



Изучение эффективности различных систем землепользования для смягчения климата посредством измерения эмиссии парниковых газов

Кусаинова М.Д.^a, Тойшиманов М.Р.^a, Таменов Т.Б.^a, Сыздык А.Б.^a,
Джикуан Ч.^b

^a НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», пр. Абая, 8, Алматы, 050020, Республика Казахстан

^b Мичиганский государственный университет, Восточный Лансинг, 48823, Мичиган, США

АННОТАЦИЯ

Актуальность исследований состоит в использовании автоматизированной системы непрерывного измерения выбросов CO₂ из почвы - Li-8100 (Campbell Scientific) - при применении различных методов обработки почвы (без обработки, навоз и минеральные удобрения) под основные культуры (кукурузу, пшеницу, ячмень) на примере Алматинской области. В статье представлены данные, полученные учеными при проведении полевых исследований в условиях предгорной зоны. Цель заключалась в оценке эмиссии парниковых газов в пахотных темно-каштановых почвах при использовании удобрений и при применении различных видов основной обработки почв под разные культуры. В соответствии с приведенными данными можно утверждать, что из научно обоснованных представленных к исследованию видов культур и методов обработки почв все варианты с использованием навоза дали высокие показатели выбросов парниковых газов. Использование минеральных удобрений показало незначительный эффект связи между сокращением выбросов парниковых газов и вариантом без обработки почвы. В зависимости от вида все культуры показали различную степень выбросов парниковых газов при внесении удобрений, причем пшеница отреагировала наиболее сильно из-за дополнительного прироста и биомассы урожая. Мы пришли к выводу, что использование минеральных удобрений может быть подходящим способом снижения выбросов. Однако необходимо дальнейшее исследование основных механизмов и процессов, влияющих на выбросы парниковых газов, чтобы лучше понять эффекты обратной связи в ресурсосберегающем сельском хозяйстве.

Подана в редакцию:
7 декабря 2022

Принята к публикации:
28 июля 2023

Доступ онлайн:
30 августа 2023

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

почва, выбросы парниковых газов, сельское хозяйство, пахотные земли, сельскохозяйственные культуры

Для корреспонденции: Кусаинова М.Д. ✉ maira.kussainova@kaznaru.edu.kz НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», пр. Абая, 8, Алматы, 050020, Республика Казахстан

1. Введение

Поставленные в Парижском соглашении цели ограничения глобального потепления до 2,0 °С или даже 1,5 °С выше доиндустриального уровня предполагают достижение нулевых выбросов парниковых газов (ПГ) в глобальном масштабе до 2050 и 2070 г. соответственно (Аллен и др., 2019). Однако обязательства по реализации мер по снижению выбросов ПГ, представленные в Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК ООН) в качестве национально определенных вкладов, не достигают цели в 1,5 °С и приведут к потеплению на 2,5-3,0 °С к 2100 г. (IPCC, 2018).

При этом одной из основных задач, стоящих перед человечеством, является обеспечение продовольственной безопасности быстро растущего населения с меньшим воздействием на окружающую среду в условиях меняющегося климата. Экологическая неустойчивость агропродовольственных систем многогранна, но изменение биогеохимических циклов и выбросы ПГ в атмосферу были отмечены в качестве одной из основных причин как силы, разрушающие безопасное рабочее пространство планетарных границ (Springmann et al., 2018).

В статье представлены результаты исследования первого года трехгодичного опытно-полевого эксперимента по изучению эффективности различных систем землепользования для смягчения климата посредством измерения эмиссии парниковых газов, так как необходимость оценки эмиссии ПГ из сельскохозяйственных почв связана с важнейшей ролью, которую играют почвы в образовании этих газов. По разным оценкам, от 25 до 40 % ПГ имеют почвенное происхождение, что важно при рассмотрении ключевой позиции почвенного покрова в биосферном круговороте этих газов (FAOSTAT, 2019).

Цели исследования заключаются в оценке эмиссии ПГ (CO₂, CH₄ и N₂O) в пахотных темно-каштановых почвах при использовании удобрений и при применении различных видов основной обработки почв под разные культуры. Задачи исследования включали следующие вопросы:

- определение прямой эмиссии ПГ из пахотных почв разной степени окультуренности (озимая пшеница, ячмень, кукуруза) при внесении минеральных и органических удобрений;
- определение влияния минеральных и органических удобрений на прямую эмиссию ПГ из почв при выращивании пропашных культур и культур сплошного сева;
- оценка влияния различных способов основной обработки почв на прямую эмиссию ПГ на примере пахотных темно-каштановых среднесуглинистых почв.

2. Материалы и методы

2.1. Местоположение участка и почвенно-климатические условия

В 2021 г. были проведены исследования на опытном участке темно-каштановых почв Алматинской области, расположенном по географическим координатам N 43.2899766; E 77.1805571 (Рис. 1).

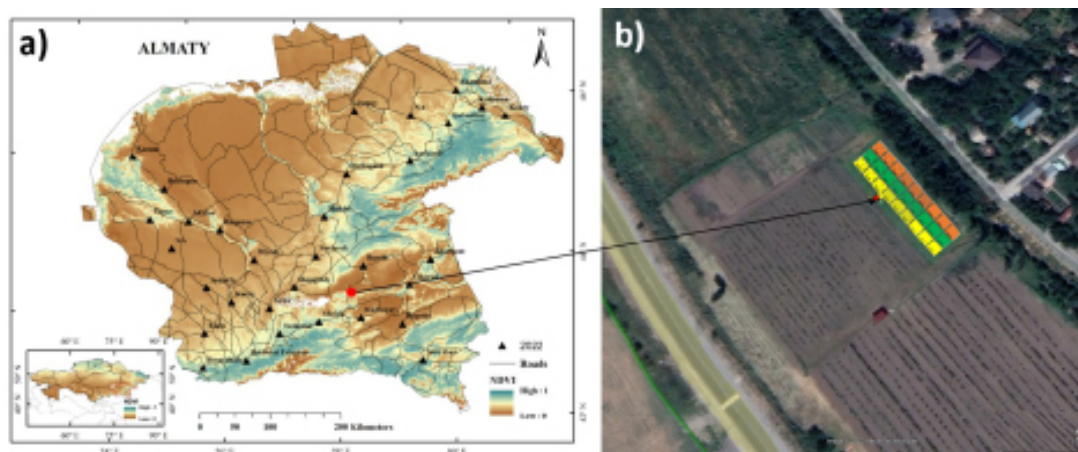


Рис. 1. Расположение исследуемого участка в Алматинской области:
а) карта высот Казахстана и Алматинской области;
в) исследуемый участок (снимок Google Earth).

Изучаемая территория расположена в предгорьях сухой сети Илийского Алатау Талгарского района Алматинской области (см. рис. 1). На территории опытного участка формирование почвенного покрова напрямую связано с наличием горного массива Заилийского Алатау. Этот массив оказывает значительное влияние на трансформацию воздушных масс и повышение абсолютных отметок местности, что способствует формированию высотной зональности почв. Кроме того, горный массив вызывает перераспределение твердого и жидкого геохимического стока на предгорной равнине.

Заилийский Алатау представлен преимущественно крутыми склонами, эрозионными формами рельефа и врезанными речными долинами. Почвообразующие породы на исследуемой территории включают элювиально-делювиальные щебнистые суглинки, покрывающие плотные палеозойские породы. На высоких предгорьях и подгорных равнинах преобладают лёссовидные отложения.

Множество рек, протекающих по территории, формируют крупные конусы выноса в предгорной части. Большинство природных ландшафтов в этом районе подверглись возделыванию, что привело к существенным изменениям и высокой вариабельности исходных характеристик почв. Результаты фоновых исследований

показали, что наиболее распространенными почвами на территории учебно-опытного участка являются темно-каштановые почвы (Haplic Kastanozems) (Рис. 2).

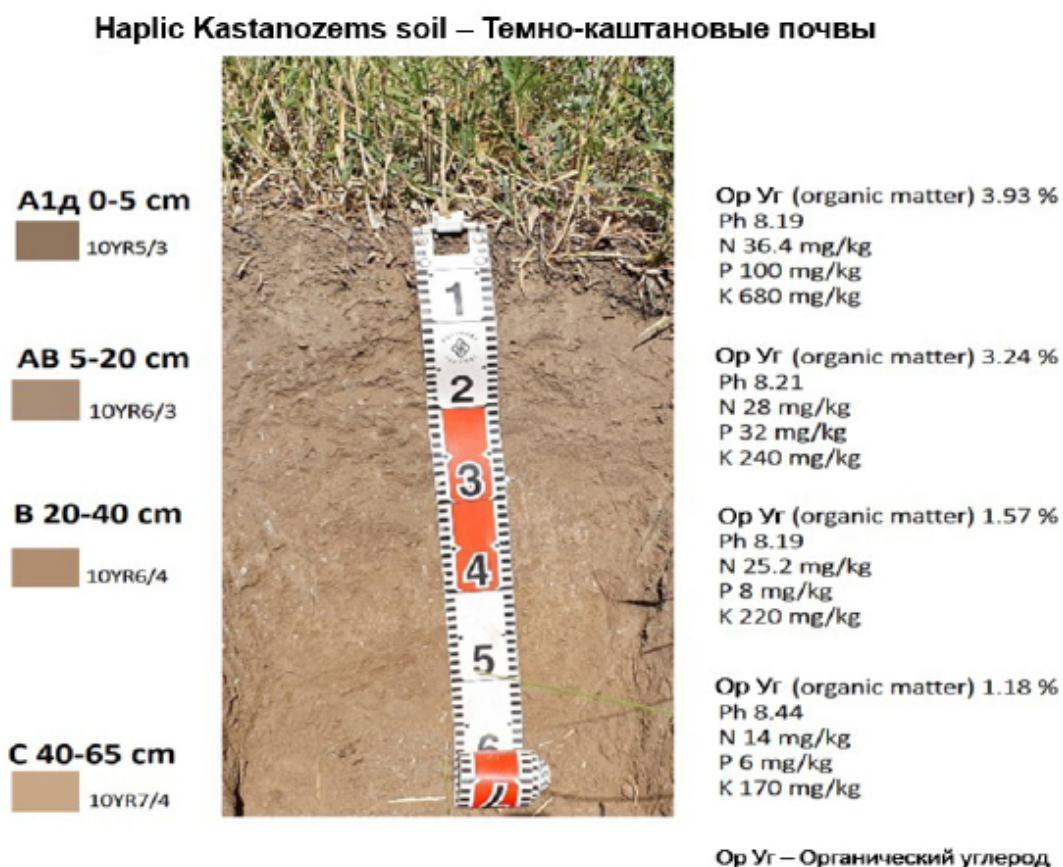


Рис. 2. Почвенный разрез, цвет почвы по таблице Манселла и общая характеристика исследуемого участка

Исследуемый участок характеризуется суровым континентальным климатом с жарким засушливым летом и обильным солнечным освещением, но с холодной зимой. В 2021 году устойчивый снежный покров на участке пришелся на конец ноября - начало декабря, его высота была неравномерной и составила в среднем 21-35 см, а период длился до 84-100 дней. Иногда из-за зимней жары снежный покров полностью растаял.

На участке наблюдаются большие колебания температуры не только в течение года, но и в течение суток. Самый холодный месяц - январь характеризуется среднемесячной многолетней отрицательной температурой $-11,4$ °С. Наиболее жаркий месяц - июль, со среднемесячной положительной температурой $+25,8$ °С. Расчетная зимняя температура воздуха самой холодной пятидневки -35 °С, а зимняя вентиляционная температура воздуха -18 °С. Средняя дата первого заморозка на участке - 15 сентября, а продолжительность отопительного периода - 174 дня при средней температуре $-3,7$ °С.

Максимальная высота снега за зиму составляет 33 см, а вес снегового покрова - 0,5 кПа (50 кгс/м²). Продолжительность периода с отрицательной среднесуточной температурой воздуха ниже 0 °С составляет 125 дней. Распределение атмосферных осадков по месяцам неравномерное, с наибольшим количеством осадков в осенне-весенний период - 34-41 мм. Количество осадков летом уменьшается и достигает 9 мм в августе. Количество осадков за ноябрь - март составляет 75 мм, а за теплый период (апрель - октябрь) - 109 мм. Максимальная скорость ветра возможна один раз в 5 лет и достигает 23 м/сек. Глубина промерзания на исследуемом участке составляет 126 см для суглинков и 166 см для супесей и песков.

2.2. Схема опыта

Для проведения научного исследования нами была использована строго определенная схема опыта. В качестве основных культур были выбраны пшеница, кукуруза и ячмень, чтобы изучить их характеристики под воздействием минерального и органического удобрения. Каждый из трех видов культур был выращен в трехкратном повторении, что обеспечило надежность результатов.

В итоге было создано три фона, каждый из которых содержал три варианта по трехкратной повторности, что в сумме составило 27 исследуемых участков (Рис. 3). Такой подход позволил получить полную картину воздействия удобрений на изучаемые культуры и минимизировать возможность ошибок в исследовании.

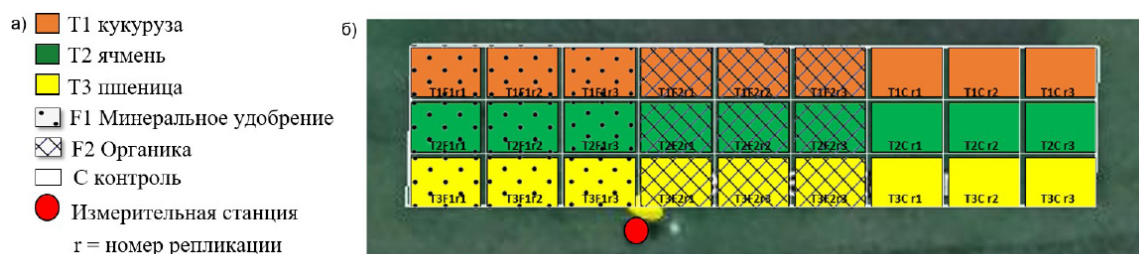


Рис. 3. Схема исследуемого участка в трехкратной повторности, с тремя различными методами землепользования: а) описание схемы; б) схема посадки культуры на поле

2.3. Аналитические методы

Для нашего исследования по рекомендации Казахского научно-исследовательского института земледелия и растениеводства (Бастаубаева и др., 2021) были выбраны семена исследуемых культур, которые были адаптированы для Алматинской области. Среди них: а) пшеница мягкая яровая, среднеспелый сорт «Женис», включен в государственный реестр в 2006 году, вегетационный период с продолжительностью 89 дней, устойчив к осыпанию и пониканию колоса;

б) ячмень яровой, среднеранний сорт «Сусын», включен в государственный реестр в 2009 г., имеет вегетационный период 84-95 дней, высота растений 95-105 см, продуктивная кустистость 3,5-4,2 шт., устойчив к полеганию и осыпанию;

в) сорт кукурузы «Казахстанский 435 СВ», включен в государственный реестр в 2002 г., среднеспелый простой межлинейный гибрид, имеет вегетационный период 125 дней и устойчив к полеганию (Сборник отечественных сортов и гибридов ..., 2022).

В качестве удобрений для схемы исследования использовали минеральное удобрение, органическое (навоз КРС) и без внесения (контроль).

Для изучения количественной оценки потоков газов на поверхности почвы исследуемого участка применялся «камерно-статический метод» (Kahmark et al., 2020). Принцип метода заключается в установке на поверхность почвы герметичных камер из различного материала. В нашем случае мы использовали поливинилхлоридные (ПВХ) трубы - термопластичный полимер винилхлорида в двух диаметрах 10 см и 22 см, а также алюминиевый литейный сплав марки АК7, диаметром 22 см. Каждую камеру устанавливали так, чтобы изучаемая растительная культура в ней не находилась, таким образом мы определяли эмиссию CO_2 с поверхности почвы с корнями растений, произрастающих вокруг камеры.

Для проведения непрерывного и точного измерения выбросов CO_2 из почвы нами использовался автоматизированный комплекс Li-Cor 8100, который является уникальным инструментом для точных измерений. Этот комплекс, произведенный компанией LI-COR Biosciences в Линкольне, штат Небраска, США, позволяет проводить отбор выбросов из почвы из камер, покрытых специальной герметичной крышкой с силиконовой пробкой, с помощью шприца-пробоотборника объемом 10 мл и переносить их в вакутейнер для последующего анализа.

Отбор проб проводился немедленно после покрытия камер, а затем через 30 и 60 минут после начала экспозиции для каждого из 27 вариантов схемы (Рис. 4). Параллельно с измерением потоков CO_2 in situ с помощью газоанализатора Li-Cor 8100 мы проводили измерение климатических данных с помощью сенсоров метеорологической станции Campbell Scientific, а также измерение температуры и влажности почвы.

Отбор проб почвенного воздуха для измерения потоков CH_4 и N_2O проводился в вакутейнеры для дальнейшего анализа в лаборатории Казахстанско-Японского инновационного центра НАО «КазНАИУ». Анализ осуществлялся на газовом хроматографе TRACE 1310 GX с тройным квадрупольным масс-спектрометром Thermo Scientific TSQ 8000 EVO с капиллярной колонкой, что обеспечивало высокую точность и достоверность результатов.

Для определения влажности почвы использовался стандартный термостатно-весовой метод, что также позволяло получать точные и надежные данные, исходя из которых мы смогли сделать ценные научные выводы о влиянии различных факторов на выбросы газов из почвы.



Рис. 4. Полевые работы по отбору проб почвенных выбросов ПГ: а) установленный на поле автоматизированный комплекс Li-Cor 8100; б) отбор образцов с помощью шприца; в) перемещение образца в вакутейнер; г) метеорологическая станция и почвенные кабели, подключенные к аккумулятору и солнечной панели.

В научно-исследовательской работе применялись следующие методики исследования почв: общий гумус определялся по И.В. Тюрину (СТ РК 3477-2019, 2019); определение органического вещества (ГОСТ 26213-91, 1992), легкогидролизующий азот определяется по методу И.В. Тюрина и М.М. Кононовой (Определение легкогидролизующего азота ..., 2001); нитратный азот - ионометрическим методом (ГОСТ 26951-86, 1986); подвижный фосфор по методу Б.П. Мачигина (ГОСТ 26205-91, 1992) и подвижный калий по методу И.Г. Важенина (ГОСТ 26205-91, 1992); структурно-агрегатный состав по Н.И. Саввинову сухим просеиванием (ГОСТ 17.4.4.02-84, 2008); высушивание почвенных проб до постоянного веса.

Определение гранулометрического состава почв проводили по методу Качинского, который основан на определении доли частиц различных размеров в образце грунта, что позволяет оценить его физико-механические свойства и перспективы использования при внесении различных видов удобрений.

Отбор почвенных проб проводился на глубину до 0,5 м по слоям через каждые 10 см. Отбор образцов выбросов с почвы осуществляли 2 раза в месяц с 27 статических камер, расположенных на экспериментальном участке.

3. Результаты исследования

На исследуемом участке наблюдается гетерогенный гранулометрический состав почвы, который определяется наличием суглинков и глинистых аллювиально-проаллювиальных отложений. Такая почва обладает неоднородной структурой, что влечет за собой ряд неблагоприятных физических свойств. Прежде всего, значительная доля глинистых минералов в почве обуславливает высокую адгезию частиц, что приводит к уплотнению почвенного слоя и его низкой воздухопроницаемости. Это, в свою очередь, может привести к нарушению газообмена и усложнить жизнедеятельность микроорганизмов и корневой системы растений.

Также следует отметить, что суглинки и глины, обладающие высокой пластичностью, склонны к промерзанию при высыхании, что может привести к повреждению корней растений и обнажению почвенного слоя. Кроме того, высокая устойчивость почвы при вспашке и резкость поверхности обусловлены ее высокой плотностью и низкой пористостью. Это, в свою очередь, затрудняет проникновение воды в почву и может вызывать проблемы с орошением и увлажнением почвы.

Таким образом, гранулометрический состав почвы исследуемого участка, состоящий из суглинков и глин, обуславливает ряд неблагоприятных физических свойств, которые могут оказать негативное влияние на качество и урожайность почвы (таблица 1, рис. 5). После сортировки частиц грунта в соответствии с их размером по методу Качинского мы определили долю частиц различных фракций, таких как песок, ил и глина. Для этого использовали треугольник Ферре, схему, которая позволяет установить процентное соотношение частиц разных фракций в грунте на основе их размеров (см. рис. 5).

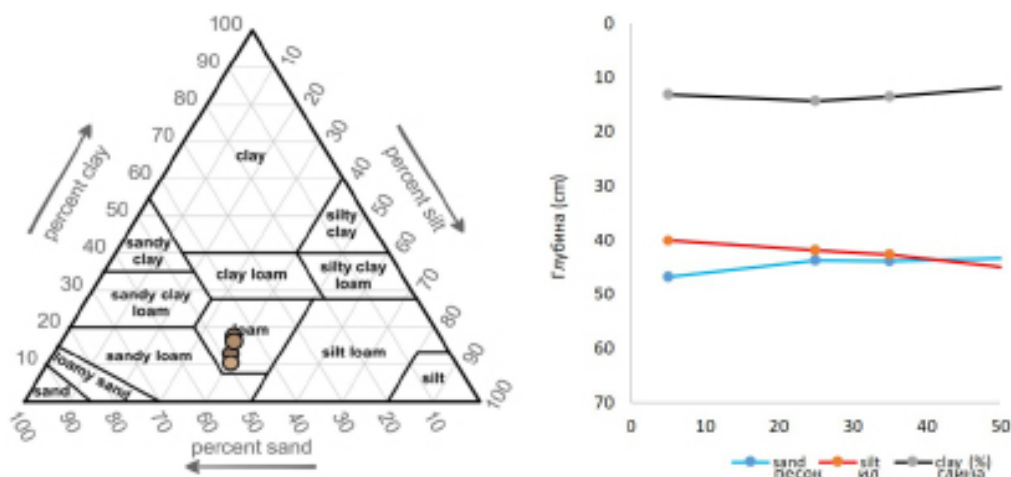


Рис. 5. Гранулометрический состав почвы по методу треугольника Ферре

Таблица 1. Гранулометрический состав темно-каштановых почв участка, 2021 г

Место отбора, глубина, см	А.С.Н. % H ₂ O	Содержание фракции в % на абсолютную сухую почву							3-х Фракции <0.01
		Размеры фракции, мм							
		Песок		Пыль			Ил		
0-5	2,26	1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0.001		
6-24	1,8	10,886	35,912	19,644	10,231	10,231	13,096	33,558	
25-35	1,6	18,615	25,173	24,033	10,591	7,332	14,257	32,179	
55-65	1,46	18,801	25,102	28,049	4,065	10,569	13,415	28,049	
		26,655	17,11	27,603	7,307	12,178	10,148	29,633	

Для анализа структурного состава почвы исследуемого участка был применен метод Н.И. Саввинова, который основывается на сухом просеивании. Результаты показали, что под такими агрокультурами как пшеница, ячмень и кукуруза структурно-агрегатный состав почвы находится в хорошем состоянии. Наиболее благоприятные показатели структурности были зафиксированы в посевах пшеницы и ячменя. Коэффициент структурности (Кстр) темно-каштановой почвы под агрокультурами на глубине 0-10 см составил от 1,94 (травосмесь) до 2,47 (ячмень), а на глубине 10-30 см - хороший. Наибольший Кстр отмечен в посевах пшеницы. Это связано с тем, что корни, пронизывающие почву, находятся в верхнем слое, что делает его более структурированным.

Исследования также выявили, что под пшеницей находится 60,2 % агрономически ценных фракций, под ячменем - 67,78 %, а под кукурузой - 55,65 %. Количество агрономически ценных агрегатов и Кстр понижаются на глубине 10-20 и 20-30 см. Таким образом, исследования показали, что агрокультуры благоприятно влияют на формирование агрономически ценной структуры почвы в слое 0-30 см. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации агротехники на данном участке, что может привести к повышению урожайности и качества сельскохозяйственной продукции.

Содержание органического вещества в темно-каштановых почвах исследуемого участка в слое (0-5 см) достигает 2-3 %, что характеризует его как почву высокого уровня плодородия. Общее содержание азота в почве колеблется в диапазоне от 14 до 29,2 %, что свидетельствует о достаточной высокой удобренности и потенциальной способности выращивать различные виды культурных растений. Важный показатель фосфора в почве достигает 0,205 %, что говорит о наличии определенного запаса этого элемента, необходимого для полноценного роста растений. Калий, в свою очередь, содержится в количестве от 1,19 до 2,1 %, что характеризует данную почву как сравнительно богатую этим элементом. Содержание подвижного фосфора, однако, было разнообразным и составляло от 6 до 100 мг/кг. Это указывает на среднее обеспечение почвы этим элементом, который является ключевым для обеспечения нормального роста и развития растительных организмов (таблица 2).

Таблица 2. Химический состав темно-каштановых почв исследуемого участка, 2021 г

Глубина отбора образца почвы	Определяемые показатели					
	Общий Гумус, %	Подвижные формы			pH	CO ₂ , %
		Азот, мг/кг	Фосфор, мг/кг	Калий, мг/кг		
0-5	3,93	36,4	100	680	8,19	1,39
6-24	3,24	28	32	240	8,21	0,38
25-35	1,57	25,2	8	220	8,19	0,31
55-65	1,18	14	6	170	8,44	0,53

Анализ содержания азота в почве имеет важное значение для изучения ее свойств и определения ее удобренности. Согласно результатам исследования, общее содержание азота в слое 0-24 см составляет 3,93 %, что соответствует норме (Иорганский и др., 2017). Однако в слоях, находящихся ниже этого уровня, наблюдается уменьшение содержания азота. Следует отметить, что в связи с

высоким содержанием углерода в почве, отношение углерода к общему азоту также высокое. Поэтому концентрация углерода колеблется в пределах 1,39-0,42 см. Такие результаты объясняются тем, что углерод в почве прочно связан с азотом. Кроме того, количество CO_2 в почве может варьироваться в зависимости от ее физических и водно-физических свойств, а также агрегатного состава. Исследования показали, что светло- и темно-каштановые почвы обладают хорошей макроструктурой, что также зависит от их физических свойств.

В целом, анализ содержания азота и углерода в почве имеет важное значение для изучения ее свойств и определения удобренности. На основе этих данных можно разработать рекомендации по оптимизации использования удобрений для повышения качества и урожайности сельскохозяйственных культур.

4. Обсуждение результатов

Одной из основных причин выбросов парниковых газов в сельском хозяйстве является использование химических удобрений, которые содержат азотные соединения. Данные исследований по выбросам ПГ из сельскохозяйственных почв (Smagulova et al., 2017), проведенных учеными Казахстана и США в различных районах Казахстана, свидетельствуют о том, что главным источником этих выбросов является использование удобрений. Удобрения в процессе соединения взаимодействуют с почвой и выделяют в атмосферу газы, такие как оксид азота и аммиак. Кроме того, при сжигании соломы и других растительных остатков также выделяются парниковые газы.

Исследования показывают, что в Казахстане выбросы ПГ из сельского хозяйства составляют около 20 % от общего объема выбросов в стране. В России эта цифра достигает 10 %, по данным исследований выбросов парниковых газов от сельскохозяйственных почв в России (Romanovskaya et al, 2020), проведенных российскими учеными, которые установили, что главными источниками выбросов ПГ с возделываемых почв в России являются использование удобрений и пахота почвы. В Беларуси выбросы ПГ из сельского хозяйства составляют около 8 % от общего объема выбросов в стране. В Украине этот показатель составляет 7 %; по результатам исследования, проведенного украинскими учеными, было установлено, что главным источником выбросов ПГ с возделываемых почв в Украине также является использование удобрений.

Для решения этой проблемы сельскохозяйственные предприятия должны перейти на более эффективные методы управления почвой и использования удобрений. Одним из таких методов является использование агротехнологий (Кусаинова и др., 2023), которые позволяют уменьшить применение химических

удобрений и сохранить плодородие почвы. Кроме того, можно использовать более эффективные методы утилизации растительных остатков, такие как компостирование, вместо их сжигания. По данным исследований выбросов метана и закиси азота с орошаемых рисовых полей в Центральной Азии (Апрети и др., 2012), проведенных учеными из Казахстана и Германии, было обнаружено, что эти выбросы могут быть снижены за счет использования специальных методов обработки почвы и управления водой. Исследование по оценке выбросов метана от кишечной ферментации крупного рогатого скота в Казахстане, проведенное казахстанскими учеными, показало, что эти выбросы могут быть снижены за счет изменения рациона животных и улучшения кормовых растений (Методические указания по расчету выбросов ..., 2010).

В целом, сокращение выбросов ПГ из сельского хозяйства является важной задачей, которая требует совместных усилий сельскохозяйственных предприятий, правительств и научных организаций. Более эффективное управление почвой и использование удобрений могут существенно сократить выбросы ПГ, что будет способствовать сохранению окружающей среды и улучшению качества жизни людей.

5. Заключение

На основе данных результатов научно-исследовательских работ в 2021 г. по измерению выбросов ПГ с использованием статических установок для оценки ПГ (CO_2 , CH_4 , N_2O) при возделывании кукурузы, пшеницы, ячменя с использованием фона минерального, органического удобрения и без внесения на пахотных полях Алматинской области можно сделать следующие выводы.

1. Использование и оценка различных приборов по сбору и анализу выбросов ПГ для Казахстана является новым начинанием. В исследовании были использованы различные методы измерения выбросов, но на сегодняшний день утвердительная методика все еще изучается, поскольку существует ряд факторов, влияющих на конечный результат. В ходе исследований появлялись спорные вопросы, как например: следует ли срезать растения каждый раз перед измерением эмиссии; следует ли закрывать камеру светоотражательным материалом или полностью крышкой; какой диаметр камеры более подходит для измерения эмиссии. Несмотря на это, мы проводим исследования и полученные результаты показывают, что на период весны и лета выбросы были незначительны в сравнении с тремя вариантами схемы. Сравнительно высокий результат показал лишь вариант с внесением органического навоза.

2. Озимая пшеница, ячмень и кукуруза являются основными посевными культурами в Казахстане, на основе которых можно определить и высчитать влияние выбросов ПГ на изменение климата. Так как исследования еще

проводятся и ежемесячно 2 раза снимаются и отбираются образцы, в результате мы можем сделать регрессию влияния парниковых газов.

3. Использование уникальных приборов дает возможность проводить исследования на международном уровне. Конечно, для нас методика еще только находится в стадии практического изучения. Но в результате в перспективе мы сможем сотрудничать со многими учеными мира в области исследований эмиссии ПГ в сельском хозяйстве, а именно в растениеводстве.

Снижение выбросов парниковых газов за счет оптимального управления питательными веществами, водой и органическими отходами на пахотных землях не приведет к снижению урожайности и будет способствовать переходу растениеводства на устойчивую, высокоэффективную и экологически безопасную траекторию. Неустановленные синергии или компромиссы между методами смягчения последствий и неполный учет затрат и выгод могут быть ограничениями для точной оценки сокращения выбросов ПГ.

Несмотря на эти ограничения и неопределенности, данное первоначальное исследование представляет собой прозрачную и полезную справочную информацию для лиц, принимающих решения, предлагающую осуществимые подходы к ускорению смягчения последствий выбросов ПГ и секвестрации почвенного углерода на пахотных землях Казахстана в соответствии с национальными целями углеродной нейтральности и продовольственной безопасности.

Информация о финансировании

Данное исследование осуществлено в рамках проекта ГФ МОН РК на 2021-2023 гг. по теме: "Оценка эффективности различных систем землепользования для смягчения изменения климата посредством снижения выброса парниковых газов и увеличения альбедо" (ИРН: AP09057853).

Список литературы

- Аллен, М., Антви-Аджей, П., Арагон-Дюран, Ф., Бабикер, М., Бертольди, П., Бинд, М., Браун, С., Бакеридж, С., Камиллони, И., Картрайт, А., Крамер, В. (2019). Техническое резюме: Глобальное потепление на уровне 1,5 °С. Специальный доклад МГЭИК о последствиях глобального потепления на 1,5 °С выше доиндустриального уровня и связанных с этим путей глобальных выбросов парниковых газов в контексте усиления глобального реагирования на угрозу изменения климата, устойчивого развития и усилий по ликвидации нищеты. Межправительственная группа экспертов по изменению климата. Дата обращения 15.10.20. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2018/12/SR15_TS_High_Res.pdf
- Апрети, Д.С., Дхар, С., Хонгмин, Д., Кимбал, Б.А., Гарг, А., Ападхиэй, Д. (2012). Технологии для смягчения последствий изменения климата. Серия Руководств по ТНА. Сельскохозяйственный сектор. Центр ЮНЕП В Рисо по вопросам энергии климата и устойчивого развития. Дата обращения 05.08.2021. <https://tech-action.unepccc.org/wp-content/uploads/sites/2/2019/06/5-technologies-for-climate-change-mitigation-agriculture-russian-final-2.pdf>
- Бастаубаева, Ш.О., Хидиров, А.Э., Башабаева, Б.М., Жапаев, Р.К., Рсалиев, Ш.С., Жундибаев, К.К. и др. (2021). Рекомендации по проведению весенне-полевых работ на юго-востоке Казахстана в 2021 году. Алматы: ТОО «Асыл кітап (Баспа уйі)».

- ГОСТ 26951-86 (1986). Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом. М.: Издательство стандартов.
- ГОСТ 26205-91 (1992). Определение подвижных соединений фосфора и калия в карбонатных почвах по методу Мачигина в модификации ЦИНАО. М.: Издательство стандартов.
- ГОСТ 26213-91 (1992). Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Издательство стандартов.
- ГОСТ 17.4.3.01-83 (2004). Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. М.: ИПК Издательство стандартов.
- ГОСТ 17.4.4.02-84 (2008). Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. М.: Стандартинформ.
- Иорганский, А.И., Есимбеков, М.Б., Тымакбаева, С.А., Рахметжанова, А.А., Коптылеу, М.А. (2017). Обеспеченность пахотных почв Илийского Алатау подвижными элементами минерального питания и ее оптимизация применением минеральных удобрений под ведущие культуры региона (на примере тестового хозяйства ТОО «Байсерке-Агро» Талгарского района Алматинской области). *Почвоведение и агрохимия*, 4, 27-37.
- Кусаинова М. Д., Таменов Т. Б., Тойшиманов М. Р., Сыздык А. Б., Искакова Г., Нургали Н.Д. Динамический мониторинг NDVI в агрономических испытаниях агро культур с использованием беспилотного летательного аппарата. № 2(117) (2023): *Вестник науки "Казахского агротехнического исследовательского университета им С. Сейфуллина" / Сельскохозяйственные науки* [https://doi.org/10.51452/kazatu.2023.2\(117\).1386](https://doi.org/10.51452/kazatu.2023.2(117).1386)
- Методические указания по расчету выбросов парниковых газов в атмосферу от домашнего скота: внутренняя ферментация и навоз (2010). Дата обращения 05.11.2020. https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30935916
- Определение легкогидролизуемого азота по методу И.В. Тюрина и М.М. Кононовой (2001). *Практикум по агрохимии* (ред. Минеев В.Г.). М.: Изд-во МГУ.
- Сборник отечественных сортов и гибридов сельскохозяйственных культур, используемых в Республике Казахстан. НАО НАНОЦ (2022). Нур-Султан: НАО «КазНАИУ».
- СТ РК 3477-2019 (2019). Почвы. Определение гумуса по методу И.В. Тюрина. Дата обращения 10.09.2019. https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=39003906
- FAOSTAT (2019). Сельскохозяйственные данные. Дата обращения 21.10.2021. <http://faostat.fao.org/faostat/collections?version=ext&hasbulk=0&subset=agriculture>
- Instruction manual for the LI-8100 and LI-8150 Automated Soil CO₂ Flux System, LI-COR Biosciences, Lincoln, NE USA. Дата обращения: 21.10.2021. <https://www.licor.com/env/support/LI-8100/home.html>
- IPCC (2018). Summary for Policymakers. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* (Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.-O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P.R., Pirani, A., Moufouma-Okia, W., Péan, C., Pidcock, R., Connors, S., Matthews, J.B.R., Chen, Y., Zhou, X., Gomis, M.I., Lonnoy, E., Maycock, T., Tignor, M. and Waterfield T. (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3-24. doi:10.1017/9781009157940.001
- Kahmark, K., N. Millar, and G. P. Robertson (2020). Static chamber method for measuring greenhouse gas fluxes. *KBS LTER Special Publication. Zenodo*. <http://doi.org/10.5281/zenodo.3629774>
- Romanovskaya, A.A., Korotkov, V.N., Polumieva, P.D., Trunov, A.A., Vertyankina, V.Y., Karaban, R.T. (2020). Greenhouse gas fluxes and mitigation potential for managed lands in the Russian Federation. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 25(8), 661-687. DOI:10.1007/s11027-019-09885-2
- Smagulova, S.D., Adil, J., Tanzharikova, A., & Imashev, A. (2017). The Economic Impact of the Energy and Agricultural Complex on Greenhouse Gas Emissions in Kazakhstan. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 7(4), 252-259.

Springmann, M., Clark, M., Mason-D’Croz, D., Wiebe, K., Bodirsky, B.L., Lassaletta, L., Wim de Vries, Vermeulen, S.J., Herrero, M., Carlson, K.M., Jonell, M., Troell, M., DeClerk, F., Gordon, L.J., Zurayk, R., Scarborough, P., Rayner, M., Loken, B., Fanzo, J., Godfray, H.C.J., Tilman, D., Rockström, J., Willet, W. (2018). Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature*, 562(7728), 519-525. doi: 10.1038/s41586-018-0594-0.

STUDYING THE CLIMATE MITIGATION EFFICIENCY OF VARIOUS LAND-USE SYSTEMS BY MEASURING GREENHOUSE GAS EMISSIONS

Kussainova M.D.^a , Toishimanov M.R.^b , Tamenov T.B.^a , Syzdyk A.B.^a 
Jiquan Ch.^b 

^a NJSC "Kazakh National Agrarian Research University", Abay Ave., 8, Almaty, 050020, Republic of Kazakhstan

^b Michigan State University, East Lansing, Michigan 48823, USA

Corresponding author: maira.kussainova@kaznaru.edu.kz

<https://doi.org/10.29258/CAJWR/2023-R1.v9-2/17-34.rus>

ABSTRACT

The relevance of the research lies in the application of the Li-8100 (Campbell Scientific) au-tomated system for continuous measurement of CO₂ emissions from soil corresponding to various cultivation techniques (no tillage, application of manure-based and mineral fertiliz-ers) and various main crops (corn, wheat, rye) in Almaty Region. The article presents the field research data obtained in the foothill zone with the aim of assessing GHG emissions from arable light-dark chestnut soils while using different fertilizers, types of basic tillage, and crops. In accordance with the data presented, it can be argued that of the scientifically substantiated types of crops and soil cultivation methods studied within the framework of this research, all manure-based options demonstrated high GHG emission values. The use of mineral fertilizers showed insignificant association between greenhouse gas emission reduc-tion and the no tillage option. Different crops showed varying degrees of GHG emission re-duction depending on fertilizer application; yet, wheat responded most strongly due to addi-tional biomass and yield growth. The research suggests the application of mineral fertilizers as a potential appropriate way to cut GHG emissions. However, further investigation is nec-essary to study the underlying mechanisms and processes influencing GHG and better under-stand the feedback effects in resource-efficient (conservation) agriculture.

ARTICLE HISTORY

Received: December 7, 2022

Accepted: July 28, 2023

Published: August 30, 2023

KEYWORDS

soil, greenhouse gas (GHG) emissions, agriculture, winter wheat, barley, corn

References

- Allen, M., Antwi-Agyei, P., Aragon-Durand, F., Babiker, M., Bertoldi, P., Bind, M., Brown, S., Buckridge, S., Camilloni, I., Cartwright, A., Cramer, W. (2019). Technical Summary: Global warming of 1.5 C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5 C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Date of access: 15.10.20. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2018/12/SR15_TS_High_Res.pdf
- Apreti, D.S., Dhar, S., Hongmin, D., Kimbal, B.A., Garg, A., Apadhiej, D. (2012). Seriya rukovodstva Tekhnologii dlya smyagcheniya posledstviy izmeneniya klimata. [Technologies for Climate Change Mitigation. TNA Guidebook Series. Agricultural Sector. UNEP-Riso Centre on Energy, Climate and Sustainable Development] // Sel'skohozyajstvennyj sektor. Centr YUNEP V Riso po voprosam energii klimata i ustojchivogo razvitiya - 166. [in Russian]
- Bastaubaeva SH. O., Hidirov A.E., Bashabaeva B.M. i dr. (2021). Rekomendacii po provedeniyu vesenne-polevyh работ na yugo-vostoke Kazakhstana v 2021 godu. Almaty. [Guidelines for Conducting Spring Field Work in the Southeast of Kazakhstan in 2021] // LLP «Asyl kitap (Baspa uji)», 2021. - 28. [in Russian]
- Sbornik otechestvennyh sortov i gibridov sel'skohozyajstvennyh kul'tur, ispol'zuemyh v Respublike Kazahstan [Collection of Domestic Varieties and Hybrids of Agricultural Crops Used in the Republic of Kazakhstan] // NAO NANOC. - Nur-Sultan: NAO «KazNARU», 2022. - 272. [in Russian]
- GOST 26213-91. Pochvy Metody opredeleniya organicheskogo veshchestva Opredelenie legkogidrolizuemogo azota po metodu Tyurina i Kononovoj. *Praktikum po agrohimii*: pod redakciej Mineeva [Soils. Methods of determining organic matter. Determination of easily hydrolyzable nitrogen using the Tyurin and Kononova method. *Practicum on Agrochemistry*: edited by Mineev], 2001. [in Russian]
- GOST 26951-86 Opredelenie nitratov ionometricheskim metodom [Determination of Nitrate Ions by Ionometric Method]. [in Russian]
- GOST 26205-91. Opredelenie podvizhnogo fosfora i kaliya v karbonatnyh pochvah po metodu Machigina v modifikacii CINAO [Determination of mobile phosphorus and potassium in carbonate soils using the modified CINAO method according to Machigin]. [in Russian]
- GOST 17.4.3.01-83. Ohrana prirody. Pochvy. Obschchie trebovaniya k otboru prob [Nature Conservation. Soils. General Requirements for Sample Selection]. [in Russian]
- GOST 17.4.4.02-84. Ohrana prirody. Pochvy. Metody otbora i podgotovki prob dlya himicheskogo, bakteriologicheskogo, gel'mintologicheskogo analiza [Nature Conservation. Soils. Methods of Sampling and Preparation of Samples for Chemical, Bacteriological, and Helminthological Analysis]. [in Russian]
- IPCC, 2018: Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press.
- Iorganskij A.I., Esimbekov M.B., Tymakbaeva S.A., Rahmetzhanova A.A., Koptyleu M.A. (2017). Obespechennost' pahotnyh pochv Ilijskogo Alatau podvizhnymi elementami mineral'nogo pitaniya i ee optimizaciya primeneniem mineral'nyh udobrenij pod vedushchie kul'tury regiona (na primere testovogo hozyajstva - TOO «Bajserke-Agro» Talgarskogo rajona Almatinskoj oblasti) [Fertility of mountain soils of the Ile-Alatau with mobile elements of mineral nutrition and its optimization using mineral fertilizers for the leading crops of the region (using the example of the experimental farm - LLP 'Bayserke-Agro' in Talgar District of Almaty Region)]. *Pochvovedenie i agrohimiya. - Soil science and agrochemistry* V4. - 2017. - 27-37. [in Russian]

- Instruction manual for the LI-8100 and LI-8150 Automated Soil CO₂ Flux System, LI-COR Biosciences, Lincoln, NE USA <https://www.licor.com/env/support/LI-8100/home.html>
- Kahmark, K., N. Millar, and G. P. Robertson. (2020) Static chamber method for measuring greenhouse gas fluxes. *KBS LTER Special Publication*. - 15 p.
- Kussainova M. D., Tamenov T. B., Tojshimanov M. R., Syzdyq A. B., Iskakova G., Nurgali N. D. Dinamicheskij monitoring NDVI v agronomicheskijh ispytaniyah agro kul'tur s ispol'zovaniem bespilotnogo letatel'nogo apparata [Dynamic monitoring of NDVI in agronomic testing of agro crops using an unmanned aerial vehicle]. № 2(117) (2023): Vestnik nauki "Kazahskogo agrotehnicheskogo issledovatel'skogo universiteta im S. Seifullina" / Sel'skohozjajstvennyye nauki 1 Chast'- Bulletin of science of Seifullin Kazakh agrotechnical research university/Agricultural sciences. DOI: [https://doi.org/10.51452/kazatu.2023.2\(117\).1386](https://doi.org/10.51452/kazatu.2023.2(117).1386) [in Russian]
- Metodicheskie ukazaniya po raschetu vybrosov parnikovyh gazov v atmosferu ot domashnego skota: vnutrennyaya fermentaciya i navoz [Guidelines for Calculating Greenhouse Gas Emissions into the Atmosphere from Domestic Livestock: Enteric Fermentation and Manure] (2010). 5/11/2010. https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30935916. [in Russian]
- Romanovskaya A.A., Korotkov V.N., Polumieva P.D., Trunov A.A., Vertyankina V.Y., Karaban R.T. (2019). Greenhouse gas fluxes and mitigation potential for managed lands in the Russian Federation. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 25(8) DOI:10.1007/s11027-019-09885-2.
- Springmann M., Clark M., Mason-D'Croz D., Wiebe K., Bodirsky B. L., Lassaletta L., de Vries W., Vermeulen S. J., Herrero M., Carlson K. M., Jonell M., Troell M., DeClerk F., Gordon L. J., Zurayk R., Scarborough P., Rayner M., Loken B., Fanzo J., Godfray H. C. J., Tilman D., Rockström J., Willet W. (2018). Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature*. 562: 519-525 p.
- ST RK 3477-2019 «Pochvy. Opređenje gumusa po metodu I.V. Tyurina» [Soils. Determination of humus according to the method of I.V. Tyurin]. [in Russian]
- Smagulova, S.D., Adil, J., Tanzharikova, A., & Imashev, A. (2017). The Economic Impact of the Energy and Agricultural Complex on Greenhouse Gas Emissions in Kazakhstan. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 7(4), 252-259. Retrieved from <https://www.econjournals.com/index.php/ijeep/article/view/5412>.
- FAOSTAT, 2019. FAOSTAT Sel'skohozyajstvennyj dannye [Agricultural data]. <http://faostat.fao.org/faostat/collections?version=ext&hasbulk=0&subset=agriculture> (Date of access: 21.10.2021). [in Russian]