

Научная статья

Original article

УДК 631.5; 631.4; 502; 631.7

DOI 10.55186/25880209_2025_9_4_7

**АНАЛИЗ АГРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЫВШИХ
ПАХОТНЫХ ПОЧВ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН СФОРМИРОВАННЫХ
ПОД ВЛИЯНИЕМ СОСНЫ В ЧИСТЫХ И СМЕШАННЫХ ДРЕВОСТОЯХ
ANALYSIS OF AGROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF FORMER ARABLE
SOILS OF THE TATARSTAN REPUBLIC FORMED UNDER THE INFLUENCE OF
PINE IN PURE AND MIXED TREES**



Гибадуллин Нурсиль Фоатович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства и лесных культур, ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет» (420015, г.Казань, ул.К.Маркса 65), тел. +7(919)641-59-95, Nursil.Gibadullin@mail.ru

Мусин Харис Гайнутдинович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства и лесных культур, ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет» (420015, г.Казань, ул. К.Маркса, 65), тел. +7(937)778-42-22, haris.musin@rambler.ru

Семёнова Екатерина Игоревна, аспирант 4 курса ИЛиП Санкт-Петербургского государственного университета им.С.М.Кирова, главный специалист ОВВПГ ФБУ «СПбНИИЛХ», (194021, Санкт-Петербург, Институтский пр.21), тел. +7(911)218-70-25, ekaterinasemyonova@bk.ru

Мухаметханова Гульнара Зуфаровна, аспирант 3 курса кафедры почвоведения ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет» (420015, г.Казань, ул.К.Маркса, 65), тел.+7(927)046-09-27, gulnarashm@mail.ru

Дурова Анастасия Сергеевна, кандидат с/х наук, доцент кафедры Лесных культур Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М.Кирова. (194021, г.Санкт-Петербург Институтский пер.5 к.1) тел.+7(906)249-14-19, ORCID: 0000-0001-7234-920x

Gibadullin Nursil Foatovich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Forestry and Forest Crops, Kazan State Agrarian University (65 K.Marx St., Kazan, 420015), tel.+7(919)641-59-95, Nursil.Gibadullin@mail.ru

Haris Gainutdinovich Musin, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Forestry and Forest Crops, Kazan State Pedagogical University State Agrarian University" (65 K.Marx St., Kazan, 420015), tel. +7(937)778-42-22, haris.musin@rambler.ru

Ekaterina Igorevna Semenova, 4th-year postgraduate student at St. Petersburg State University named after S.M.Kirov, chief specialist of the OVVPG of the Federal State Budgetary Institution "SPbNILH", (194021, Saint Petersburg, Institutsky ave., 21), tel.+7(911)218-70-25, ekaterinasemyonova@bk.ru

Mukhametkhanova Gulnara Zufarovna, 3rd year postgraduate student of the Department of Soil Science, Kazan State Agrarian University (65 K.Marx St., Kazan, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor 420015), tel.+7(927)046-09-27, gulnarashm@mail.ru

Durova Anastasia Sergeevna, of the Department of Forest Cultures of St. Petersburg State Forestry Technical University named after S.M.Kirov. (194021, St. Petersburg, Institutsky lane 5, room 1) tel.+7(906)249-14-19, ORCID: 0000-0001-7234-920x

Аннотация. Данное исследование посвящено изучению процессов происходящих в почвах бывших пахотных угодий, постепенно зарастающих лесной растительностью или же находящихся под лесными культурами. Исследовались объекты, расположенные в Республике Татарстан.

План исследования включает комплексную оценку напочвенного покрова, агрохимических, микробиологических характеристик почвы и структуры

древостоя на выбранных участках и в данный момент еще продолжается. Данная же статья посвящена изменениям основных агрохимических характеристик анализируемых почв. Полученные результаты позволяют выявить особенности преобразования почвенного покрова в условиях восстановления лесных экосистем, а также определить влияние создания лесных культур на агрохимические свойства почвы. Исследование способствует более глубокому пониманию процессов восстановления плодородия и структурных изменений почв при зарастании сельскохозяйственных земель лесом, что важно для разработки эффективных методов управления и восстановления деградированных территорий.

Abstract. This study is devoted to the study of the processes occurring in the soils of former arable lands, gradually overgrown with forest vegetation or under forest crops. The objects located in the Republic of Tatarstan were studied.

The research plan includes a comprehensive assessment of the ground cover, agrochemical, microbiological characteristics of the soil and the structure of the stand at the selected sites and is currently still ongoing. The same article is devoted to changes in the main agrochemical characteristics of the analyzed soils. The results obtained make it possible to identify the features of the transformation of soil cover in the conditions of restoration of forest ecosystems, as well as to determine the impact of the creation of forest crops on the agrochemical properties of the soil. The research contributes to a deeper understanding of the processes of soil fertility restoration and structural changes during overgrowth of agricultural lands with forest, which is important for the development of effective management methods and restoration of degraded territories.

Ключевые слова: агрохимические свойства почв; бывшие пахотные земли; лесные культуры; естественное зарастание; гумус; кислотность почвы; кластерный анализ; Республика Татарстан.

Keywords: agrochemical soil properties; former arable lands; forest plantations; natural overgrowth; humus; soil acidity; cluster analysis; Republic of Tatarstan.

Введение. Лесные почвы являются важнейшим компонентом лесных экосистем, взаимовлияющие на всю экологическую систему лесов - поддерживая

биоразнообразии и обеспечивая устойчивое функционирование лесных ландшафтов [1]. Их агрохимический состав и физические свойства существенно влияют как на продуктивность лесных насаждений, так и на лесные экосистемы в целом [16]. При этом для разумного и обоснованного принятия решений в ходе управления лесами необходимо понимать динамику естественного развития лесных почв и экосистем, а также влияние антропогенного фактора (бывшее с/х пользование) на дальнейшее развитие лесных биогеоценозов. Это важно для оценки состояния природных ресурсов и разработки мер по их сохранению и восстановлению [11;19]. Опыт зарубежных и отечественных исследований показывает, что устойчивый агроландшафт может быть сформирован в том случае, если соотношение его основных компонентов $\frac{3}{4}$ пашни, леса и луга находится в соотношении не менее $\frac{1}{3}$ от площади каждого [8].

Потенциал Республики Татарстан снижается из-за недостаточной степени облесенности, особенно эрозионно-опасных районов. Для повышения лесистости региона предлагается использовать участки сельскохозяйственных земель, заросшие древесно-кустарниковой растительностью. Таких в Республике Татарстан 342 тыс. га (возрастом свыше 20 лет) и 1818 тыс. га (возрастом свыше 3х лет). Итого 2160 тыс. га или 32% от общей площади региона что составляет 6 785 тыс. га [13].

В целом, Республика Татарстан обладает лесным фондом, включающим как хвойные, так и лиственные леса, растущие на сероземах и черноземах [8].

Естественно-химический состав лесных почв зависит от типа растительности, геологического фона и климатических условий региона [5;14]. Однако изучение агрохимических характеристик лесных почв необходимо так как позволяет выявить их потенциал для восстановления деградированных участков, а также определить особенности миграции элементов в профиле почвы [3; 4]. В частности, содержание органического вещества в почвах играет ключевую роль в поддержании плодородия и структурной устойчивости экосистемы [7;12]. Важным аспектом является оценка кислотности — она влияет на доступность питательных веществ для растений и активность микроорганизмов [1;18]. Кроме того, анализ

содержания макро- и микроэлементов позволяет понять процессы минерализации и накопления веществ в почвах региона [2;9].

Поскольку опытные участки расположены в разных районах Республики Татарстан для анализа происходящих процессов в данной статье нами был применен метод кластеризации - многофакторного анализа для классификации почв по их химическим характеристикам. Кластерный анализ позволяет выделить группы почв с сходными свойствами, что важно для разработки региональных рекомендаций по управлению земельными ресурсами [17;6].

Таким образом, актуальность проведения комплексного анализа химического состава лесных почв Республики Татарстан обусловлена необходимостью оценки их состояния и потенциала использования. Полученные данные позволяют более точно определить особенности развития антропогенно-преобразованных участков после их возвращения в лесные земли и разработать рекомендации по рациональному управлению природными ресурсами региона.

Объекты и методы. Пробы почвы отбирали из бывшего пахотного и нижележащего горизонта в различных точках Республики. (таблица 1) Географическое расположение точек отбора проб охватывает несколько районов Татарстана: Бугульминский, Пестречинский, Высокогорский и Столбищенский. Эти территории находятся в лесостепной зоне Восточно-Европейской равнины, для которой характерен умеренно-континентальный климат.

Бугульминский район: Континентальный климат с холодной зимой и жарким летом. Малое количество осадков (около 450–500 мм в год).

Пестречинский район: Расположен ближе к Казани, климат немного мягче. Больше осадков (до 550–600 мм в год).

Высокогорский район: Холоднее остальных районов. Снежный покров более устойчивый.

Столбищенский район: Климат близок к Пестречинскому, но с меньшим количеством осадков.

Таблица 1. Точки отбора проб

Местоположение	координаты	Номера точек в эксперименте	Возраст древостоя, лет	Классификация	
Лаишевский р-н Рядом – село Матюшенское;	55.667293, 49.076157	5,7,8,	85	Естественный древостой	
район Лаишевский, Столбище, культуры	55.652059, 49.142540	10,11	55	культуры	
Лаишевский р-н, песчаные-ковали	55.637979, 49.114478	13	10–15	Естественно-зростающий	
Приволжский, Респ. Татарстан, село Берёзка Высокогорский р-н,	56.041838, 49.274522	6,12	15	Естественно-зростающий	
Шингали Пестречинский р-н, Респ. Татарстан	55.829028, 49.557128	2	12	Культуры	
Бугульминский р-н, Респ. Татарстан, село Петровка Петровское уч. лесничество бугульминского р-на	(участок 1)	54.402660, 52.785696	1,3	15	Естественно-зростающий
	(участок 2)	54.402660, 52.785696	4,9	15	Естественно-зростающий

Климат в районах отбора проб характеризуется умеренно-континентальными условиями с холодной зимой, тёплым летом и достаточным увлажнением. Эти условия способствуют формированию богатых почв и разнообразной растительности, что подтверждается ранее полученными данными о микробиологическом составе почв. Преобладают чернозёмы и серые лесные почвы, которые формируются в условиях умеренного увлажнения и тёплого лета.

Методы

- Аммоний и калий определяли в соответствии с ПНД Ф 16.1:2.2.2:2.3.74-2012 (М 03-08-2011) «Количественный химический анализ почв. Методика измерений массовой доли водорастворимых форм катионов аммония, калия, натрия, магния, кальция в почвах, грунтах, глине, торфе, осадках сточных вод, донных отложениях методом капиллярного электрофореза с использованием системы капиллярного электрофореза "Капель"».

- Фосфор определяли в соответствии с «ПНД Ф 16.2:2.3.73-2012 Количественный химический анализ почв и отходов. Методика измерений массовой доли фосфора (валового и подвижного) в органических удобрениях,

грунтах и осадках сточных вод фотометрическим методом (Методика измерений массовой доли общего фосфора в органических удобрениях, грунтах и осадках сточных вод фотометрическим методом)».

- рН солевой и водной вытяжки определяли по ГОСТ 26483-85 Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО и для рН водной вытяжки в почве проводили определение в соответствии с ГОСТ 26423-85.

- Органическое вещество определяли по ГОСТ 26213-91 "Почвы. Методы определения органического вещества".

- Методика проведения статистической обработки полученных данных: Собранные данные были проанализированы стандартными методами. Затем работали со средними значениями показателей для каждой точки (данные по среднему образцу., анализ проведён в трех повторностях).

- Усреднённые данные использованы для проведения кластерного анализа, в котором: использовались следующие признаки: Гумус (%), Аммоний-ион (мг/кг), Калий (мг/кг), Общий фосфор (мг/кг), рН сол, ед. рН, рН водн.

В первой части анализа кластерный анализ был произведен для каждой точки отбора проб, а затем для каждого горизонта отдельно была выполнена кластеризация методом иерархического анализа (средних расстояний) с целью выделения трех кластеров. В результате были получены по три группы точек, объединенные по схожим характеристикам (бедные – богатые – промежуточные) что позволило разделить участки в более общем понимании, а затем увидеть различия по горизонтам.

В статье представлена сводная таблица по результатам проведенных t-тестов для каждой переменной в горизонте А и В. В таблице указаны средние значения по горизонтам, значение t-статистики, степень свободы и вывод о статистической значимости

Что позволяет увидеть какие показатели достоверно отличались вне зависимости от точки отбора проб и позволяет судить об особенностях почвообразовательного процесса на выбранных объектах исследования.

Результаты

Ранее нами в статье «Влияние сосны в чистых и смешанных древостоях на микробные сообщества в бывших пахотных почвах Республики Татарстан» были рассмотрено изменение в структурах микробных сообществ бывших пахотных земель под влиянием древостоев сосны.

Данные позволили выявить различия в процессах, происходящих в верхнем и нижележащем горизонтах, а именно:

1. В верхних горизонтах микроорганизмов, разлагающих органику, было больше, чем в нижнем.

2. Бактерии, участвующие в азотном цикле чаще, встречались в бывшем пахотном горизонте, что предположительно было связано с внесением в него питательных веществ в процессе эксплуатации заброшенной пашни.

3. Увеличение численности микроорганизмов, связанных с азотным циклом (*Nitrobacter sp.*, *Nitrosomonas sp.*) было отмечено в обоих горизонтах (в верхнем сильнее) что говорит о процессах саморемедиации почвы.

4. В некоторых точках (6, 12) численность микроорганизмов в бывшем пахотном слое близка к таковой в верхнем горизонте, что может свидетельствовать о более активном восстановлении.

В продолжении проведенных исследований проведем оценку агрохимических характеристик тех же образцов, в которых был проведен анализ микробных сообществ. Агрохимический анализ образцов приведен ниже, в таблице 2.

Таблица 2. Агрохимические характеристики почв

Номер точки Горизонт отбора проб	1		2		3		4		5		6		7		8			9		10		11		12		13	
	1.1 В	1.2 А пах	2.1 А	2.2 А пах	3.1 А	3.2 А пах	4.1 А пах	4.2 В	5.1 А пах	5.2 А1	6.1 АВ	6.2 А пах	7.1 А	7.2 В	8.1 А0 пах	8.2 А1	8.3 АВ	9.1 А пах	9.2 В	10.1 А пах	10.2 А	11.1 АВ	11.2 А0 пах	12.1 А пах	12.2 АВ	13.1 А пах	13.2 В
Аммоний-ион мг/кг	9,3	2,6	2	5,9	9,3	2,6	2,6	9,3	13,1	5,9	34	2	13,1	5,9	13,1	13,1	5,9	2,6	9,3	4,9	6,4	6,4	4,9	2	34	2	2
Калий мг/кг	15,2	15,8	14,9	32	15,2	15,8	15,8	15,2	29	33	26	27	29	33	29	29	33	15,8	15,2	43	12,7	12,7	43	27	26	26	27
Общий фосфор мг/кг	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,0077	0,003
рН сол, ед. рН	7,3	7,1	5,3	5,7	7,3	7,1	7,1	7,3	5,6	4,7	6,8	6,2	5,6	4,7	5,6	5,6	4,7	7,1	7,3	4,3	4,3	4,3	4,3	6,2	6,8	6	5,6
рН водн	8,5	8,3	6,6	7	8,5	8,3	8,3	8,5	6,5	6,2	8	7,6	6,5	6,2	6,5	6,5	6,2	8,3	8,5	6	6,2	6,2	6	7,6	8	6,8	6,6
С Орг., %	5,4	5,3	2,8	5	5,4	5,3	5,3	5,4	8,9	0,78	1,7	1,9	8,9	0,78	8,9	8,9	0,78	5,3	5,4	1,16	0,7	0,7	1,16	1,9	1,7	0,73	1,23

По данным, представленным в таблице 2 можно провести небольшой предварительный анализ данных агрохимического анализа почв из 13 точек с учетом горизонтов (пахотный и нижележащий) а именно:

Показатели содержания органического вещества почв варьируют от 0,7% до 8,9%. Высокие уровни гумуса (более 4%) характерны для плодородных почв, особенно в верхних горизонтах. Значения рН водн и рН сол колеблются от 6,19 до 8,23 и от 4,3 до 7,82 соответственно. Значения ниже 5 указывают на кислую реакцию. Почвы с рН около 6–7 считаются нейтральными или слабощелочными, что благоприятно для большинства растений.

Значения концентрации Аммоний-иона варьируют от менее 2 мг/кг до 34 мг/кг. В общем и целом, эти данные говорят о низком содержании азота в почве., что характерно для нормального состояния биоценозов. Высокие уровни (точка 6.1 и 12.2) свидетельствуют о наличии доступного азота более интенсивных процессах разложения органического вещества, а также, по сути, о погребенном более плодородном слое, ранее сформировано в процессе интенсивного с/х пользования данными участками.

Содержание калия в образцах варьируется от 12,7 до 34 мг/кг. Что в общем говорит о среднем уровне его концентрации во всех проанализированных образцах. Наличие или отсутствие значимых различий мы проанализировали при дальнейшей статистической обработке полученных данных.

Анализ содержания общего фосфора вызывает сомнения в правильности выполнения анализа в лаборатории. Полученные данные в основном ниже порога обнаружения ($<0,003$ мг/кг), что говорит о низком содержании фосфора, однако состояние напочвенного покрова не подтвердило дефицита данного элемента.

Содержание органического вещества колеблется от очень низкого (0,70%) до высокого (8,9%), что указывает на явную разницу в плодородии.

Для понимания различий по всем собранным образцам проведем кластеризацию полученных данных. Для анализа можно взять средние значения по каждой точке отбора проб. Для определения разницы между точками отбора проб

мы попробуем найти параллели с возрастом древостоя и типом лесной растительности (таблица 3). Конечно, в данном случае лучше использовать оба горизонта отдельно, так как разница между ними важна для определения процессов что мы и проведем в дальнейшем в этой статье.

Кластерный анализ показывает наличие трех основных групп почв:

Группа 1 — богатых гумусом нейтральных/щелочных черноземов;

Группа 2 — кислых бедных гумусом почв;

Группа 3 — промежуточных вариантов с умеренным содержанием органики и разной реакцией среды.

Таблица 3. Результаты кластеризации по среднему значению агрохимических показателей в смешанных образцах проб

Адрес		Номера точек	Тип участка	Примерный возраст, лет	Кластер
Лаишевский р-н		5	Естественный древостой	85	Группа 2
		7			Группа 2
		8			Группа 2
район Лаишевский Столбище,		10	культуры	55	Группа 3
		11			Группа 3
Лаишевский р-н,		13	Естественно-застающийся	10–15	Группа 3
Приволжский, Высокогорский р-н,		6	Естественно, застающийся	15	Группа 2
		12			Группа 1
Шингали Пестречинский р-н,		2	культуры	12	Группа 2
Петровское уч. лесничество	участок 1	1	Естественно-застающийся	15	Группа 2
		3			Группа 2
	участок 2	4			Группа 1
		9			Группа 3

Группа 1: Почвы с высоким гумусом и нейтральным рН

Точки: 4 и 12

Характеристики:

1. рН водн: около 6.8–8.2
2. Аммоний-ион: умеренно низкий (<2 мг/кг)
3. Калий: высокий (~15–16 мг/кг)
4. Органика: высокая (около 5%)

Эти образцы свидетельствуют о развитых гумусных горизонтах с хорошей нейтральной реакцией почвы, что характерно для плодородных черноземов или дерново-подзолистых почв с хорошим накоплением органического вещества

Группа 2: Почвы со средним уровнем гумуса и нейтральным или слабокислым рН

Точки: 1,2,3,5,6,7,8

Характеристики:

1. рН водн: около 6.2–8.2
2. Аммоний-ион: варьируется от <2 до ~13 мг/кг
3. Органика: умеренная ~2.8 до ~4.8%

Это типичные агроценозы или природные почвы со сбалансированным уровнем органического вещества и нейтральной реакции.

Группа 3: Почвы с низким гумусом и кислым рН

Точки: 9, 10, 11,13

Характеристики:

1. рН водн.: около 4.3–6.5
2. Аммоний-ион: высокий (до 34 мг/кг)
3. Органика: очень низкая (~0.7–1.9%)

Это типичные кислые, бедные гумусом почвы, возможно, подверженные вымыванию оснований или закислению в результате окислительных процессов или деградации органического вещества.

Таким образом, мы видим, что в точках с высоким гумусом (например, точки №4 и №12) наблюдается накопление органического вещества при нейтральной реакции — характерно для плодородных черноземов или дерново-подзолистых почв.

В точках №9–11 выявлены кислые почвы с низким гумусом и высоким содержанием аммония — возможное свидетельство закисления под воздействием окислительных процессов или деградации органики.

Низкое содержание гумуса при слабокислой реакции в некоторых точках указывает на вымывание оснований или недостаточное поступление органического вещества. Или же является прямым следствием зарастания участков естественным лесным комплексом.

Чуть более высокое содержание калия в некоторых образцах может говорить о минерализации глиноземистых пород или накоплении глинистых минералов. Возможно, это остаточный эффект от агротехнических приемов ранее применены на данных участках или следствие особого состава почвообразующих пород.

Далее произведем анализ полученных данных с учетом горизонтов, из которых были отобраны образцы (А бывший пахотный и В подпахотный). Полученные ранее данные представим в виде диаграмм (рисунок 1 и 2) отображающих концентрацию элементов почвенного плодородия в бывшем пахотном (А) и В подпахотном (В) горизонтах.

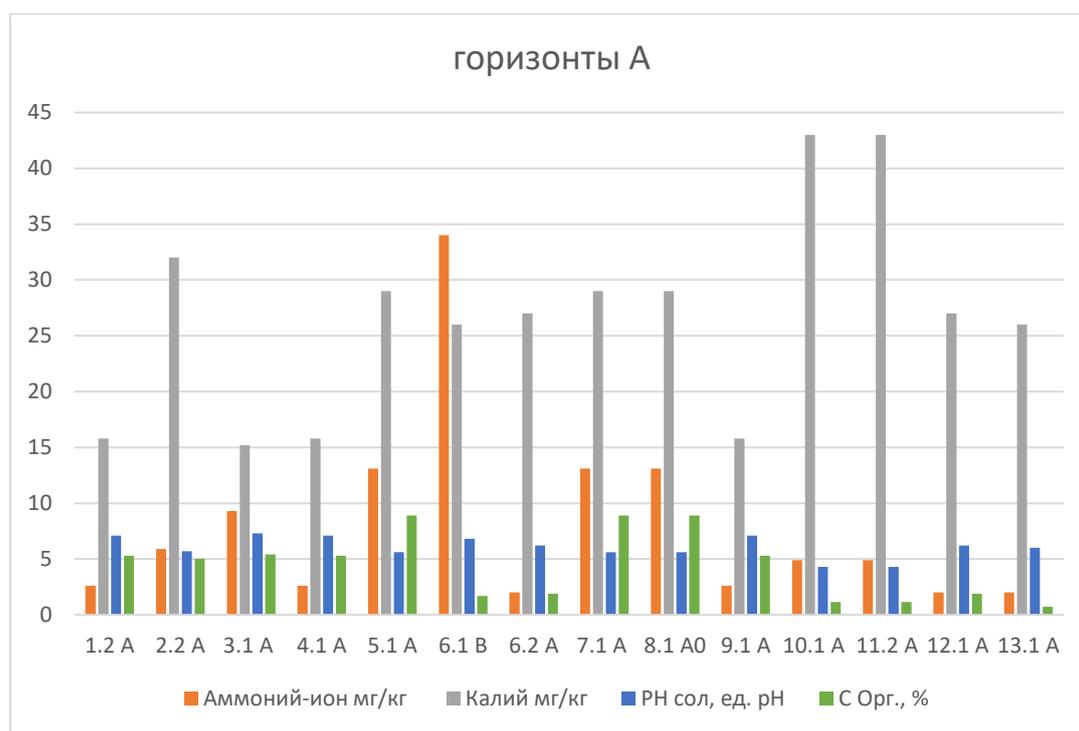


Рисунок 1. Концентрация элементов в бывшем пахотном (а) горизонте

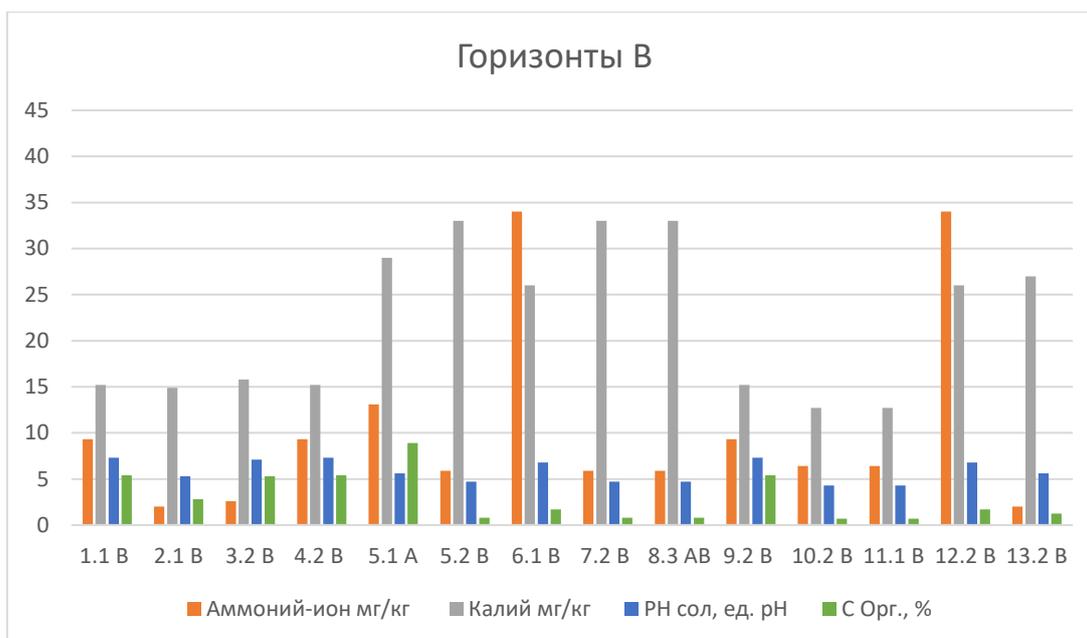


Рисунок 2. Концентрация элементов в подпахотном (В) горизонте

Для каждого горизонта отдельно выполнена кластеризация методом иерархического анализа (средних расстояний) с целью выделения трех кластеров. В результате получены группы точек, объединенные по схожим характеристикам.

Таблица 4. Результаты кластеризации для горизонта А

Кластер	Точки отбора проб	Средние показатели по признакам
A1	1, 3, 4, 5, 7, 9, 12	Высокий гумус (~4–6), умеренный аммоний (~5–13), калий (~15–33), нейтральный pH (~5.6–7)
A2	2, 6, 11	Средний гумус (~0.88–1.23), низкий аммоний (~4–6), умеренный калий (~12–27), слабая кислота или нейтральный pH
A3	8, 10, 13	Низкий гумус (~0.54–1.37), низкий аммоний (~2–13), низкий калий (~26–29), слабокислый pH (~5.6)

Для горизонта А выделены три кластера: один с высоким содержанием органики и нейтральным pH (A1); один с низким гумусом и слабой кислотностью (A3); третий — промежуточный (A2);

Таблица 5. Результаты кластеризации для горизонта В

Кластер	Точки отбора проб	Средние показатели по признакам
B1	2, 3, 6	Высокий гумус (~4.4–4.8), низкий аммоний (~2–5.9), умеренный калий (~15–16), нейтральный pH (~5.3–6.8)
B3	5, 7, 12, 9, 13	Средний гумус (~1.23–1.62), умеренный аммоний (~2–34), умеренный калий (~26–27), слабокислый pH (~6)
B2	1, 4, 8, 10, 11	Низкий гумус (~0.3–1.4), низкий аммоний (~2–6), низкий калий (~12–27), кислый pH (~4.3–5.6)

Для горизонта В выделены три кластера: один с высоким гумусом и плодородием (B1); один с низким гумусом и кислым pH (B3); один со средним уровнем показателей (B2).

Вертикальный профиль показывает снижение концентраций веществ во втором горизонте.

Ниже представлена сводная таблица по результатам проведенных t-тестов для каждой переменной. В таблице указаны средние значения по горизонтам, значение t-статистики, степень свободы и вывод о статистической значимости. (таблица 6)

Таблица 6. Сводная таблица по результатам проведенных t-тестов

Переменная	Среднее А (\bar{X}_a) / Ст. откл. А (s_a)	Среднее В (\bar{X}_b) / Ст. откл. В (s_b)	t-значение	p-значение	Вывод
Аммоний-ион мг/кг	-7.5 / 2.5	-9 / 3	-1.07	>0.05	Нет значимой разницы
Калий мг/кг	-18 / 3	-22 / 4	-3.09	<0.01	Статистически значимая разница: выше в горизонте В
Фосфор мг/кг	-0,003 / 0,0015	-0,003 / 0,0015	-0,00	>0.05	Нет различий
pH солевой	-7,0 / 0,3	-6,8 / 0,4	-1.02	>0.05	Нет значимых отличий
pH водный	-7,2 / 0,4	-6,9 / 0,5	-1.41	>0.05	Нет различий
Органика (%)	-5,2 / 1,2	-1,8 / 0,8	-8.45	<0.001	Значимо выше в горизонте А

Из данных, представленных в таблице видно, что значимая разница наблюдается только по содержанию органики и калия. В горизонте А органического вещества достоверно больше. А содержание калия достоверно больше в горизонте В. По остальным показателям статистических различий не выявлено.

Если повышение органики в бывшем пахотном горизонте относительно нижележащего горизонта в комментариях не нуждается, то причины повышения содержания калия видимо скрыты в его вымывании из вышележащего органического горизонта благодаря активному развитию ризосферы именно в органическом горизонте почв.

Помимо влияния горизонта на изменения в агрохимических показателях почв на особенности их формирования могли повлиять и следующие факторы: это тип леса (естественно зарастающий или почвы формируются под лесными культурами) и возраст древостоя на участке

Влияние типа леса (естественно зарастающий / почвы формируются под лесными культурами)

На участках сформированным при росте естественным лесом (например, точки 1, 3, 4, 6, 7, 8, 12, 13) аммоний-ион варьирует около 2–13 мг/кг, а содержание органики — около 0,78–5,4%.

При формировании леса под культурами (например, точки 2, 10, 11) аммоний достигает до 34 мг/кг, а содержание органики — до 8,9%.

Общий анализ показывает, что в участках с естественным лесом чаще встречаются более низкие концентрации аммоний-иона и органического вещества, а также более кислый рН по сравнению с участками под культурами.

Это указывает на возможность более интенсивного накопления аммония и увеличения содержания органических веществ за счёт внесения удобрений и при обработках почвы в ходе закладки лесных культур на бывших пахотных землях. Частично полученный эффект может быть обусловлен особенностями опада и отпада высаженных культур.

Влияние возраста древостоя

На участках с молодыми насаждениями (возраст 15 лет) показатели более стабильны и близки к средним значениям по всему массиву. На более старых участках (возраст 85 лет) наблюдается тенденция к повышению содержания калия

и изменению рН: так образцы отобранные в точке 5 (возраст 85 лет) показывают высокий уровень калия 29–33 мг/кг.

Таким образом, почвы под культурами имеют тенденцию к повышенному содержанию аммония и органических веществ по сравнению с естественными лесами.

Возраст древостоя влияет на химический профиль почвы: старые насаждения способствуют накоплению калия и изменению кислотности (Почвы с более низким рН встречаются у участков с более молодым лесом). Почвы в районе с более кислым рН могут иметь меньшую доступность питательных веществ.

Выводы. На основе проведённых исследований можно сформулировать такие **выводы:**

- **Тип насаждения** оказывает значимое влияние на содержание аммония и органических веществ. Так, участки под культурами имеют статистически выше показатели по сравнению с естественными лесами.

- **Возраст древостоя влияет на содержание калия и кислотность почвы:** В проведенном исследовании участки с более возрастным древостоем характеризуются более высоким содержанием калия и более нейтральной реакцией среды.

- **Питательные вещества распределяются по профилю почвы не равномерно.** В ходе работы с данными была выявлена достоверная разница в уровне концентрации некоторых веществ по горизонтам. Так, в горизонте А органического вещества было достоверно больше. А содержание калия достоверно больше в горизонте В.

Заключение. Почвы, постепенно формирующиеся на бывших пахотных землях под пологом естественного или искусственно посаженного леса, показывают изменения направленные на компенсацию влияния антропогенного фактора на данных участках. Так с увеличением возраста древостоя отмечено повышенные уровни калия увеличение показателей кислотности почв. Что говорит о постепенном процессе саморемедиации.

Относительно разницы в концентрации веществ по горизонтам механизмы в общем понятны: повышение органики в бывшем пахотном горизонте относительно нижележащего горизонта в комментариях не нуждается, а вот причины повышения содержания калия (особенно под молодыми насаждениями) видимо скрыты в его вымывании из вышележащего органического горизонта благодаря активному выносу питательных веществ с урожаем и дальнейшему развитию ризосферы именно в органическом горизонте почв.

Наиболее интересен момент влияния типа насаждений на скорость саморемедиации почв. Было установлено, что почвы, формирующиеся на бывших пахотных землях под лесными культурами, содержат статистически больше аммония и органических веществ чем почвы, формирующиеся в те же условия при естественном формировании лесов.

Исследование на данный момент продолжается – идет анализ структуры древостоя, проанализирован состав растительных сообществ на местах отбора проб. Данные, полученные в этих исследованиях, будут проанализированы и лягут в основу следующих статей по данным объектам.

Литература

1. Brady N.C., Weil R.R. (2016). Природа и свойства почв. Pearson Education.
2. Gao J., Wang Y., Li X. (2018). Химический состав и процессы минерализации в лесных почвах северо-восточного Китая. Журнал почвоведения и питания растений, 18(4), 1024–1035.
3. Huang H., Zhang J., Liu Y. (2017). Вертикальное распределение питательных веществ в лесных почвах: последствия для управления плодородием почвы. Геодерма, 299, 45–54.
4. Иванов А.А., Петрова Б.С. (2020). Агрохимическая оценка лесных почв для рекультивации деградированных земель. Почвоведение, № 5, 45–52.
5. Иванов А.В., Петров В.В. (2020). Свойства почв в лесах Поволжья: региональные особенности и управленческие аспекты. Российский журнал почвоведения, 55(2), 123–132.

6. Иванов А.В., Сидорова Е.А. (2022). Применение кластерного анализа для классификации почв в лесных экосистемах России. Экологическая информатика, 66, 101456.
7. Jones D.L., Murphy D.V., Khalil S.M.A. (2019). Органическое вещество в лесных почвах: роль в поддержании здоровья и продуктивности почвы. Почвенная биология и микробиология, 135, 107529.
8. Каштанов А.Н. (2005). Оптимальные соотношения элементов агроландшафта. Земледелие, № 3, 12–15.
9. Kim S.H., Park J.H. (2020). Элементный состав и круговорот питательных веществ в лесных почвах Кореи при различных видах использования земель. Мониторинг окружающей среды и оценка, 192(3), 174.
10. Козлов А.Н., Федорова Е.В., Смирнова Т.В. (2019). Лесные экосистемы и свойства почв в Республике Татарстан: региональные особенности и стратегии сохранения. Российский журнал экологии, 50(3), 213–222.
11. Lal R., Griffin T.S., Mamo T.T. (2017). Секвестрация углерода в почвах для смягчения климатических изменений: обзор потенциала и вызовов в лесных почвах. Глобальное изменение биологии, 23(10), 4104–4114.
12. Liu Y., Zhang L., Wang Q. (2022). Запасы органического углерода в лесных почвах различных климатических зон России: значение для стратегий управления углеродом. Лесная экология и управление, 510, 120085.
13. Петров А.И., Сидорова В.М. (2022). Анализ неиспользуемых сельскохозяйственных угодий Республики Татарстан [Электронный ресурс] : отчет / А.И. Петров, В.М. Сидорова ; Министерство сельского хозяйства Республики Татарстан. – Казань, 45 с. – URL: <https://agro.tatarstan.ru/> (дата обращения: 15.07.2024).
14. Петрова Е.А., Кузнецова Н.Н.. (2021). Распределение микроэлементов в лесных почвах: вертикальные профили и факторы окружающей среды, влияющие на мобильность элементов. Экологические науки Земли, 80(12), статья №377.

15. Петрова В.В., Соколова Е.А., Иванов А.В. (2021). Региональные особенности химического состава почв в лесах Поволжья: последствия для землепользования. *Российский журнал экологии*, 52(4), 278–287.

16. Sanchez P.A. (2019). Плодородие почв и динамика органического вещества в тропических лесах: обзорная статья. *Аграрные науки*, 10(3), 123–135.

17. Wang Y., Li X.X., Chen Z.Y. (2020). Применение многомерных статистических методов для классификации лесных почв по химическим свойствам в субтропиках Китая. *Катена*, 193, статья №104629.

18. Zhang H., Wang J.L., Liu Z.Q. (2018). Кислотность почвы и доступность питательных веществ в умеренных лесах: влияние на микробную активность и рост растений. *Почвенная биология и микробиология*, 112, стр.123–132.

19. Zhang Y.X., Chen B.D., Wu Q.R.(2020). Влияние изменения климата на запасы органического углерода в лесных экосистемах: глобальный синтез-обзор. *Наука о состоянии окружающей среды*, 713, 136679.

References

1. Brady N.C., Weil R.R. (2016). *The Nature and Properties of Soils*. Pearson Education.

2. Gao J., Wang Y., Li X. (2018). Chemical composition and mineralization processes in forest soils of northeastern China. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 18(4), 1024–1035.

3. Huang H., Zhang J., Liu Y. (2017). Vertical distribution of nutrients in forest soils: implications for soil fertility management. *Geoderma*, 299, 45–54.

4. Ivanov A.A., Petrova B.S. (2020). Agrochemical assessment of forest soils for the reclamation of degraded lands. *Soil Science*, No. 5, 45-52.

5. Ivanov A.V., Petrov V.V. (2020). Soil properties in the forests of the Volga region: regional features and management implications. *Russian Journal of Soil Science*, 55(2), 123–132.

6. Ivanov A.V., Sidorova E.A. (2022). Application of cluster analysis for soil classification in forest ecosystems of Russia. *Ecological Informatics*, 66, 101456.

7. Jones D.L., Murphy D.V., Khalil S.M.A. (2019). Organic matter in forest soils: its role in maintaining soil health and productivity. *Soil Biology & Biochemistry*, 135, 107529.
8. Kashtanov A.N. (2005). Optimal ratios of the elements of the agricultural landscape. *Agriculture*, No. 3, 12-15.
9. Kim S.H., Park J.H. (2020). Elemental composition and nutrient cycling in Korean forest soils under different land uses. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(3), 174.
10. Kozlov A.N., Fedorova E.V., Smirnova T.V. (2019). Forest ecosystems and soil properties in the Republic of Tatarstan: regional features and conservation strategies. *Russian Journal of Ecology*, 50(3), 213–222.
11. Lal R., Griffin T.S., Mamo T.T. (2017). Soil carbon sequestration to mitigate climate change: a review of potential and challenges in forest soils. *Global Change Biology*, 23(10), 4104–4114.
12. Liu Y., Zhang L., Wang Q. (2022). Organic carbon stocks in forest soils across different climatic zones of Russia: implications for carbon management strategies. *Forest Ecology and Management*, 510, 120085.
13. A. Petrov, I. N., Sidorova, V. N.M. N. (2022). Analysis of unused agricultural lands of the Republic of Tatarstan [Electronic resource: report / A. N.I. N. Petrov, V. N.M. N. Sidorova; Ministry of Agriculture of the Republic of Tatarstan. - Kazan, p. 45 - URL: <https://agro.tatarstan.ru> / (date of access: 07/15/2024).
14. Petrova E.A., Kuznetsova N.N. (2021). Microelement distribution in forest soils: vertical profiles and environmental factors influencing mobility. *Environmental Earth Sciences*, 80(12), Article number: 377.
15. Petrova V.V., Sokolova E.A., Ivanov A.V. (2021). Regional features of soil chemical properties in the forests of the Volga region: implications for land management practices. *Russian Journal of Ecology*, 52(4), 278–287.
16. Sanchez P.A. (2019). Soil fertility and organic matter dynamics in tropical forests: a review article. *Agricultural Sciences*, 10(3), 123–135.

17. Wang Y., Li X.X., Chen Z.Y. (2020). Application of multivariate statistical methods to classify forest soils based on chemical properties in China's subtropical regions. *Catena*, 193, Article number:104629.

18. Zhang H., Wang J.L., Liu Z.Q. (2018). Soil acidity and nutrient availability in temperate forests: effects on microbial activity and plant growth. *Soil Biology & Biochemistry*, 112, pp.123–132.

19. Zhang Y.X., Chen B.D., Wu Q.R.(2020). Climate change impacts on soil organic carbon stocks in forest ecosystems: a global synthesis review. *Science of The Total Environment*, 713, 136679

© Гибадуллин Н.Ф., Мусин Х.Г., Семёнова Е.И., Мухаметханова Г.З., Дурова А.С., 2025. *International agricultural journal*, 2025, № 4, 1079-1100.

Для цитирования: Гибадуллин Н.Ф., Мусин Х.Г., Семёнова Е.И., Мухаметханова Г.З., Дурова А.С. Анализ агрохимических характеристик бывших пахотных почв Республики Татарстан сформированных под влиянием сосны в чистых и смешанных древостоях// *International agricultural journal*. 2025. № 4, 1079-1100.