

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук
(УФИЦ РАН)

Уфимский институт биологии - обособленное структурное подразделение
Федерального государственного бюджетного научного учреждения
Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии
наук (УИБ УФИЦ РАН)

На правах рукописи

Айвазян Михаил Михайлович

Органическое вещество почв в различных агроэкосистемах Южного
Предуралья при развитии эрозионных процессов

Специальность: 1.5.19 – почвоведение

НАУЧНЫЙ ДОКЛАД

Уфа – 2025

Работа выполнена в лаборатории почвоведения Уфимского Института биологии – обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (УИБ УФИЦ РАН) 2021–2025 гг.

Научный руководитель:

Комиссаров Михаил Александрович
доктор биологических наук,
профессор, ведущий научный
сотрудник лаборатории почвоведения
Уфимского Института биологии –
обособленного структурного
подразделения Федерального
государственного бюджетного
научного учреждения Уфимского
федерального исследовательского
центра Российской академии наук

Рецензенты:

Хасанов Айрат Науратович
Кандидат биологических наук, доцент
кафедры почвоведения, агрохимии и
точного земледелия факультета
агротехнологий и лесного хозяйства
ФГБОУ ВО «Башкирский
государственный аграрный
университет

Зайцев Глеб Анатольевич
доктор биологических наук,
профессор, ведущий научный
сотрудник лаборатории лесоведения
Уфимского Института биологии –
обособленного структурного
подразделения Федерального
государственного бюджетного
научного учреждения Уфимского
федерального исследовательского
центра Российской академии наук

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Почвенное органическое вещество (ПОВ) является основным элементом глобального цикла углерода в окружающей среде. Органическое вещество почв поддерживает ключевые функции почвы, поскольку оно имеет решающее значение для стабилизации структуры почвы, удержания и высвобождения питательных веществ для растений. Потеря ПОВ отрицательно сказывается на доступности биогенных элементов, т.е. на урожайности сельскохозяйственных культур, а также влияет на изменение климата. При трансформации ПОВ в атмосферу выделяются парниковые газы, прежде всего CO₂. Безусловно поведение ПОВ в почвах, подверженным эрозионным процессам будет иметь определенную специфику. Известно, что результатом эрозии становятся не только прямые потери почвы (в том числе ПОВ) и снижение продуктивности сельскохозяйственных земель, в том числе и урожайности культур; эрозия приводит также к заилению и ухудшению качества воды в аквабиоценозах. Проблема эрозии почв затрагивает многие регионы России и Республика Башкортостан (РБ) не исключение.

Цель работы: выявить специфику состояния ПОВ в почвах различных агроэкосистем Южного Предуралья подверженных эрозионным процессам.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи:**

1. Определить содержание, запасы и потенциал ПОВ в почвах пахотных, лесных и степных экосистем;
2. Оценить влияние развития водной эрозии в различных элементарных ландшафтах (водораздел, склон, зона аккумуляции) на состояние ПОВ;
3. Выявить взаимосвязи ПОВ с основными водно-физическими свойствами почв (структурой, гранулометрическим составом, гидрологическими константами и т.д.)

Объекты исследования. Исследования проводили в Республике Башкортостан (РБ), в двух муниципальных районах: Мишкинском и Давлекановском. Участки исследований по природно-климатическому районированию относятся к Южному Предуралью. На всей территории модельного участка «Мишкино» абсолютно доминируют серые лесные почвы. На участке «Ковыльная степь» преобладают черноземы карбонатные и остаточно-карбонатные среднечеткие

Методология и методы исследования. Проведение полевых исследований и отбор почвенных образцов проводили согласно нормативному стандарту ГОСТ Р 58595-

2019 (2019), разработанного Федеральным государственным бюджетным научным учреждением «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова» (ФГБНУ «ВНИИ агрохимии»). Данный стандарт распространяется на отбор проб пахотных земель, почв сенокосов, лесных питомников и устанавливает методы их отбора при агрохимическом и эколого-токсикологическом обследовании.

Агрохимические анализы. Определение рН водной и солевой вытяжек определяли потенциометрически. Азот щелочногидролизуемый (Нщел) определяли по Корнфилду, фосфор подвижный – по Чирикову. Доступный фосфор и обменный калий экстрагировали при $0.5 \text{ mol L}^{-1} \text{ CH}_3\text{COOH}$ и соотношении почва/раствор 1:2,5 по методу Чирикова. Анализ на определение содержание органического вещества почвы проводили согласно (ГОСТ 26213-91) по методу Тюрина в модификации ЦИНАО.

Водно-физические свойства почв. Гранулометрический анализ был проведен при помощи лазерного дифракционного анализатора частиц «ЛАСКА» (БиоМедСистем, Санкт-Петербург, Россия). В работе использовали международное обозначение размеров частиц: песок ($50\text{-}500 \mu\text{m}$) - sand, пыль ($2\text{-}50 \mu\text{m}$) – silt, ил ($0\text{-}2 \mu\text{m}$) – clay.

Потенциал почв к накоплению ПОВ высчитывался по формуле $S_{нас.} = 16.33 + 0.32 \times \text{мелкие фракции} (< 0.05 \text{ мм})$ где: $S_{нас.}$ – насыщенность Сорг. (g/kg); мелкие фракции – содержание частиц $< 0.05 \text{ мм}$ (%).

Водопрочность агрегатов почвы (мокрое просеивание) измеряли с помощью прибора Бакшеева (Вибротехника, Санкт-Петербург, Россия).

Коэффициент водопрочности рассчитывали как отношение (по массе) суммы водопрочных агрегатов размером $>0.25 \text{ мм}$. к сумме структурных фракций $>0.25 \text{ мм}$.

Степень достоверности. Достоверность представленных результатов подтверждена результатами модельных опытов, современными методами экспериментальных и аналитических исследований, статистической обработкой полученных результатов, их анализом и обобщением, которые подтверждаются корреляцией с экспериментальными литературными данными.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы доложены и опубликованы в материалах международных, Всероссийских и региональных конференциях: XII Всероссийская научно- практическая студенческая конференция «Иностранный язык в профессиональной коммуникации-12» (Уфа, 2022), Программа Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Здоровая среда» (Уфа, 2024), «IX съезд Общества почвоведов им. В.В. Докучаева» (Казань, 2024), III Международная научно-практическая конференция «GREEN TECH CARBON» (Уфа, 2025).

Личный вклад автора Автором обобщены результаты исследований, проведенных в 2022–2025 гг. Совместно с научным руководителем были определены основные направления работы, объекты и методы исследований, проведены полевые исследования на залежах и степях Башкирского Предуралья. Совместно с сотрудниками лаборатории почвоведения УИБ УФИЦ РАН, а также с сотрудниками башкирского филиала ФГБУ «РосАгрохимслужба» были выполнены лабораторные исследования. Лично автором были выполнены опыты по определению гранулометрического состава почв, коэффициента структурности почв, водопрочности почвенных агрегатов, гидрологических констант. Обобщение полученных результатов, формулировка выводов и основных защищаемых положений сделаны лично автором при направляющем и корректирующем участии научного руководителя.

Публикации. По материалам научно-квалификационной работы опубликовано 5 статей, в том числе в журналах «Белого списка» – 3, в изданиях, рекомендованных ВАК РФ – 3, Scopus (2), тезисы докладов конференций – 3, монографии - 1.

Объем и структура диссертации. Научно-квалификационная работа состоит из введения, списка сокращений, 3 глав, выводов и списка литературы и приложений. Список литературы включает 139 источников, в том числе 45 работ зарубежных авторов. Диссертация изложена на 150 страницах машинописного текста, включает 12 таблиц и 33 рисунка.

Работа выполнена в лаборатории почвоведения Уфимского Института биологии – обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук.

Благодарности. Автор выражает благодарность научному руководителю, д.б.н. Комиссарову М.А., а также сотрудникам УИБ УФИЦ РАН д.б.н. Габбасовой И.М., к.с-х.н. Гарипову Т.Т., д.б.н. Фёдорову Н.И., к.б.н. Сидоровой Л.В., к.с-х.н. Назыровой Ф.И. за помощь в проведении модельных опытов, аналитических исследований и консультации.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Содержание и запасы органического углерода в почвах залежей лесостепи Южного Предуралья

С участков 20–25-летних залежей карбонового полигона, занятых березняком, сенокосами и пастбищами, послойно отбирали (через 10 см до глубины 60 см) образцы почв и определяли в них содержание и запасы органического углерода (Сорг), содержание щелочногидролизуемого азота, подвижного фосфора, обменного калия и реакцию среды. Основные результаты. В слое 0–30 см серой лесной почвы содержание Сорг и под лесом, и на травяной залежи составляет 3,2% (в слое 30–60 см – 1,9%), а его запасы – 94–102 т/га (в слое 0–60 см – 162–179 т/га). В слое 0–30 см тёмно-серой лесной почвы содержание Сорг под березняком составляет 8,8% (в слое 30–60 см – 6,4%), а его запасы – 257 т/га (в слое 0–60 см – 492 т/га). На травяной залежи, используемой в качестве сенокосов и пастбищ, содержание Сорг в слое 0–30 см составляет 5,1–5,7%, в слое 30–60 см – 3,9–4,3%; запасы Сорг в слое 0–30 см – 167–187 т/га, в слое 0–60 см – 319–343 т/га. Содержание и запасы Сорг в серой лесной почве под травянистыми растительными сообществами в 1,6–1,9 раза меньше, чем в тёмно-серой лесной; в тёмно-серой почве содержание и запасы Сорг под березняком на 50–70% выше, чем на сенокосах и пастбищах. Таким образом, перевод пахотных почв лесостепи Южного Предуралья в залежь способствовал снижению чрезмерной распаханности территории, прекращению низкорентабельного сельскохозяйственного производства, проявлению тенденции к восстановлению почв до целинных аналогов и снижению эрозионной опасности. Промежуточное по содержанию и запасам органического углерода состояние, занимаемое почвой залежи между пашней и лесом, даёт основание предполагать, что со временем в почвах сенокосов и пастбищ эти показатели могут значительно увеличиться.

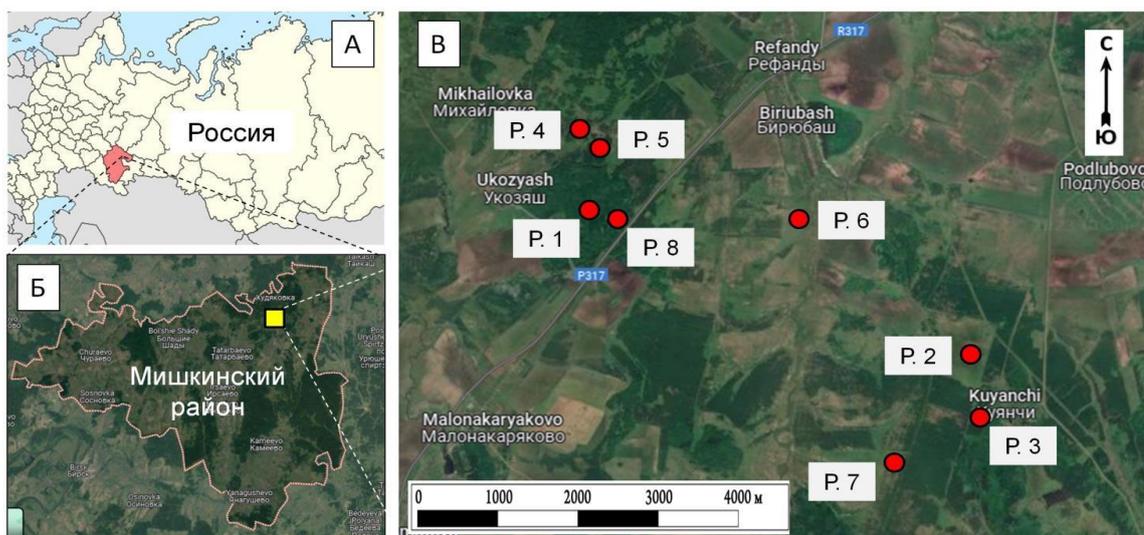


Рисунок 1. Месторасположение карбонового полигона «Мишкино» в пределах: А – России, Б – Мишкинского района Республики Башкортостан. В – схема заложения разрезов на карбоновом полигоне «Мишкино»: P.1 – березняк (у деревни Укозяш), P.2 и P.4 – сенокос суходольный, P.3 – березняк (у деревни Куйанчи), P.5 и P.8 – сенокос влажный, P.6 – пастбище сильносбитое, P.7 – залежь травяная

Агрохимическая характеристика почв представлена в таблице 1. Серые лесные и тёмно-серые лесные почвы, как под лесом, так и на залежи, по степени гумусированности относятся к категории «высокая», тогда как в пахотных почвах – к «средней» категории. С глубиной в серых лесных почвах содержание гумуса снижается резко, в тёмно-серых – постепенно. Оба подтипа характеризуются средне- или сильнокислой реакцией среды, мало изменяющейся вниз по профилю почвы. Обеспеченность серой лесной почвы щелочногидролизуемым азотом «повышенная», а тёмно-серой – «высокая»; подвижным фосфором – «очень низкая» и «низкая» независимо от подтипа, только в почве бывшей пашни под травяной залежью «средняя»; обменным калием – «средняя» и «повышенная». Эти почвы характеризуются достаточной обеспеченностью питательными элементами (кроме фосфора) и в целом благоприятны для роста и развития растений.

Таблица 1. Агрохимическая характеристика почв

№ раз-реза	Тип растительного сообщества	Почва	Слой, см	рН _{вод}	рН _{сол}	N _{щел}	P ₂ O ₅	K ₂ O обм.
							подв.	
						мг/кг		
Р.3	Березняк (у деревни Куянчи)	Тёмно-серая лесная	0–10	5,1	4,2	338	19	80
			10–20	5,3	4,2	281	24	75
			20–30	5,1	4,1	–	15	70
			30–40	5,1	4,1	–	17	65
			40–50	5,0	3,8	–	23	90
Р.1	Березняк (у деревни Укозящ)	Серая лесная	0–10	5,1	3,9	112	36	95
			10–20	4,9	3,7	96	29	60
			20–30	5,0	3,8	–	17	50
			30–40	5,0	3,9	–	23	55
			40–50	4,9	3,9	–	18	85
Р.2	Сенокос суходольный	Тёмно-серая лесная	0–10	5,4	4,4	309	15	40
			10–20	5,4	4,4	278	16	40
			20–30	5,3	4,3	–	14	45
			30–40	5,3	4,3	–	18	55
			40–50	5,1	4,2	–	17	65
Р.4	Сенокос суходольный	Тёмно-серая лесная	0–10	5,5	4,5	246	41	90
			10–20	5,6	4,7	231	36	55
			20–30	5,6	4,6	–	31	60
			30–40	5,7	4,7	–	38	65
			40–50	5,5	4,6	–	63	75
Р.5	Сенокос влажный	Тёмно-серая лесная	0–10	5,3	4,4	325	18	75
			10–20	4,9	4,3	195	11	60
			20–30	5,3	4,4	–	9	40
			30–40	5,2	4,2	–	11	45
			40–50	5,4	4,3	–	12	55
Р.8	Сенокос влажный	Тёмно-серая лесная	0–10	5,2	4,2	277	18	85
			10–20	5,1	4,1	192	17	60
			20–30	5,3	4,2	–	20	55
			30–40	5,2	4,2	–	23	45
			40–50	5,3	4,3	–	19	75
Р.6	Пастбище сильносбитое	Тёмно-серая лесная	0–10	5,3	4,4	318	14	50
			10–20	5,6	4,6	210	12	45
			20–30	5,5	4,5	–	17	25
			30–40	5,2	4,4	–	10	55
			40–50	5,2	4,3	–	12	55
Р.7	Залежь травяная	Серая лесная	0–10	5,8	4,9	217	94	85
			10–20	5,6	4,6	205	46	85
			20–30	5,5	4,5	–	40	75
			30–40	5,4	4,5	–	28	70
			40–50	5,4	4,4	–	19	90

Примечание. Прочерк означает, что щелочногидролизуемый азот не определяли.

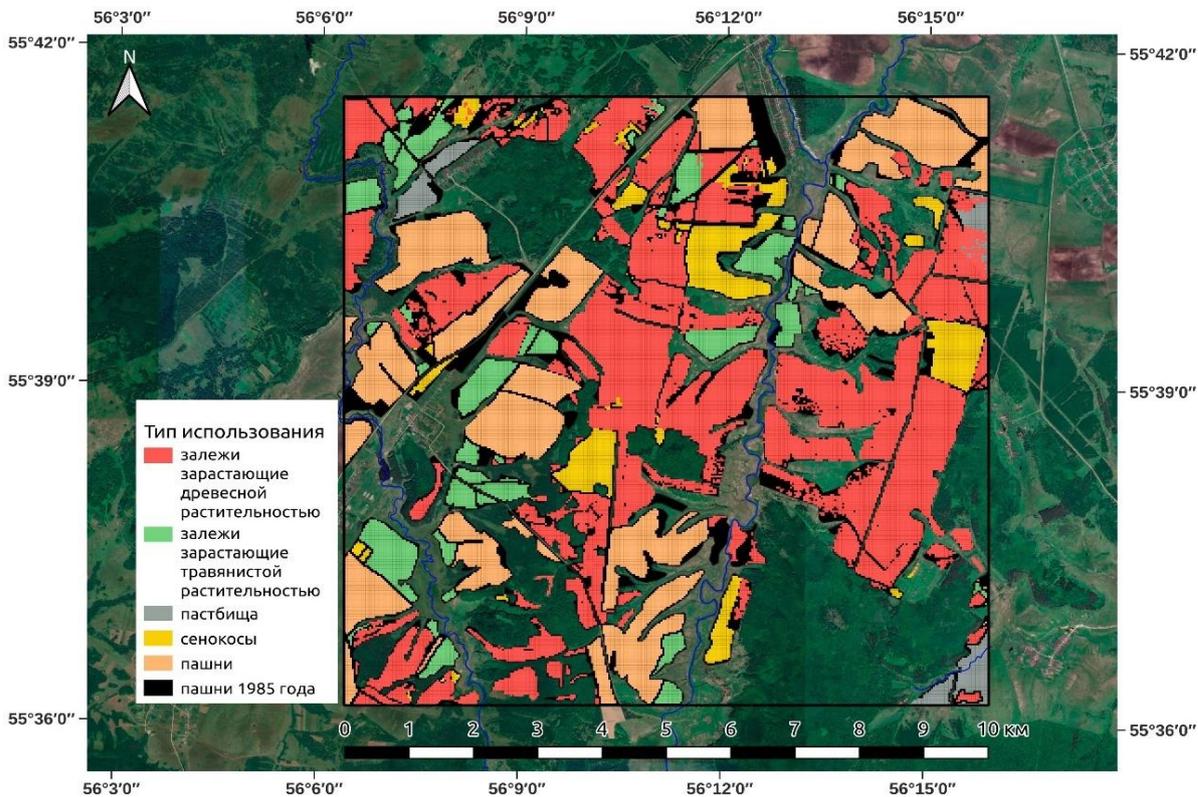


Рисунок 2. ГИС-карта заброшенных и используемых в настоящее время сельскохозяйственных земель участка «Мишкино»

Таблица 2. Гидрологические константы почв участка «Мишкино».

Разрез, стадия зарастания и зелененность	Слой, см.	Полевая влажность, % (на 12.08.2022 г.)	Влагоемкость, %			Плотность почвы, г/см ³
			Наименьшая	Капиллярная	Полная	
Р. 1. Пашня	0-10	29.6	43.7	34.2	55.9	0.87
	10-20	29.1	42.8	33.2	55.0	0.90
	20-30	31.6	47.0	36.6	59.7	0.76
	30-40	29.9	45.4	35.1	56.5	0.85
	40-50	29.0	44.0	33.4	54.7	0.97
	50-60	28.9	45.1	34.5	54.6	0.95
Р. 2. 3 стадия	60-70	29.0	43.9	33.2	54.8	1.02
	0-10	23.1	35.8	29.9	43.7	1.40
	10-20	27.0	40.3	32.0	51.1	1.07
	20-30	26.1	38.9	30.6	49.3	1.11
	30-40	27.0	40.0	31.3	51.1	1.06
	40-50	30.1	45.4	35.2	56.9	0.87
Р. 3. 1 стадия	50-60	30.2	45.4	35.0	57.0	0.86
	60-70	30.5	46.0	35.2	57.6	0.91
	0-10	25.1	37.0	29.8	47.5	1.15
	10-20	27.5	40.3	31.8	52.0	1.00
	20-30	28.2	41.3	32.3	53.2	1.01
	30-40	28.5	42.0	32.6	53.8	0.99
	40-50	29.9	45.2	34.8	56.5	0.88
	50-60	30.1	45.9	35.3	56.8	0.89
	60-70	30.6	45.6	34.8	57.8	0.88

Р. 5. 2 стадия	0-10	30.7	45.1	35.6	58.0	0.84
	10-20	29.7	43.7	34.4	56.2	0.89
	20-30	31.0	45.6	36.3	58.5	0.84
	30-40	31.4	46.4	36.3	59.2	0.81
	40-50	30.4	45.6	35.8	57.5	0.79
Р. 8. 2 стадия	0-10	24.6	38.1	31.2	46.5	1.30
	10-20	28.0	41.6	33.3	52.9	1.01
	20-30	30.5	45.0	35.3	57.6	0.83
	30-40	31.8	46.6	36.6	60.1	0.77
	40-50	31.8	46.7	36.2	60.0	0.74
Р. 9. 5 стадия	0-10	28.7	43.0	34.1	54.2	0.96
	10-20	30.7	45.5	35.7	58.0	0.81
	20-30	29.9	44.1	34.5	56.5	0.79
Р. 11. 4 стадия	0-10	29.3	45.5	35.8	55.4	1.02
	10-20	27.8	41.7	33.1	52.5	0.98
	20-30	24.1	35.9	28.2	45.5	1.16
	30-40	30.3	44.2	34.8	57.3	0.88
	40-50	31.6	46.9	36.5	59.7	0.75
Р. 15. 1 стадия	0-10	27.8	42.3	33.2	52.5	1.00
	10-20	30.0	44.2	34.4	56.6	0.87
	20-30	30.9	45.8	35.8	58.4	0.84
	30-40	31.9	46.9	36.4	60.3	0.74
Р. 18. 2 стадия	0-10	30.3	45.3	35.5	57.3	0.84
	10-20	30.2	45.4	35.6	57.1	0.84
	20-30	30.5	45.5	35.1	57.7	0.79
Р. 19. 4 стадия	0-10	26.2	40.3	32.1	49.5	1.12
	10-20	28.7	42.2	33.2	54.2	0.88
	20-30	29.1	43.0	33.8	55.0	0.89
	30-40	30.2	44.2	34.5	57.0	0.87
	40-50	31.6	46.6	36.3	59.7	0.79
Р. 23. 5 стадия	0-10	25.9	38.4	30.5	48.8	1.08
	10-20	26.3	38.3	30.9	49.7	1.11
	20-30	31.3	46.5	36.3	59.1	0.79
	30-40	32.4	47.4	36.8	61.2	0.76
Р. 26. 2 стадия	0-10	27.3	41.1	32.3	51.6	0.97
	10-20	31.3	46.2	35.7	59.1	0.80
	20-30	32.5	47.5	36.7	61.5	0.73
	30-40	31.1	45.9	35.5	58.8	0.75
Р. 37. Ср. часть склона пашня	0-10	25.5	37.7	29.6	48.2	1.05
	10-20	26.5	39.3	31.3	50.1	1.00
	20-30	29.7	43.8	34.1	56.0	0.85
	30-40	31.9	46.7	36.3	60.2	0.73
	40-50	31.7	46.6	35.9	59.8	0.76

Таблица 3. Испаряемость почв (от наименьшей влагоемкости; $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, относительная влажность воздуха = 70%) участка «Мишкино».

Разрез, стадия зарастания и зелесенность	Слой, см.	Испаряемость, мм						Всего за 1 месяц
		За 1-5 сутки	За 5-10 сутки	За 10-15 сутки	За 15-20 сутки	За 20-25 сутки	За 25-30 сутки	
Р. 1. Пашня	0-10	2.4	1.8	2.1	1	0.9	0.7	8.9
	10-20	3.5	2.3	1.9	0.9	0.9	0.7	10.2
	20-30	3.4	1.6	1.2	1.1	1	0.7	9
	30-40	2.9	1.8	1.7	1.1	1	0.7	9.2
	40-50	3.1	1.3	2.2	1.2	0.9	0.7	9.4
	50-60	2.7	1.1	2.1	1.1	1.1	0.7	8.8

	60-70	2.3	1.2	2.5	1.2	1	0.7	8.9
Р. 2. 3 стадия	0-10	2.9	1.7	2.7	2	1.5	1	11.8
	10-20	2.3	1.5	2.9	1.8	1.1	0.8	10.4
	20-30	3.1	1.8	3.1	1.5	1.1	0.8	11.4
	30-40	3.1	1.6	2.8	1.4	1.1	0.8	10.8
	40-50	5	2.6	2.6	1.7	1.2	0.8	13.9
	50-60	5.4	2.8	2.7	1.6	1.4	0.9	14.8
Р. 3. 1 стадия	60-70	4.9	2.6	2.3	1.7	1.5	0.9	13.9
	0-10	2.8	2.2	3.1	2	1.5	1	12.6
	10-20	2.9	1.9	3.6	1.4	1.2	0.8	11.8
	20-30	1.9	1.3	2.9	2.3	1.4	0.9	10.7
	30-40	1.9	1.1	2.7	2.5	1.4	0.8	10.4
	40-50	3.9	1.7	4.2	2.1	1.5	1.1	14.5
Р. 5. 2 стадия	50-60	3	1.9	3.6	1.7	1.3	1	12.5
	60-70	3.2	2	3.4	2.2	1.5	1.2	13.5
	0-10	1.8	1.4	2.3	1.9	1.1	0.8	9.3
	10-20	3.7	1.6	2.6	1.3	1	0.6	10.8
	20-30	3.5	1.2	2.3	1.2	0.9	0.6	9.7
	30-40	3.3	1.7	1.6	1.3	0.8	0.7	9.4
Р. 8. 5 стадия	40-50	3.6	1.5	1.6	1.5	1.1	0.8	10.1
	0-10	5	1.8	3.2	2.1	1.4	0.9	14.4
	10-20	3.8	2.5	3.3	2.1	1.6	1.2	14.5
	20-30	3.1	1.7	3.4	2.1	1.5	1	12.8
	30-40	3.7	1.5	2.7	1.7	1.3	1	11.9
Р. 9. 5 стадия	40-50	2.9	1.6	2	1.6	1.4	1	10.5
	0-10	4.2	1.8	2.8	2	1.5	1	13.3
	10-20	2.6	1.4	3.6	2.2	1.2	0.8	11.8
	20-30	2.8	1.6	3	1.4	1.1	0.8	10.7
Р. 11. 4 стадия	0-10	5.1	1.7	2.4	1.7	1.4	1.1	13.4
	10-20	5.2	2.3	3	1.6	1.4	0.8	14.3
	20-30	6.2	2.4	2.5	1.6	1.4	1	15.1
	30-40	4.8	2.3	3.1	1.9	1.6	1.2	14.9
	40-50	3	2.2	2.7	1.9	1.7	1.3	12.8
Р. 15. 1 стадия	0-10	3.2	1.9	3.1	2.4	2	1.3	13.9
	10-20	2.4	1.7	4	3.8	1.8	1.1	14.8
	20-30	3	1.5	4	2.8	1.6	1	13.9
	30-40	2.3	1.3	3	2.1	2	1.3	12
Р. 18. 2 стадия	0-10	2.9	1.7	3.1	2.4	1.7	1.1	12.9
	10-20	3.6	1.5	2.8	1.8	1.4	1.1	12.2
	20-30	2.7	2.2	2.8	1.8	1.4	1.1	12
Р. 19. 4 стадия	0-10	6.9	2.6	3.2	1.7	1.3	0.8	16.5
	10-20	6.3	3.3	3.9	1.6	1.3	1	17.4
	20-30	5	3.3	4	1.9	1.5	1	16.7
	30-40	3.5	2.2	4.5	2	1.4	1	14.6
	40-50	3.5	1.8	3.7	1.8	1.4	1.2	13.4
Р. 23. 5 стадия	0-10	3.1	2.2	4.4	2.9	1.6	1.1	15.3
	10-20	3.9	2.1	4.7	2.8	1.6	1.1	16.2
	20-30	3.7	1.6	2.6	1.6	1.4	1.1	12
	30-40	3.4	1.8	2.5	1.8	1.4	0.9	11.8
Р. 26. 2 стадия	0-10	6.6	3.6	3.8	2.1	1.3	1	18.4
	10-20	4.2	3.5	3.5	1.5	1.3	0.8	14.8
	20-30	4	2.9	2.7	1.7	1.4	1	13.7
	30-40	3.6	2.4	2.5	1.9	1.8	1.2	13.4
Р. 37. Ср. часть склона пашня	0-10	5	4.3	4	1.6	1.4	0.9	17.2
	10-20	5.1	3.2	3	1.9	1.5	1.2	15.9
	20-30	4.6	2.4	2.4	1.8	1.6	1.2	14
	30-40	3.4	2.2	2.5	1.9	1.5	1.2	12.7
	40-50	3.5	2.3	2.3	1.8	1.5	1	12.4

Таблица 4. Характеристика древостоя различных стадий и вариантов зарастания *Betula pendula* на залежных землях в зоне широколиственных лесов в Предуралье

Стадия зарастания	I	II	III	IV	V
Высота деревьев, м	До 0,5	1-2	4-6	8-12	14-15
Возраст, лет	3-5	8-10	10-15	15-20	25-30
Диаметр стволов, см	-	1	6-8	10-14	16-20
Вариант 1 (ПП древесного яруса, %)	1-10	10-20	30-50	50-60	50-60
Вариант 2 (ПП древесного яруса, %)	20-50	30-50	60-80	75-90	75-90

Примечание. ПП – проективное покрытие

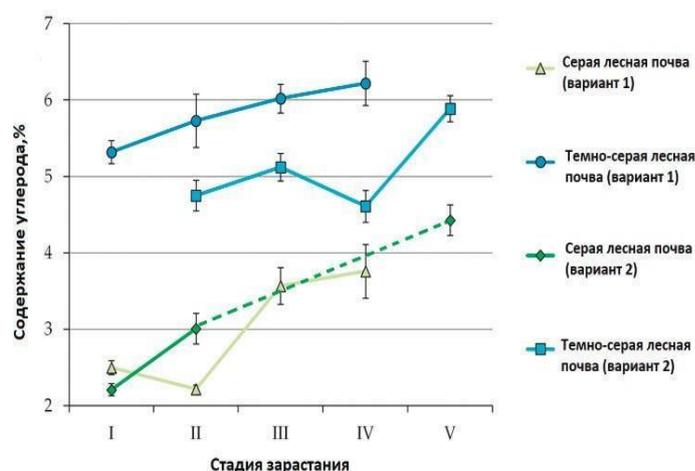


Рис 3. Содержание углерода, накопленного почвой на разных стадиях зарастания *Betula pendula* на залежных землях в зоне широколиственных лесов в Предуралье. Пунктирная зеленая линия – потенциальный тренд

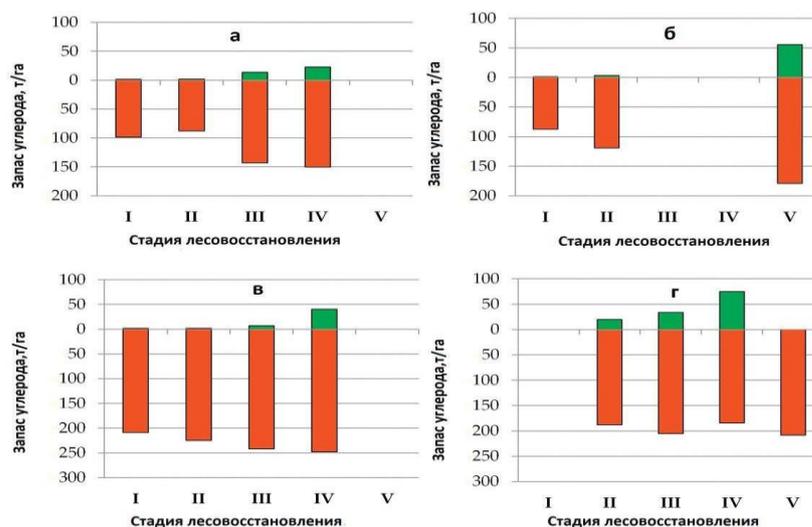


Рис 4. Запасы углерода в надземной (древостой и нижний травяной ярус; зеленый цвет) и подземной (мортмасса, корни и почва; оранжевый цвет) биомассе на разных стадиях зарастания *Betula pendula* на залежных землях в зоне широколиственных лесов в Предуралье: а – серая лесная почва (вариант 1), б – серая лесная почва (вариант 2), в – темно-серая лесная почва (вариант 1), г – темно-серая лесная почва (вариант 2)

2. Содержание и запасы органического вещества в чернозёме выщелоченном южного Предуралья при внесении помета и фосфогипса

В 5-летнем мелкоделяночном полевом опыте на черноземе выщелоченном с раздельным и совместным однократным внесением индюшиного помета (26–60 т/га) и фосфогипса (3,6–20,0 т/га) показано, что в соответствии с количеством помета содержание почвенного органического вещества по сравнению с контролем увеличилось на 3–11 % в течение опыта, его запасы в 20-см слое почвы – на 9–15 т/га; влияние фосфогипса было незначительным. Внесение удобрений не привело к загрязнению почвы тяжелыми металлами I–III классов токсичности, их суммарный эффект оценивался как «допустимый». Прибавка урожайности картофеля при внесении помета составила в первый год 103–324 %, при внесении фосфогипса – 16–72 %. Последствие помета проявлялось и в последующие годы, прибавка урожайности составила до 96 %.

Методика. Почва опытного участка представлена черноземом выщелоченным, слабоэродированным. Эта почва характеризуется средней мощностью гумусово-аккумулятивных горизонтов, легкоглинистым гранулометрическим составом, слабокислой реакцией среды, низкой обеспеченностью подвижным фосфором и высокой – обменным калием.

Таблица 5. Содержание и запасы ПОВ

Содержание ПОВ, %								
№ п/п	Вариант	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	t _{факт} *	Запасы ПОВ т/га
1.	Контроль	6,60	6,57	6,62	6,54	6,58	-	154
2.	Ф5	6,54	6,57	6,63	6,61	6,63	0,58	156
3.	Ф10	6,72	6,72	6,63	6,64	6,65	1,63	159
4.	Ф20	6,76	6,69	6,67	6,64	6,64	1,92	160
5.	Ф3 6П36.4	6,88	6,93	6,85	6,81	6,76	8,16	163
6.	Ф5 5П54.5	7,11	7,16	7,05	7,02	6,89	9,65	169
7.	Ф6 7П33.3	6,84	6,88	6,91	6,93	6,90	14,9	168
8.	Ф105П50	6,95	6,95	7,01	6,98	6,91	17,33	168
9.	Ф13 3П26.7	6,76	6,82	6,86	6,91	6,86	9,06	163
10.	Ф20П40	6,92	6,96	6,98	7,01	7,00	18,45	167
11.	П40	7,06	7,09	7,02	7,03	6,92	13,81	165
12.	П60	7,20	7,21	7,11	7,16	6,98	12,44	168

* t_{факт} – достоверность различий по сравнению с контролем; t₀₅ = 2,31; t₀₁ = 3,35.

Фосфогипс (Ф) с содержанием фосфора 2,05 % отбирали из отвалов Мелеузовского завода по производству минеральных удобрений, индюшиный помет (П) с исходным содержанием органического вещества около 40 % перед внесением обрабатывали

биопрепаратом «Биосептилон». Смесь Ф+П компостировали в течение 2 недель перед закладкой опыта. 5-летний мелкоделяночный полевой опыт был заложен по схеме: 1. Контроль без удобрений. 2. Ф, 5 т/га (Ф5). 3. Ф, 10 т/га (Ф10). 4. Ф, 20 т/га (Ф20). 5. Ф+П, соотношение 1:10, 40 т/га (Ф3.6П36.4). 6. Ф+П, 1:10, 60 т/га (Ф5.5П54.5). 7. Ф+П, 1:5, 40 т/га (Ф6.7П33.3). 8. Ф+П, 1:5, 60 т/га (Ф10П50). 9. Ф+П, 1:2, 40 т/га (Ф13.3П26.7). 10. Ф+П, 1:2, 60 т/га (Ф20П40). 11. П, 40 т/га (П40). 12. П, 60 т/га (П60). Фосфогипс и помет были внесены один раз в начале опыта. Площадь делянок составила 6 м² (2 × 3), повторность опыта – трехкратная. Почвенные образцы отбирали ежегодно осенью с глубины 0–20 см. На опытных участках в первые 3 года выращивали картофель сорта «Снегирь», затем многолетние травы (люцерна, овсяница, тимофеевка). Содержание ПОВ определяли по ГОСТ 26213-2021.

При внесении только фосфогипса существенных изменений в содержании гумуса не произошло (табл. 1). Применение помета, в том числе в составе смеси Ф+П, привело к росту содержания ПОВ на 4–9 % по сравнению с контролем к осени первого года опыта. При этом гумусированность почвы в вариантах с дозой удобрений 60 т/га была достоверно выше, чем при дозе 40 т/га ($t_{\text{факт}} = 6,27$; $t_{01} = 5,84$). В целом содержание ПОВ отличалось достаточной стабильностью, и последствие внесения помета проявлялось в течение всех 5 лет исследований. Для оценки депонирования углерода большее значение имеет определение запасов гумуса в почве. Объемная масса почвы по вариантам опыта изменялась незначительно и находилась в диапазоне 1,17–1,22 г/см³. В среднем за 5 лет запасы ПОВ в верхнем 20-см слое увеличились на 6–10 % при внесении помета и Ф+П.

Следует отметить, что даже самые высокие использованные в опыте дозы удобрений не привели к увеличению содержания в почве тяжелых металлов I–III классов токсичности (As, Cd, Hg, Se, Zn, Ni, Cu, Mo, Sb, Ba, W, V и Mn). Несмотря на незначительное возрастание содержания Pb, Co, Cr и Sr, суммарный эффект токсичных элементов по всем вариантам опыта оценивался как «допустимый». Анализ урожайности картофеля показал, что использованные удобрения способствовали ее повышению. В первый год максимальная урожайность отмечалась на вариантах с внесением помета (до 432 ц/га при 133 ц/га на контроле), но и использование одного ФГ дало прибавку, возрастающую с увеличением его дозы (22–97 ц/га). Совместное внесение удобрений во всех соотношениях способствовало повышению урожайности картофеля на 137–235 ц/га. Второй и третий годы исследований были засушливыми, что и оказало отрицательное влияние на урожайность картофеля, но при этом основные закономерности были такие же, что и в первом году. Во второй год прибавка в вариантах с внесением помета составила 28–72 %, а в третий – 54–96 %.

Содержание ПОВ при однократном внесении индюшиного помета в дозах 26–60 т/га по сравнению с контролем увеличилось на 3–11 % за 5 лет опыта в соответствии с количеством помета, влияние фосфогипса было несущественным. При этом запасы ПОВ в верхнем 20-см слое увеличились на 9–15 т/га. Внесение удобрений не привело к загрязнению почвы тяжелыми металлами I–III классов токсичности, их суммарный эффект оценивался как «допустимый». Прибавка урожайности картофеля при внесении помета составила в первый год 103–324 %, при внесении фосфогипса – 16–72 %. Последствие помета проявлялось и в последующие годы, прибавка урожайности составила до 96 %.

3. Исследования на участке «Ковыльная степь» и на склоновом ландшафте у озера Аслыкуль

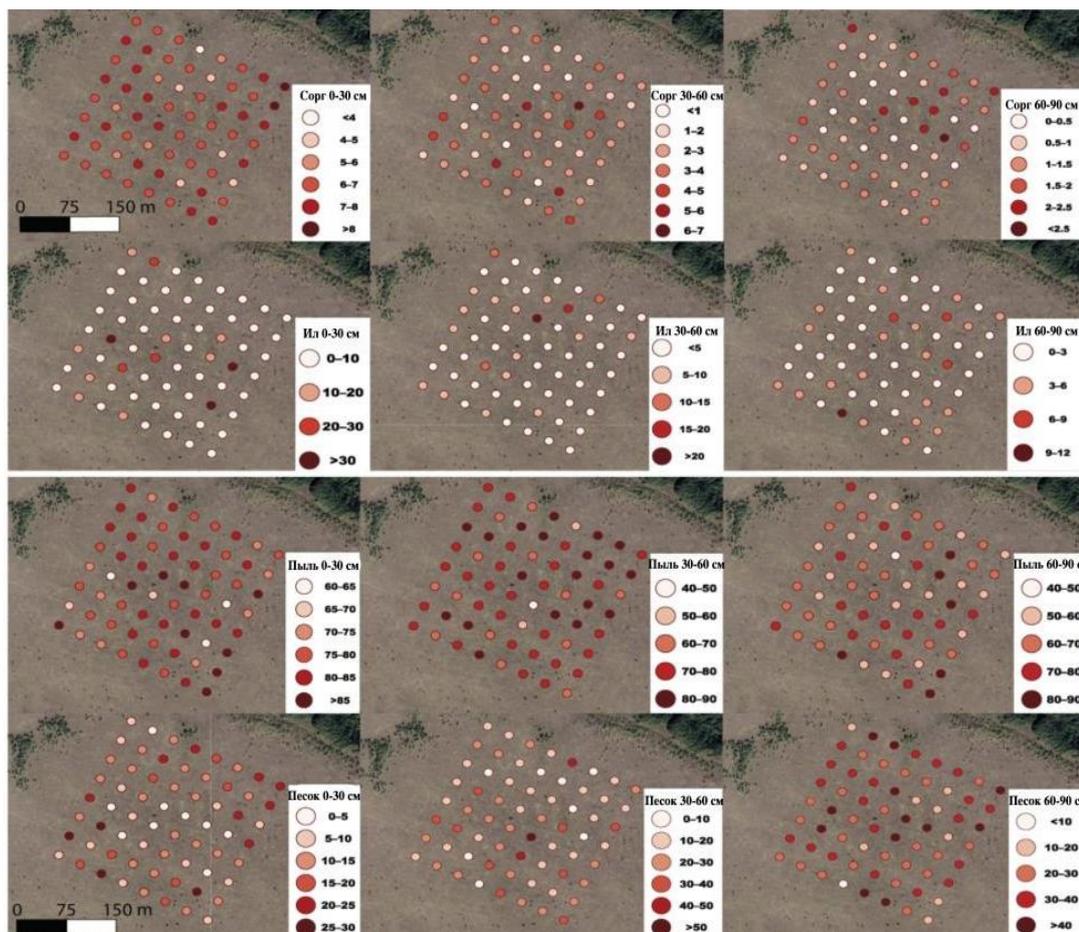


Рис 5. Расположение степного участка и точек отбора опробирования с количественными значениями почвенных показателей

Проведённый на лазерном анализаторе Lasca анализ 64 точек отбора показал, что слой 0-30 см преимущественно состоит из пылевой глины (silt). Слой 60-90 в основном представлен суглинком илистым (silt loam). Почвы слоя 30-60 также характеризуется тяжёлым гранулометрическим составом. По мере глубины наблюдается увеличение крупных частиц (sand). Согласно коэффициенту корреляции между слоями и % углерода установлено, что величина в слое 0-30 silt равна нулю, общий слой мелких фракций имеет среднюю величину, а общий слой sand – среднюю отрицательную величину. .

Таблица 6. Описательная статистика характеристики почв на различной глубине.

Почвенные свойства	Глубина, см	Мин.	Макс.	Средн.	МедIAN.	Kurtosis	SD	CV, %
Почвенный углерод, %	0–30	3.77	8.58	6.6	6.72	0.24	0.94	14.27
	30–60	0.46	6.96	2.67	2.63	0.49	1.34	50.25
	60–90	0.06	2.78	1.03	1	–0.26	0.67	65.58
Пыль, %	0–30	0.91	38.62	7.56	4.54	4.25	8.28	109.55
	30–60	0.21	21.39	4.08	3.08	6.72	3.7	90.67
	60–90	0.46	10.84	2.84	2.54	4.48	1.84	64.79
Ил, %	0–30	60.45	87.6	79.27	80.22	0.93	6.04	7.61
	30–60	48.33	87.21	74.95	76.94	0.45	8.91	11.88
	60–90	48.83	84.68	66.65	66.78	–0.9	8.65	12.97
Песок, %	0–30	0.93	29.92	13.2	12.76	–0.6	6.99	52.92
	30–60	2.5	51.45	21.02	19.45	0.29	10.3	49
	60–90	8.63	45.19	30.51	30.19	–0.64	9.36	30.66
Горизонт АВ, см	0–90	15	65	38.67	39	–1.12	12.87	33.28
Пенетрация, кПа	0–45	617	3418	1480.86	1461	2.73	499.26	33.71

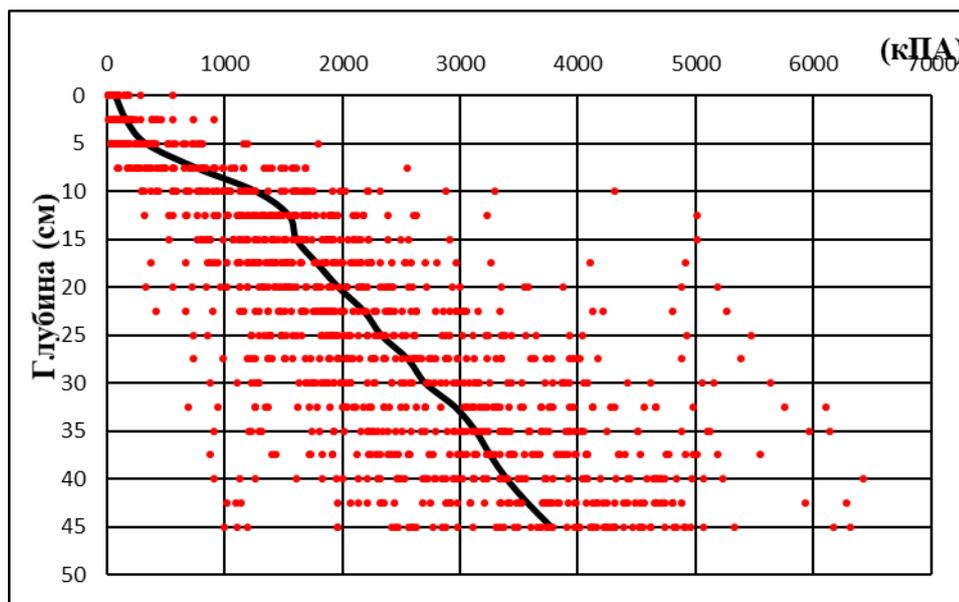


Рис. 6. Пенетрация

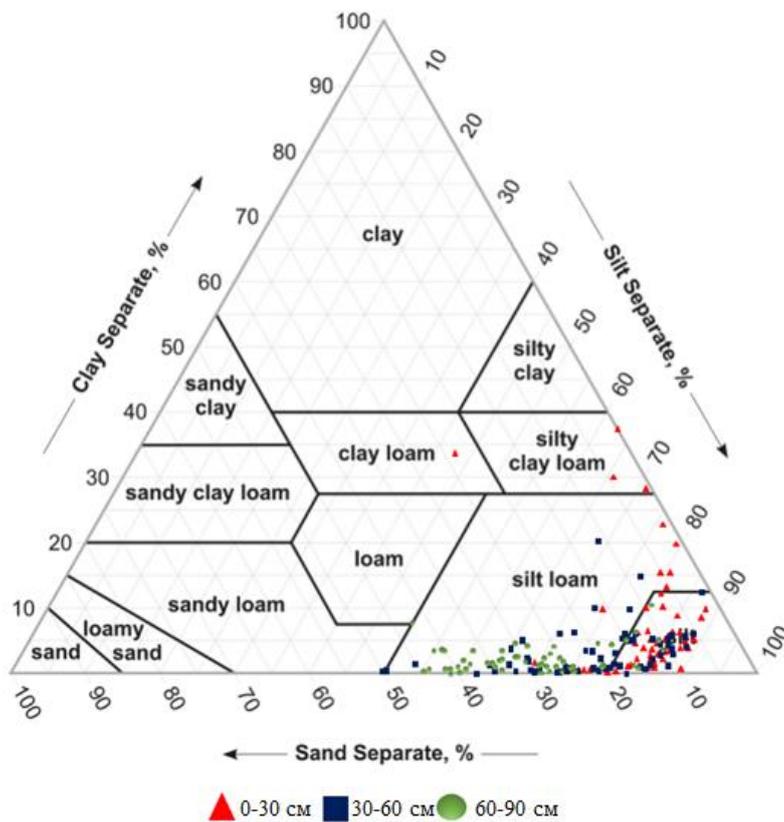


Рис. 7. Треугольник Ферре для классификации образцов по гранулометрическому составу

silt+clay (0-90 см)	silt (0-90 см)	silt+clay (60-90 см)	clay (60-90 см)	silt (60-90 см)	clay (0-90 см)	sand+silt (30-60 см)	sand (0-30 см)	sand (30-60 см)	sand+silt (0-30 см)	silt (30-60 см)	clay (0-30 см)	silt (0-30 см)	silt+clay (30-60 см)	silt+clay (0-30 см)	clay (30-60 см)	sand+silt (0-90 см)	sand+silt (60-90 см)	sand (60-90 см)	sand (0-90 см)
0,56	0,49	0,44	0,42	0,39	0,30	0,23	0,11	0,08	0,04	0,00	-0,04	-0,07	-0,08	-0,11	-0,22	-0,30	-0,42	-0,44	-0,56

Рис. 8. Коэффициент корреляции слоёв и % углерода в них

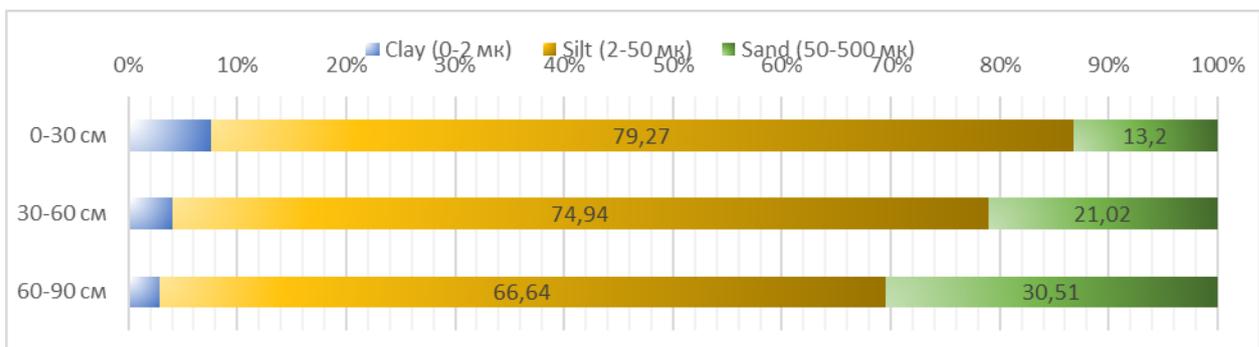


Рис. 8. Изменение гранулометрического состава в зависимости от глубины

Выводы: Потенциал слоя 0-30 см составил 44,11 g/kg, 30-60 см: 41,61 g/kg, 60-90 см: 38,56 g/kg. Для общего слоя 0-90: 41,43 g/kg. Согласно результатам, потенциал накопления и хранения органического углерода верхнего слоя выше, чем у нижних слоёв. Частицы clay обладают большей способностью к обогащению Сорг., чем частицы silt и sand и потери именно этих частиц clay влекут за собой существенные потери Сорг. [Guang-lu Li Xiao-ming Pang] Исследуемый участок хорошо выполняет роль секвестрации углерода. С экологической точки зрения подобные участки не следует обрабатывать под пашню.

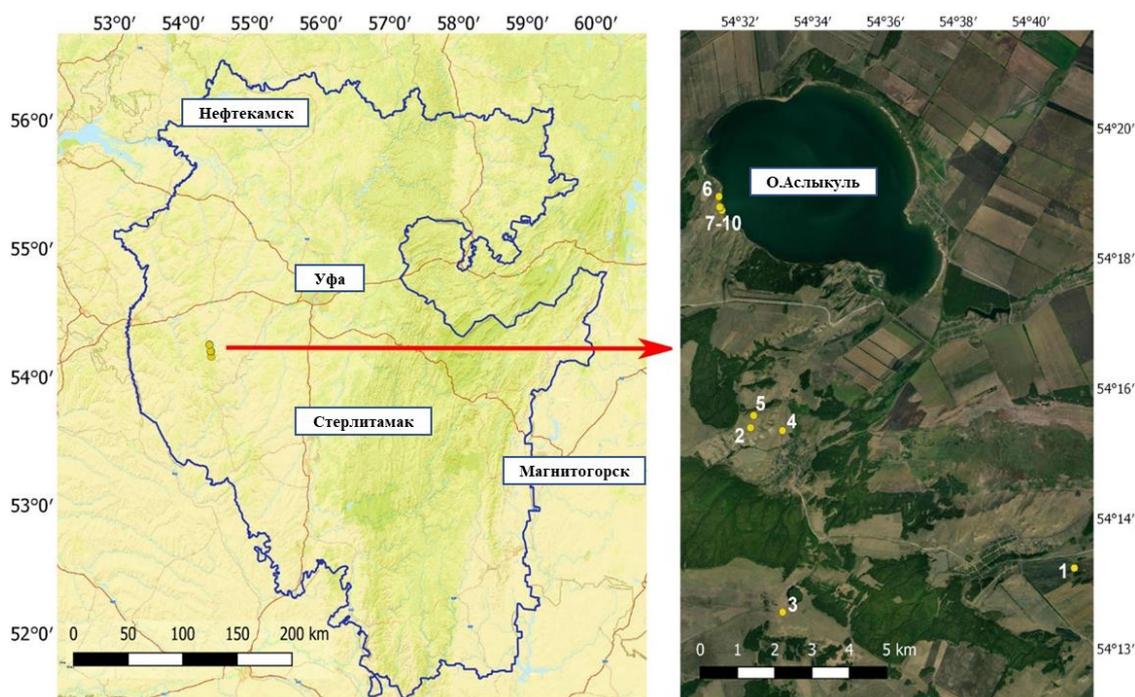


Рис. 9. Участок отбора точек на склоновом ландшафте

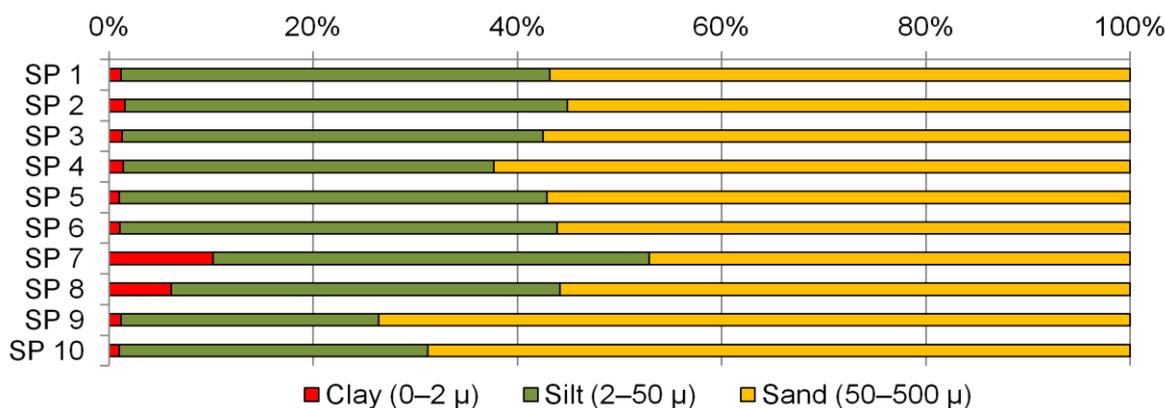


Рис. 10. Гранулометрический состав почв (0–30 см) на склоновом ландшафте

Выводы: Известно, что эрозии подвержен верхний плодородный слой почвы, а также верхняя и средняя часть склона (где кинетическая энергия потока набирает наибольшую разрушительную силу), и с водно-эрозионным потоком смываются обогащенные питательными элементами частицы почвы, в частности илистая фракция. Так содержание Сорг и калия в в верхней и средней части склона было примерно в 2 раза ниже чем у подножия или нижней части склона, а фосфора 20–37%. При этом на повышенных элементах рельефа (SP 9 и SP 10) содержание песка было высоким (70–75%), а в зоне аккумуляции (SP 7 и SP 8) преобладали легкодисперсные фракции (clay and silt), что подтверждает гипотезу о смыве со склона легких фракций богатых питательными элементами. Значимых различий по гранулометрическому составу между участками пашни и подвергавшихся выпасу различной интенсивности не обнаружено, и почвы этих участков характеризуются как sandy loam. Несколько выше было содержание песка на участке с сильным выпасом, что свидетельствует о развитии на этом участке пастбищной дигрессии, т.е. усилении деградационных процессов, в частности водной и/или ветровой эрозии.

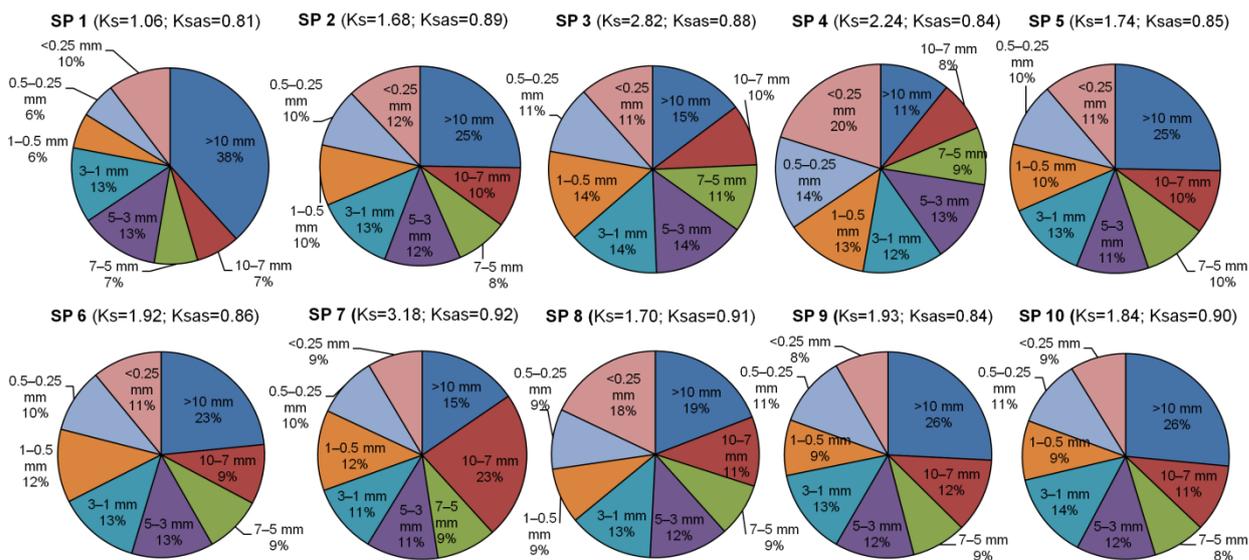


Рис. 11. Структурно-агрегатный состав почв (0–30 см).

Развитие корневой и растительной биомассы (в том числе и проективного покрытия) повлияло и на почвенную структуру. Если на пашне доля агрономически ценных агрегатов (Σ of 0.25–10 mm) составляла 51%, то на пастбищных участках их доля изменялась в диапазоне 65–74%. Несмотря на наличие растительного покрова, выпас скота приводил к разрушению агрегатов, особенно крупных; например, на пашне преобладали глыбистые агрегаты, в то время как на участках с выпасом скота их доля была не высока и уменьшалась с увеличением интенсивности выпаса. При этом самая низкая доля глыбистых фракций и самая высокая доля пыли была обнаружена на участке с интенсивным выпасом. Это, несомненно, происходило вследствие частого механического воздействия/разрушения почвы/агрегатов КРС. Очевидно, что “наилучшая” структура и высокая водопрочность агрегатов была на целинном участке у подножия склона (SP 7), но в склоновых участках (SPs 7–10) она ухудшалась по мере развития эрозии. Как известно на качество структуры почвы и водопрочность агрегатов негативно влияет сельскохозяйственная деятельность (вспашка, выпас и т.п.), а также эрозионные процессы.

Основное содержание работы изложено в следующих публикациях:

- 1) Комиссаров М. А., **Айвазян М. М.**, Габбасова И. М., Гарипов Т. Т., Сулейманов Р. Р., Федоров Н. И., Рухович Д. И. Содержание и запасы органического углерода в почве залежей лесостепи Южного Предуралья // Почвы окружающая среда. 2024. Том 7 № 3 DOI: 10.31251/pos.v7i3.271
- 2) Габбасова И. М., Гарипов Т. Т., Комиссаров М. А., Сулейманов Р. Р., **Айвазян М. М.**, Мелетьева О. А. Содержание и запасы органического вещества в чернозёме выщелоченном Южного Предуралья при внесении помёта и фосфогипса // Проблемы агрохимии экологии. 2024. № 2 С. 20-23
- 3) Azamat Suleymanov, Mikhail Komissarov, **Mikhail Aivazyan**, Ruslan Suleymanov, Inur Bikbaev, Arseniy Garipov, Raphak Giniyatullin, Olesia Ishkinina, Iren Tuktarova and Larisa Belan;
Unmanned Aerial Vehicles Applicability to Mapping Soil Properties Under Homogeneous Steppe Vegetation // Land 2025, 14(5), 931; <https://doi.org/10.3390/land14050931>
- 4) Nikolay Fedorov, Pavel Shirokikh, Svetlana Zhigunova, Elvira Baisheva, Mikhail Komissarov, Albert Muldashev, Dilara Gabbasova1, Milyausha Akhmetova, Ilshat Tuktamyshev, Inur Bikbaev, Galina Shendel, Davut Gulov, **Mikhail Aivazyan**, Vazir Gimazetdinov and Vasiliy Martynenko;
Productivity, carbon sequestration and species diversity in virgin and secondary meadow steppes of the Bashkir Cis-Urals // Scientific Reports volume 15, Article number: 17268 (2025)

- 5) **Mikhail Aivazyan.** Carbon polygons (supersites) chain in the Russian Federation // Экобиотех, 2025. №2 - 261-283 с. DOI: <http://doi.org/10.31163/2618-964X/2025-19>
- 6) Депонирование углерода в зависимости от стадии зарастания почв после их вывода из сельскохозяйственного оборота / И.М. Габбасова, **М.М. Айвазян**, М.А. Комиссаров, Т.Т. Гарипов – Текст: непосредственный // Почвы – опора России: тезисы докладов IX съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева (Казань, 12-16 августа 2024 г.). /Отв. ред.: П.В. Красильников, Н.О. Ковалева, Е.М. Столпникова. Москва-Казань: МАКС-Пресс. – 2024. – С.106–107.
- 7) Программа Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Здоровая среда» ФБУН«Уфимский НИИ медицины труда и экологии». 2024. «Мониторинг климатических изменений и углеродного баланса при зарастании деградированной пашни в Предуралье»
- 8) XII Всероссийская научно- практическая студенческая конференция «Иностранный язык в профессионально й коммуникации- 12, г.Уфа 2022 г. Башкирский Государственный Университет, участник // Soil organic matter in various agroecosystems of the Southern Cis-Urals in the erosion processes development (the actuality study)
- 9) П.С. Широких, Н.И. Федоров, С.Н. Жигунова, И.Г. Бикбаев, И.Р. Туктамышев, Э.З. Байшева, Д.М. Гулов, В.Д. Гимазетдинов, Д.Т. Габбасова, Г.В. Шендель, М.А. Комиссаров, Р. Р. Сулейманов, **М.М. Айвазян**, Г.А. Зайцев, А.Ю. Кулагин, Р.Х. Гиниятуллин, В.Б. Мартыненко
- Природно-климатические решения на карбоновых полигонах // Карбоновые полигоны: мониторинг, геоинформационные системы, секвестрационные технологии. Под редакцией С.К. Гулева и А.В. Ольчева – Москва: Научный мир, 2025. – 303-317 с.