерінің жалпы өнімділікке және топырақ құнарлығы көрсеткіштеріне әсерін бағалау бойынша сенімді деректер алуында.

Кілт сөздер: құнарлық; жемісәлмалы ауыспалы егіс; минималды технология (Mini-till); нөлдік технология (No-till); биоэнергетикалық тиімділік.

The influence of different soil cultivation technologies on the balance of organic matter and bioenergetic efficiency of crop cultivation in crop rotation

Oleg Yu., Solovyov, Vitaly V. Zaika, Ludmila I. Savinkina

Abstract

Background and Aim. The relevance of this research lies in the need to stabilize and increase soil organic matter content in the North Kazakhstan region. Currently, soil fertility in the region is assessed as low to moderate levels (2.1–6.0%) on more than 95% of arable land. A long-term assessment of soil humus dynamics over 30 years in the North Kazakhstan region revealed a 20–35% decrease from the initial content, ranging from 5.6–6%, and an annual loss of up to 0.4–0.6% with extensive farming practices.

Materials and Methods. The research was conducted in a five-field crop rotation (fallow-rapeseed-wheat-pea-wheat) with various farming techniques traditional (mechanical tillage), minimum-tillage, and no-till. The research methodology involved field trials at a permanent facility, as well as laboratory assessment of crop productivity and data analysis.

Results. The study found that resource-saving crop rotation systems minimal tillage and no-tillage are the most productive, while also increasing the bioenergetic efficiency of agroecosystems. Furthermore, these systems ensure minimal environmental impact with a positive balance of soil organic matter and its group composition.

Conclusion. The long-term use of resource-saving farming systems on ordinary chernozems not only contributes to an overall increase in humus and related indicators (carbon, humic acids, fulvic acids), but also results in high production efficiency, even taking into account the humus consumption required for crop formation. The practical value of the conducted research lies in obtaining reliable data for assessing the impact of farming systems applied at an industrial scale on overall productivity and the effectiveness of the impact on soil fertility indicators.

Keywords: fertility; crop rotation; minimal technology (mini-till); no-till; bioenergy efficiency.