

Научная статья

Original article

УДК 630*1

doi: https://doi.org/10.55186/25880209_2026_10_2_8

edn: KFCXVP

**АНАЛИЗ АГРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В
ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА ПОЧВ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ В
ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ
AGROCHEMICAL PROPERTIES OF SOILS UNDER DIFFERENT
FOREST VEGETATION TYPES IN CENTRAL YAKUTIA**



Федоров Андрей Яковлевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры Технология и оборудование лесного комплекса, ФГБОУ ВО Арктический государственный агротехнологический университет (677010, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, Сергеляхское шоссе 3 км, дом 3), тел. 8-914-109-42-77, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8662-4380>, afedorov684@gmail.com

Николаева Февронья Васильевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры Технология и оборудование лесного комплекса, ФГБОУ ВО Арктический государственный агротехнологический университет (677010, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, Сергеляхское шоссе 3 км, дом 3), тел. 8-914-273-34-91, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5709-2012>, Yad250673@mail.ru

Иванов Айаал Алексеевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры Технология и оборудование лесного комплекса, ФГБОУ ВО Арктический государственный агротехнологический университет (677010,

Республика Саха (Якутия), г. Якутск, Сергеляхское шоссе 3 км, дом 3), тел. 8-914-115-24-55 ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7631-7392>, aiaaliv@mail.ru

Andrey Y.Fedorov, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Technology and Equipment of the Forest Complex, Arctic State Agrotechnological University (3 km Sergelyakhskoye Highway, Building 3, Yakutsk, 677010, Republic of Sakha (Yakutia), Russian Federation), phone: +7-914-109-42-77, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8662-4380>, e-mail: afedorov684@gmail.com

Fevronya V.Nikolaeva, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Technology and Equipment of the Forest Complex, Arctic State Agrotechnological University (3 km Sergelyakhskoye Highway, Building 3, Yakutsk, 677010, Republic of Sakha (Yakutia), Russian Federation), phone: +7-914-273-34-91, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5709-2012>, Yad250673@mail.ru

Ayaal A.Ivanov, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Technology and Equipment for the Forestry Complex, Arctic State Agricultural University (677010, Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Sergelyakhskoye Shosse 3 km, Building 3), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7631-7392>, aiaaliv@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты сравнительного анализа агрохимических характеристик почв под различными типами лесных насаждений Центральной Якутии (берёзовыми, лиственничными, сосновыми и еловыми), формирующихся в условиях многолетней мерзлоты. Оценены показатели реакции почвенной среды, содержания органического вещества, общего и нитратного азота, подвижных форм фосфора и калия, а также солевого состава. Установлено, что тип древесной растительности оказывает существенное влияние на агрохимическое состояние почв. Почвы берёзовых и лиственничных лесов характеризуются более высоким уровнем естественного плодородия за счёт повышенного содержания гумуса и доступных форм фосфора и калия. Почвы сосновых насаждений отличаются

наименьшей обеспеченностью элементами питания и более кислой реакцией среды. Почвы еловых лесов занимают промежуточное положение по уровню агрохимических показателей. Полученные результаты отражают специфику биологического круговорота веществ в лесных экосистемах Центральной Якутии и могут быть использованы при лесовосстановлении, создании лесных культур и оценке экологического состояния почв в криолитозоне.

Abstract. The paper presents the results of a comparative analysis of agrochemical properties of soils under different types of forest stands (birch, larch, pine, and spruce) in Central Yakutia, formed under permafrost conditions. The study assesses soil reaction, organic matter content, total and nitrate nitrogen, available forms of phosphorus and potassium, and soluble salts. The results show that the type of forest vegetation has a significant effect on soil agrochemical characteristics. Soils under birch and larch forests are characterized by higher natural fertility due to increased humus content and higher availability of phosphorus and potassium. Pine forest soils exhibit the lowest levels of organic matter and available nutrients and a more acidic soil reaction. Spruce forest soils occupy an intermediate position in terms of agrochemical indicators. The revealed patterns reflect the specific features of biogeochemical cycling in forest ecosystems of Central Yakutia and can be used for forest restoration planning, selection of tree species for afforestation, and assessment of soil ecological conditions in permafrost regions.

Ключевые слова: лесные почвы; агрохимические показатели; гумус; фосфор; калий; азот; тип лесных насаждений; Центральная Якутия; многолетняя мерзлота

Keywords: forest soils; agrochemical properties; humus; nitrogen; phosphorus; potassium; forest vegetation types; Central Yakutia; permafrost

Центральная Якутия характеризуется широким разнообразием лесных экосистем, формирующихся в условиях многолетнемерзлых пород и резко континентального климата. В пределах региона распространены лиственные

(берёзовые) и хвойные (лиственничные, сосновые, еловые) насаждения, отличающиеся структурой древостоя, типом подстилки и интенсивностью биологического круговорота веществ.

Известно, что древесная растительность оказывает существенное влияние на процессы почвообразования, определяя реакцию среды, содержание органического вещества и обеспеченность почв элементами минерального питания. Однако количественная оценка агрохимических различий почв под разными типами лесных насаждений в условиях Центральной Якутии представлена в научных исследованиях фрагментарно и требует уточнения.

Целью настоящей работы является сравнительный анализ ключевых агрохимических показателей почв под берёзовыми, лиственничными, сосновыми и еловыми лесными насаждениями Центральной Якутии с выявлением закономерностей, обусловленных типом древесной растительности.

Объект и методы исследования

Объектом исследования являлись почвы под основными типами лесных насаждений Центральной Якутии, представленными берёзовыми, лиственничными, сосновыми и еловыми лесами, формирующимися в условиях многолетней мерзлоты.

Предметом исследования являлись агрохимические свойства почв, включая реакцию почвенной среды, содержание органического вещества, общего и нитратного азота, подвижных форм фосфора и калия, а также показатели солевого состава.

Почвенные образцы отбирались в пределах типичных участков лесных насаждений с однородными природно-климатическими условиями. Отбор проб осуществлялся из верхнего почвенного горизонта с соблюдением общепринятых требований агрохимических исследований. Подготовка образцов включала воздушно-сухое высушивание и просеивание через сито.

Определение реакции почвенной среды проводилось потенциометрическим методом в водной и солевой (KCl) вытяжках. Содержание гумуса определяли по методу Тюрина. Общий азот определяли стандартным агрохимическим методом. Содержание нитратного азота (N-NO_3) определяли в почвенной вытяжке фотометрическим методом. Подвижные формы фосфора и калия определяли с использованием общепринятых агрохимических методик, соответствующих реакции среды и свойствам исследуемых почв. Гидролитическую кислотность и щелочность определяли титриметрическими методами. Содержание хлоридов определяли argentометрическим методом.

Полученные экспериментальные данные обрабатывались методами сравнительного анализа с последующей интерпретацией выявленных различий в зависимости от типа лесных насаждений.

Результаты исследований

Учитывая межгоризонтную вариабельность реакции среды (pH) и содержания органического вещества, определение и оценку подвижных форм фосфора и калия в контрастных по составу и свойствам генетических горизонтах следует выполнять с использованием адекватных им агрохимических методик и соответствующих нормативов. В силу различий pH и доли органического вещества между генетическими горизонтами почв, анализ подвижных форм P и K в контрастных горизонтах должен осуществляться по согласованным с их характеристиками стандартным агрохимическим методам и регламентирующим нормативам. Поскольку реакция среды и содержание органического вещества существенно варьируют по генетическим горизонтам, оценка подвижных форм фосфора и калия в контрастных по гранулометрическому и химическому составу горизонтах требует применения методологически соотнесённых агрохимических процедур и нормативных значений [2]

Агрохимическое состояние почв существенно различается в зависимости от типа лесных насаждений (табл. 1), что отражает специфику биологического круговорота веществ и условия почвообразования.

Реакция почвенной среды варьирует от слабокислой до щелочной. Наиболее кислая реакция водной вытяжки зафиксирована в почвах под сосновым лесом ($pH_{(вод)} = 6,51$), тогда как под лиственничным лесом отмечено резко щелочное значение ($pH_{(вод)} = 8,81$). Почвы берёзовой рощи и ельника характеризуются реакцией, близкой к нейтральной (7,80 и 7,35 соответственно). При определении pH в солевой вытяжке (KCl) различия между вариантами выражены значительно слабее (7,32–7,52), что свидетельствует о высоком уровне насыщенности основаниями и низкой обменной кислотности всех исследованных почв.

Низкие значения гидролитической кислотности (0,70–0,89 мг/100 г) и практически одинаковая щелочность (0,54–0,57 мг/100 г) указывают на отсутствие выраженных процессов подкисления и засоления. Эти особенности обусловлены карбонатным составом почвообразующих пород Центральной Якутии и мерзлотными условиями, ограничивающими вымывание оснований. Небольшое повышение кислотности (снижение pH) отмечается лишь в водной вытяжке под сосняком, что может быть связано с накоплением органических кислот из хвойного опада в условиях относительно более кислой и бедной почвы соснового леса.

Таблица 1. Агрохимические показатели почв различных типов лесных насаждений (ель, берёза, сосна, лиственные породы) на примере Центральной Якутии

Показатель	Берёзовая роща	Лиственничный лес	Сосновый лес	Еловый лес
pH водный	7,80	8,81	6,51	7,35
pH-солевое	7,45	7,52	7,50	7,32
N-NO ₃ , мг/кг	0,09	0,13	0,05	0,05

Гумус, %	2,71	2,30	1,47	2,05
Азот общий, %	0,43	0,35	0,38	0,44
Г/кислотность, мг/100г	0,70	0,89	0,75	0,75
P ₂ O ₅ , мг/кг	154,94	139,22	< 80	< 80
K ₂ O, мг/кг	90,88	56,92	28,85	50,82
Хлориды, мг/100г	0,55	0,48	0,47	0,47
Щелочность, мг/100г	0,57	0,55	0,54	0,55

Содержание органического вещества и связанного с ним общего азота также существенно зависит от типа леса. Максимальная концентрация гумуса отмечена в почвах берёзовой роши (2,71%), несколько ниже — под лиственничным (2,30%) и еловым лесом (2,05%). Наименьшее содержание гумуса характерно для сосновых почв (1,47%), что свидетельствует о бедности органических остатков и, вероятно, о более быстром их разложении или выгорании.

Аналогичная тенденция прослеживается и для общего азота, максимальные значения которого зафиксированы в почвах берёзового и елового лесов (0,43–0,44%). Общий запас азота колеблется в относительно узких пределах и в целом соответствует содержанию гумуса: выше всего азота в почвах берёзового (0,43%) и елового леса (0,44%), ниже – под лиственничником (0,35%). Примечательно, что в наиболее мало-гумусной почве сосняка доля общего азота (0,38%) не самая низкая, сравнимая с другими типами. Это может указывать на особый состав органического вещества в сосновом лесу или на концентрацию азота в небольшом количестве накопленного гумуса (возможно, вследствие медленного разложения и концентрации стабильного азота в торфянистой подстилке). В целом же различия в запасах гумуса и азота объясняются количеством и качеством опада и условиями его разложения: берёзовый лиственный опад

богат питательными элементами и относительно быстро минерализуется, способствуя накоплению гумуса и азота в почве, тогда как хвойный опад сосны беден азотом и разлагается медленнее. Кроме того, сухие бедные песчаные почвы сосновых боров способствуют более полному окислению органики и препятствуют её накоплению. Еловые леса обычно отличаются толстым слоем подстилки и замедленным разложением вследствие прохладного, влажного микроклимата, что ведёт к умеренному накоплению гумуса (на уровне ~2%) при одновременном сохранении в нём относительно высокого содержания азота. Ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.) выступает устойчивым эдификатором или субэдификатором темнохвойных лесов главным образом по ключам и вдоль русел рек и ручьев. На остальной территории она чаще присутствует как небольшая примесь в древостоях пихты сибирской и кедра сибирского; местами, в поймах, встречается вместе с лиственницей и лиственными породами. Это мезофит и мезотроф, теневыносливая, несолеустойчивая порода с медленным темпом роста. В Якутии ель образует чистые и смешанные леса в долинах крупных рек — Лены, Алдана, Вилюя и др. Для условий Центральной Якутии ель сибирская рассматривается как ценный и перспективный интродуцент для озеленения. Будучи более требовательной к почвенной среде, чем сосна и лиственница, при создании в культуре благоприятных условий влажности и обеспеченности питательными элементами существенно ускоряет рост [1]. [3]

В лиственничных лесах открытый светлый древостой и наличие травяного покрова создают условия для поступления разнообразного опада (как хвойного, так и травянистого) и его интенсивной минерализации в тёплое время года. Несмотря на близкое к берёзовому количество гумуса, общий азот в лиственничной почве несколько ниже, что может отражать более полное микробное разложение азотсодержащих соединений или их вымывание в этих условиях.

Особенно выраженные различия выявлены по обеспеченности подвижными формами фосфора и калия. Почвы под берёзовыми и

лиственничными насаждениями характеризуются высоким содержанием P_2O_5 (139–155 мг/кг) и K_2O (57–91 мг/кг), тогда как под сосновым и еловым лесом их концентрации существенно ниже. Так, в почве берёзовой рощи концентрация P_2O_5 достигает ~154,9 мг/кг, а под лиственничным лесом – ~139,2 мг/кг. Для сравнения, в почвах под сосной и елью содержание подвижного фосфора гораздо ниже (менее 80 мг/кг). Это связано как с химическим составом опада, так и с гранулометрическим составом почв: берёзовые и лиственничные леса чаще приурочены к более тяжёлым суглинистым отложениям, способным аккумулировать элементы питания, тогда как сосняки формируются преимущественно на бедных песчаных субстратах.

Похожая картина наблюдается и для обменного калия (K_2O): максимальные значения отмечены в берёзовом лесу (~90,9 мг/кг), несколько ниже в лиственничнике (~56,9 мг/кг) и ельнике (~50,8 мг/кг), тогда как в сосняке доступного калия всего около 28,9 мг/кг.

Таким образом, почвы под берёзовой и лиственничной растительностью значительно богаче подвижными формами фосфора и калия, чем почвы под хвойными насаждениями. Это можно объяснить как свойствами опада, так и свойствами самих почв. Лиственный (берёзовый) опад и ежегодно осыпающаяся хвоя лиственницы содержат больше питательных элементов (в том числе фосфора и оснований калия, кальция), которые возвращаются в почву при разложении. В дополнение, участки, занятые берёзовыми насаждениями в Центральной Якутии, как правило, имеют более плодородные почвы – нередко это более тяжелые по механическому составу суглинистые отложения, способные аккумулировать фосфаты и калий. Напротив, сосновые боры обычно приурочены к сухим песчаным террасам, бедным минеральным питанием: такие почвы изначально содержат мало фосфора и калия, хуже удерживают удобрения и сильнее подвержены вымыванию базических катионов. Кроме того, в относительно кислой среде сосняка фосфор может фиксироваться в мало-

доступных соединениях (с железом, алюминием), что снижает показатели подвижного P_2O_5 . В ельниках умеренно обеспеченные основаниями, но сильно затенённые условия также не способствуют повышенной подвижности фосфора, поскольку значительная его часть аккумулируется в органическом слое и микобиоте. [4]

Содержание нитратного азота во всех вариантах остаётся крайне низким (0,05–0,13 мг/кг), что типично для ненарушенных северных лесных экосистем. Концентрации нитратов не превышают десятых долей миллиграмма на килограмм почвы, однако заметны различия между типами леса. Максимальные значения отмечены в почвах лиственничного леса (0,13 мг/кг), что примерно в 1,5 раза выше, чем под берёзой (0,09 мг/кг), и более чем в 2 раза выше, чем под сосной или елью (по 0,05 мг/кг).

Максимальное значение зафиксировано в почве лиственничного леса, Повышенное содержание нитратов под лиственничником отражает более интенсивную нитрификацию в этих условиях. Щелочная реакция лиственничной почвы близка к оптимальной для нитрифицирующих бактерий; кроме того, разреженное светлохвойное сообщество обеспечивает хороший прогрев и аэрацию верхнего слоя почвы летом, что стимулирует микробиологическую активность. Травянистый напочвенный покров в лиственничном лесу может служить дополнительным источником легкоразлагаемой органики, способствуя образованию нитратов.

В сосновом же лесу низкое количество нитратного азота объясняется бедностью субстрата и более кислой средой, подавляющей нитрификацию; к тому же, нитрат-ионы могут быстро вымываться из песчаной почвы. В ельнике низкая концентрация нитратов связана с прохладным и влажным микроклиматом под пологом, замедляющим минерализацию, и с потреблением минерального азота густым растительным покровом (включая мхи и подлесок). Таким образом, под хвойными насаждениями (особенно сосной и елью) азот преимущественно остается в органически связанной или аммонийной форме, тогда как под лиственницей большая его часть успевает

превратиться в нитраты, хотя абсолютные величины невелики. Во всех случаях отсутствие заметного накопления нитратов указывает на то, что минеральный азот сразу включается в биологический круговорот и не накапливается в почве. [5]

Концентрация хлоридов во всех образцах минимальна и практически не различается (0,47–0,55 мг/100 г), что свидетельствует об отсутствии солевого стресса и сходных условиях водного режима почв независимо от типа лесных насаждений. Независимо от типа леса, почвы Центральной Якутии остаются несолонцеватыми, что отражает общий умеренно континентальный климат региона с преобладанием вымывания легких солей и фиксированием оснований преимущественно в форме карбонатов.

Обсуждения

Почвы берёзовых насаждений характеризуются наибольшим уровнем естественного плодородия, что выражается в нейтральной реакции среды (рН ~7,8), максимальном содержании гумуса (~2,7%) и высоком обеспечении подвижными формами фосфора (~155 мг/кг P_2O_5) и калия (~91 мг/кг K_2O).

Почвы лиственничного леса отличаются резко щелочной реакцией водной вытяжки (рН воды ~8,8) при нейтральном рН в КСl и повышенным содержанием нитратного азота (0,13 мг/кг), что отражает интенсивные процессы минерализации органического вещества в условиях разреженного древостоя. Одновременно они относительно богаты гумусом (~2,3%) и элементами питания (P_2O_5 ~139 мг/кг; K_2O ~57 мг/кг), лишь немного уступая по этим показателям берёзовым почвам.

Почвы сосновых лесов являются наименее плодородными, характеризуясь слабокислой реакцией (рН_{вод} ~6,5), низким содержанием гумуса (~1,5%) и минимальными запасами доступных элементов питания: фосфора (<80 мг/кг) и калия (~29 мг/кг). Это указывает на крайне низкое природное плодородие сосняковых почв, связанное с бедностью песчаного субстрата и малым биологическим круговоротом веществ под хвойным пологом.

Почвы еловых лесов занимают промежуточное положение по уровню плодородия, сочетая умеренное накопление органического вещества с относительно низкой обеспеченностью подвижными формами фосфора. Они характеризуются нейтральной реакцией (рН ~7,3), умеренным содержанием гумуса (~2,1%) и доступных форм Р (~<80 мг/кг) и К (~51 мг/кг). Примечательно несколько повышенное общее содержание азота (0,44%) в ельнике по сравнению с другими хвойными почвами, что может отражать накопление азота в мощной органической подстилке. В целом еловые почвы имеют более высокий уровень обеспеченности органическим веществом и азотом, чем сосновые, но уступают берёзовым по запасам питательных элементов.

Независимо от типа лесных насаждений, все исследованные почвы Центральной Якутии отличаются высоким базовым насыщением и отсутствием признаков засоления, что обусловлено особенностями почвообразующих пород и мерзлотными условиями региона. Это проявляется в нейтрально-щелочном значении рН (особенно в обменной среде), низкой гидролитической кислотности (<1 мг/100 г) и очень слабой концентрации легкорастворимых солей (хлоридов ~0,5 мг/100 г). Данные общие свойства обусловлены, главным образом, кальцийсодержащим почвообразующим субстратом региона и мерзлотными условиями, ограничивающими вымывание оснований из верхних горизонтов.

Литература

1. Чевычелов А.П., Габышева Л.П., Исаев А.П. и др. Изменение свойств мерзлотных лугово-черноземных почв Центральной Якутии под влиянием культур ели // Лесоведение. 2021. № 3. С.
2. Лукина Н.В., Орлова М.А., Бахмет О.Н. и др. Влияние растительности на характеристики лесных почв Республики Карелия // Почвоведение. 2019. № 7. С. 827–842

3. Безкоровайная И.Н., Шабалина О.М., Шугалей Л.С. Основные компоненты искусственных лесных биогеоценозов в условиях многолетнего эксперимента // Сибирский лесной журнал. 2024. № 3.
4. Сысо А.И., Десяткин Р.В., Николаева М.Х. и др. Элементный химический состав почв и растений Северной Якутии, его эколого-биогеохимическая оценка // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2023. Т. 28, № 1. С. 78–93.
5. Легостаева Я.Б. Пространственная и внутривидовая дифференциация мерзлотных почв Северо-Западной Якутии: дис. ... канд. биол. наук. – Улан-Удэ, 2020.
6. Абакумов Е.В., Лойко С.В., Истигечев Г.И. и др. Почвы черневой тайги Западной Сибири — морфология, агрохимические особенности, микробиота // Сельскохозяйственная биология. 2020. Т. 55, № 5. С. 1018–1039.

References

1. Chevychelov A.P., Gabyshva L.P., Isaev A.P. i dr. Izmenenie svojstv merzlotny`x lugovo-chernozemny`x pochv Central`noj Yakutii pod vliyaniem kul`tur eli // Lesovedenie. 2021. № 3. S.
2. Lukina N.V., Orlova M.A., Baxmet O.N. i dr. Vliyanie rastitel`nosti na karakteristiki lesny`x pochv Respubliki Kareliya // Pochvovedenie. 2019. № 7. S. 827–842
3. Bezkorovajnaya I.N., Shabalina O.M., Shugalej L.S. Osnovny`e komponenty` iskusstvenny`x lesny`x biogeocenozov v usloviyax mnogoletnego e`ksperimenta // Sibirskij lesnoj zhurnal. 2024. № 3.
4. Sy`so A.I., Desyatkin R.V., Nikolaeva M.X. i dr. E`lementny`j ximicheskij sostav pochv i rastenij Severnoj Yakutii, ego e`kologo-biogeoximicheskaya ocenka // Prirodny`e resursy` Arktiki i Subarktiki. 2023. Т. 28, № 1. S. 78–93.
5. Legostaeva Ya.B. Prostranstvennaya i vnutriprofil`naya differenciaciya merzlotny`x pochv Severo-Zapadnoj Yakutii: dis. ... kand. biol. nauk. – Ulan-Ude`, 2020.

6. Abakumov E.V., Lojko S.V., Istigechev G.I. i dr. Pochvy` chernevoj tajgi Zapadnoj Sibiri — morfologiya, agroximicheskie osobennosti, mikrobiota // Sel`skoxozyajstvennaya biologiya. 2020. T. 55, № 5. S. 1018–1039.

© Федоров А.Я., Николаева Ф.В., Иванов А.А., 2026. *International agricultural journal*, 2026, № 2, 5-18.