

Алексей Владимирович Сахаров^{1✉}, Виктория Викторовна Сахарова²,
Дмитрий Иванович Еремин³

^{1,2,3}НИИСХ Северного Зауралья, филиал ТюмНЦ СО РАН, Тюмень, Россия

¹scienes.analit@mail.ru

²analit.ka@yandex.ru

³soil-tyumen@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ СУКЦЕССИИ И ВОЗРАСТА ЗАЛЕЖИ НА ОБМЕННУЮ КИСЛОТНОСТЬ СОБСТВЕННО СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ ПОДТАЕЖНОЙ ЗОНЫ ЗАУРАЛЬЯ

Цель исследования – выявить влияние сукцессии и возраста залежи на обменную кислотность собственно серой лесной почвы подтаежной зоны Зауралья. Исследование проводили на территории Нижнетавдинского района Тюменской области в 2 км от поселка Березовка. Расстояние между точками отбора проб не превышало 1,5 км. Целинная серая лесная почва в ее естественном состоянии характеризуется внутрипрофильной дифференциацией обменной кислотности. В гумусовом горизонте A_1 обменная кислотность составляет 5,3 ед. В горизонтах A_1A_2 и B_1 рН солевой вытяжки меняется до 4,6 и 5,0 ед. соответственно. Многолетнее использование серой лесной почвы в качестве пашни привело к изменению обменной кислотности до горизонта B_2 (50–80 см). pH_{KCl} меняется от 4,6 в пахотном горизонте до 4,5 ед. в иллювиальном B_1 , глубже достоверного влияния агрогенного фактора не фиксируется. Появление травянистой растительности на постагрогенной почве в первые 15 лет восстанавливает обменную кислотность до уровня целинного участка лишь в верхнем гумусовом слое A_1 (0–20 см). В нижележащих горизонтах не отмечаются изменения относительно пахотного угодья. По прошествии 30 лет многолетние травы способствуют изменению обменной кислотности в гумусовом горизонте A_1 (0–20 см) до близкой к нейтральной степени кислотности. В нижележащих горизонтах A_1A_2 и B_1 также прослеживается приближение значения pH_{KCl} до уровня целинного участка. Хвойные деревья в первые 15 лет не оказывают негативного влияния на обменную кислотность. Однако по прошествии 30 лет они приводят к изменению видового разнообразия травянистой растительности и занимают доминирующее положение. Это привело к нивелированию восстановления за 15-летний период в верхней части почвенного профиля обменной кислотности.

Ключевые слова: залежь травянистая, серая лесная почва, обменная кислотность, сукцессия, агрогенный фактор, залежь хвойная

Для цитирования: Сахаров А.В., Сахарова В.В., Еремин Д.И. Влияние сукцессии и возраста залежи на обменную кислотность собственно серой лесной почвы подтаежной зоны Зауралья // Вестник КрасГАУ. 2026. № 5. С. 15–26. DOI: 10.36718/1819-4036-2026-5-15-26.

Финансирование: работа выполнена в рамках государственного задания № FWRZ-2026-0028.

Alexey Vladimirovich Sakharov¹, Victoria Viktorovna Sakharova², Dmitry Ivanovich Eremin³

^{1,2,3}Northern Trans-Urals Research Institute of Agriculture, branch of the Tyumen Scientific Center of the SB RAS, Tyumen, Russia

¹scienes.analit@mail.ru

²analit.ka@yandex.ru

³soil-tyumen@yandex.ru

INFLUENCE OF SUCCESSION AND FALLOW AGE ON THE EXCHANGEABLE ACIDITY OF GRAY FOREST SOIL IN THE SUBTAIGA ZONE OF THE TRANS-URALS

The aim of the study was to identify the influence of succession and fallow age on the exchangeable acidity of grey forest soil in the subtaiga zone of the Trans-Urals. The study was conducted in the Nizhnetavdinsky district of the Tyumen region, 2 km from the village of Beryozovka. The distance between sampling points did not exceed 1.5 km. Virgin grey forest soil in its natural state is characterized by an intrasoil profile differentiation of exchangeable acidity. In the humus horizon A₁, the exchangeable acidity is 5.3 units. In horizons A₁A₂ and B₁, the pH of the salt extract changes to 4.6 and 5.0 units, respectively. Long-term use of grey forest soil as arable land led to a change in exchangeable acidity down to horizon B₂ (50–80 cm). The pH_{KCl} varies from 4.6 in the plow horizon to 4.5 units in the illuvial horizon B₁; deeper, no significant influence of the agrogenic factor is recorded. The emergence of herbaceous vegetation on post-agrogenic soil during the first 15 years restores the exchangeable acidity to the level of the virgin site only in the upper humus layer A₁ (0–20 cm). No changes are noted in the underlying horizons compared to the arable land. After 30 years, perennial grasses contribute to a change in exchangeable acidity in the humus horizon A₁ (0–20 cm) to a level close to neutral. In the underlying horizons A₁A₂ and B₁, the pH_{KCl} value also tends to approach the level of the virgin site. Coniferous trees during the first 15 years do not have a negative impact on exchangeable acidity. However, after 30 years, they lead to a change in the species diversity of the herbaceous vegetation and assume a dominant position. This resulted in the neutralization of the restoration of exchangeable acidity in the upper part of the soil profile achieved during the 15-year period.

Keywords: herbalist deposit, gray forest soil, metabolic acidity, succession, agrogenic factor, coniferous deposit

Funding: the work was carried out within the framework of the state assignment № FWRZ-2026-0028.

For citation: Sakharov AV, Sakharova VV, Eremin DI. Influence of succession and fallow age on the exchangeable acidity of gray forest soil in the subtaiga zone of the trans-Urals. *Bulletin of KSAU*. 2026;(5):15-26. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2026-5-15-26.

Введение. Почва является базисом для сельскохозяйственного производства. Ее плодородие определяет качество и экономическую эффективность выращивания сельскохозяйственных культур [1, 2]. В настоящее время во всем мире наблюдается тенденция к расширению пахотных угодий. Так, по данным ФАО, за период с 2015 по 2021 г. площадь пашни во всем мире увеличилась с 1 557 112 до 1 579 878 тыс. га. Одним из лидеров по расширению сельскохозяйственных угодий является Россия [3]. По указу Президента РФ до 2030 г. планируется ввести в оборот 13,2 млн га, так как при существующей тенденции наращивания производимой продукции российские аграрии столкнулись с нехваткой пашни [4]. Практически во всех регионах страны действуют программы, частично возмещающие затраты сельскохозяйственных производителей на проведение культурно-технических мероприятий по введению залежных земель в пахотный фонд.

Несмотря на активную политику по расширению площади сельскохозяйственных угодий в Тюменской области, за последние 10 лет наблюдается активный прирост залежи и сокраще-

ние пахотных угодий. По данным доклада Росреестра о состоянии земель за 2022 г., с 1997 по 2015 г. площадь залежных земель сократилась с 136,0 тыс. до 73,4 тыс. га. Площадь пашни также увеличивалась. Это обусловлено прежде всего стабилизацией экономической ситуации и поддержкой аграрного сектора после кризиса начала 1990-х гг., что помогло перестроить аграрный сектор на экономическую модель управления.

После 2015 г. наблюдается резкий скачок площади залежи, которая достигает максимального значения в 198,8 тыс. га в 2022 г. Площадь пахотных угодий сократилась. Часть сельскохозяйственных угодий была отдана в связи с расширением границ сельских поселений. Основными причинами перевода в статус залежного угодья послужили экономические обстоятельства, а также истощение почвенного плодородия [5]. В Тюменской области данные земли отнесены к категории неиспользуемых земель, общая площадь которых составляет практически 24 % от площади сельскохозяйственных угодий. Так, для примера, серые лесные почвы подтаежной

зоны Тюменской области за период с 1997 по 2022 г. потеряли от 9 до 21 % гумуса, почти 63 % почв имеют кислую реакцию, что ведет к снижению урожайности сельскохозяйственных культур. В условиях рыночной экономики это является критической точкой для оценки целесообразности возделывания культурных видов растений на данных почвах, вследствие чего аграриями принимается решение о введении новой неиспользуемой площади земель в статус пахотного угодья, а деградировавший участок оставить. По данным ученых из Московского государственного университета, официальная статистика о неиспользуемых пахотных угодьях разнится с оценкой дистанционного обследования. Главной проблемой являются пашни, формально являющиеся сельскохозяйственным угодьем, а в действительности не используемые [6]. Причиной служат экономические затраты на восстановление сельскохозяйственного угодья. Однако зарастание деградировавшей земли является способом запуска естественных процессов восстановления [7, 8], для эффективного регулирования которого необходимо понимание того, как доминирующая сукцессия влияет на почвообразовательные процессы в определенной почвенно-климатической зоне.

Цель исследования – выявить влияние сукцессии и возраста залежи на обменную кислотность собственно серой лесной почвы подтаежной зоны Зауралья.

Объекты и методы. Объект исследования – серая лесная почва (по классификации WRB от 2022 г. – Luvic Retic Greyzemic Phaeozems) [9], которая наиболее распространена в подтаежной зоне Зауралья. Стационар по изучению постагrogenных серых лесных почв находится в северо-восточном направлении от близлежащего поселка Березовка Нижнетавдинского района Тюменской области (57°40'02.9"N, 65°51'32.9"E).

Рельеф в районе исследования равнинный с едва заметным уклоном на северо-восток. Расстояние между точками отбора проб не более 1,5 км, что позволяет исключить разноклиматическое формирование исследуемых участков почвы. Во всех точках взятия проб почвообразующей породой выступает бескарбонатный озерно-аллювиальный суглинок. По гранулометрическому составу все исследуемые участки были отнесены к легкосуглинистой разновидности. Отбор проб и морфологическое описание исследуемой почвы производились в 2021 г. из

4 полнопрофильных разрезов по одному на каждый участок в пятикратной повторности по слоям 0–20, 20–25, 25–50 и 50–80 см. Также были выкопаны 12 полуям по 3 на каждый из участков. Отбор проб из полуям проводился в шестикратной повторности. В качестве контроля был взят целинный участок, находящийся в непосредственной близости от мест отбора почвенных образцов пахотной и залежной почвы.

Описание почвенного профиля целинной серой лесной почвы

A_0 – 0–5 см. Сильноразложившийся опад листьев березы и остатки травянистой растительности.

A_1 – 5–25 см. Окраска серая с посветлением в нижней части горизонта до светло-серого цвета. Слегка увлажнен, легкосуглинистый, комковато-ореховатой структуры, уплотнен, пронизан корнями многолетней травянистой растительности, часто встречаются корни деревьев диаметром до 3 см, переход в следующий горизонт постепенный.

A_1A_2 – 25–35 см. Окраска светло-серая с буроватым оттенком внутри структурных агрегатов. Слегка увлажнен, легкосуглинистый, структура хорошо выраженная, крупноореховатая, уплотнен, пористый, обильная кремнеземистая присыпка на гранях структурных отдельностей, много корней.

B_1 – 35–70 см. Окраска бурая с постепенным изменением градиента цвета до светло-бурой окраски в нижней части горизонта. Гранулометрический состав более тяжелый относительно горизонта A_1A_2 , среднесуглинистый, структура среднеореховатая, плотный, корни многолетних трав и древесной растительности. Переход в следующий горизонт постепенный.

B_2 – 70–120 см. Светло-бурый, увлажнен, среднесуглинистый, структура не выражена с признаками ореховатости, тонкопористый, плотный, редко встречаются корни, переход ясный по линии вскипания.

B_k – 120–160 см. Светло-желтый с буроватым оттенком, среднесуглинистый, структура не выражена, вскипает от соляной кислоты, карбонаты в виде прожилок, линия вскипания неровная, с варьированием в пределах 15–20 см. Карбонаты в виде мелких включений, очень редко встречаются крупные формы, переход в материнскую породу неясный.

$S_k > 160$ см. Желто-палево-серый, влажный, легкосуглинистый, структура отсутствует, плот-

ный, вскипание от соляной кислоты значительно слабее, чем в вышележащем горизонте.

Пахотный участок расположен по координатам 57°66'39,49"N и 65°84'49,90"E. С 2002 г. на пашне используется зернопропашная система севооборота. Применяется отвальная система основной обработки почвы на глубину 20 см. В качестве минерального удобрения используется только аммиачная селитра из расчета 60 кг на гектар, что соответствует 20 кг азота. Органические удобрения поступают только в виде пожнивно-корневых остатков возделываемых сельскохозяйственных культур. Их надземная часть вывозится на фермы в виде соломы или силоса.

Профиль пахотной почвы

$A_{\text{пах}}$ – 0–30 см. Равномерная серая окраска по всему горизонту. При подсыхании светлеет. Легкосуглинистый, структура глыбисто-комковато-пылеватая. Сложение рыхлое, в нижней части уплотненное. Много соломистых растительных остатков и корней. Кремнеземистая присыпка по граням структурных отдельностей проявляется только при подсыхании. Переход в следующий горизонт резкий по глубине вспашки.

A_1A_2 – 30–35 см. Окраска светлее вышележащего горизонта. В сухом состоянии становится светло-серой из-за обильной кремнеземистой присыпки. Внутри почвенных агрегатов окраска светло-бурая. Сухой, легкосуглинистый, структура ореховатая, местами ореховато-глыбистая, плотный, тонкопористый, много корней.

B_1 – 35–75 см. Верхняя часть (до 45 см) характеризуется темно-бурой окраской вследствие формирования глинисто-гумусовых кутан на гранях структурных отдельностей. Внутри структурных агрегатов окраска преимущественно бурая. Нижняя часть горизонта окрашена в бурый цвет с проявлением темных пятен на фоне светло-бурой окраски. Ореховато-призматическая структура, сложение плотное, видны поры и мелкие трещины. Корни травянистых растений. Переход в следующий горизонт постепенный.

B_2 – 75–140 см. Светло-бурый, влажный, среднесуглинистый, структура средне-ореховатая, тонкопористый, плотный. Переход в следующий горизонт ясный по линии вскипания.

$B_{\text{са}}$ – 140–160 см. Светло-желтый с буроватым оттенком, среднесуглинистый, структура не выражена, вскипает от соляной кислоты, карбонаты в виде прожилок и мелких вкраплений, линия вскипания неровная, с варьированием в

пределах 20–30 см, переход в материнскую породу неясный.

$Ск > 160$ см. Желто-палево-серый, влажный, легкосуглинистый, структура отсутствует, плотный, вскипание от соляной кислоты.

Залежный участок с травяным покровом расположен по следующим географическим координатам: 57°66'66.00"N, 65°84'87.81"E. Среди деревьев встречаются береза повислая (*Betula pendula* L.) и осина обыкновенная (*Populus tremula* L.). Травяной покров в основном состоит из папоротника обыкновенного (*Pteridium aquilinum* L.), костяники каменистой (*Rubus saxatilis* L.), плауна годичного (*Lycopodium annotinum* L.), земляники обыкновенной (*Fragaria vesca* L.), клевера лугового (*Trifolium pretense* L.) и коостра безостого (*Brómus inermis* L.). Возраст деревьев определяется с использованием бурава Пресслера с диаметром 4 мм согласно методу H.D. Grissino-Mayer [10].

Профиль залежного участка под травянистой растительностью с листовым лесом 30 лет

A_0 – 0–7 см. Хорошо развитая дернина, состоящая из плотно переплетенных корней травянистой растительности. Листовой опад незначительный.

$A_{\text{пах}}$ – 7–28 см. Свежий, темно-серый, при высыхании цвет меняет незначительно. В нижней части – серый. Легкосуглинистый, структура комковато-зернисто-пылеватая. Сложение рыхлое, пористое, много корней травянистых растений, встречаются корневины и червоточины. Переход в следующий горизонт заметный по плужной подошве.

A_1A_2 – 28–30 см. Сухой, серый, местами проявляются светло-серые пятна. Легкосуглинистый, структура комковато-ореховая, уплотнен, тонкопористый, много корней. По крупным трещинам видна кремнеземистая присыпка. Переход ясный.

B_1 – 30–70 см. Свежий, Окраска темно-бурая. Среднесуглинистый, структура ореховато-призматическая, сложение плотное, тонкопористый. корни травянистых растений. Глинисто-гумусовые кутаны. Переход в следующий горизонт постепенный.

B_2 – 70–140 см. Увлажнен, светло-бурый, среднесуглинистый, структура ореховато-призматическая, тонкопористый, плотный, переход ясный по линии вскипания.

V_k – 140–160 см. Светло-бурый, среднесуглинистый, структура не выражена, слабое вскипание, мелкие скопления карбоната кальция, линия вскипания неровная, переход в материнскую породу неясный.

$C_k > 160$ см. Желто-палево-серый, влажный, среднесуглинистый, структура отсутствует, плотный, вскипание от соляной кислоты.

Залежь с хвойным лесом расположена по следующим географическим координатам: 57°66'53.61"N, 65°84'77.26"E. Основные деревья, встречающиеся здесь, – это ель обыкновенная (*Picea abies* L.) и сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Травянистый покров менее разнообразен, чем на залежи с травой, и в основном состоит из осоки лесной (*Carex silvatica* L.), тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium* L.), земляники лесной (*Fragaria vesca* L.) и полевницы обыкновенной (*Agrostis capillaris* L.). Возраст хвойного леса определяли путем подсчета мутовок [11].

Профиль почвы данного участка

A_0 – 0–3 см. Формирующаяся фрагментарная подстилка, состоящая из хвои сосны и опада травянистых растений, местами встречается корешковатая дернина.

$A_{пах}$ – 3–25 см. Свежий, темно-серый, при высыхании становится серым. В нижней части – светло-серый. Легкосуглинистый, структура непрочно-комковатая, пористый. Переход в следующий горизонт ясный.

A_1A_2 – 25–40 см. Сухой, светло-серый с белесыми пятнами. Легкосуглинистый, структура ореховатая, плотный, тонкопористый, много

корней. Обильная кремнеземистая присыпка. Переход ясный.

V_1 – 40–75 см. Свежий. Светло-бурый. Среднесуглинистый, структура ореховато-призматическая, сложение плотное, тонкопористый. Единичные корни травянистых растений. Переход в следующий горизонт постепенный.

V_2 – 75–160 см. Увлажнен, светло-бурый, среднесуглинистый, структура не выражена, с признаками ореховатости, тонкопористый, плотный, переход ясный по линии вскипания.

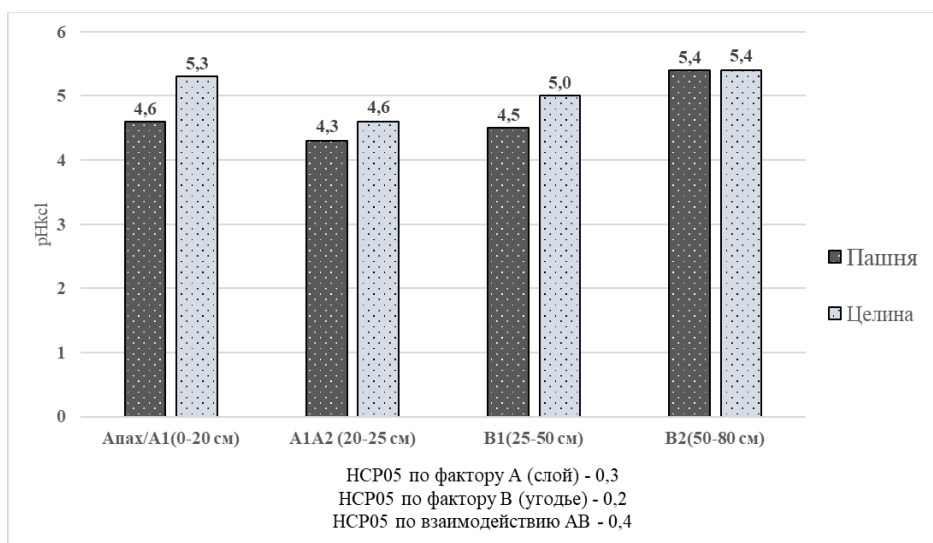
V_k – 160–180 см. Светло-палево-желтый, среднесуглинистый, структура не выражена, слабое вскипание, карбонаты мелких новообразований, линия вскипания неровная, переход в материнскую породу неясный.

$C_k > 180$ см. Желто-палево-серый, влажный, среднесуглинистый, структура отсутствует, плотный, вскипание от соляной кислоты.

Обменную кислотность определяли потенциометрическим методом по ГОСТ 58594-2019 в 5-кратной повторности по слоям 0–20, 20–25, 25–50 и 50–80 см.

Статистическую обработку результатов проводили по Б.А. Доспехову в пакете программ MS Excel с надстройкой AgStat [12].

Результаты и их обсуждение. Серая лесная почва в ее естественном состоянии характеризуется дифференциацией почвенных горизонтов по степени потенциальной (обменной) кислотности (рис.). Так, в гумусовом горизонте A_1 (0–20 см) pH_{KCl} составляет 5,3 ед., что характерно для данного подтипа региона [13].



Значение обменной кислотности собственно серой лесной пахотной и целинной почвы, ед. pH
 The value of the exchange acidity of gray forest arable and virgin soil, pH units

В гумусово-элювиальном горизонте A_1A_2 (20–25 см) значение обменной кислотности уменьшилось с 5,3 до 4,6 ед. Снижение обусловлено периодически промывным типом водного режима, при котором катионы щелочноземельных металлов (Ca^{2+} , Mg^{2+}) вымываются в нижележащие горизонты B_1 и B_2 . Так, в иллювиальном горизонте B_1 (25–50 см) рН солевой вытяжки изменяется с 4,6 до 5,0 ед., что выше значения гумусово-элювиального горизонта (20–25 см) на 8 %. Глубже 50 см (B_1) значение pH_{KCl} также увеличивается и составляет 5,4 ед.

Использование собственно серой лесной почвы в качестве пахотного угодья повлияло на рН солевой вытяжки. Так, в пахотном горизонте ($A_{пах}$ 0–20 см) pH_{KCl} снизилась относительно целинного участка на 13,2 % и составила 4,6 ед. Длительное возделывание сельскохозяйственных культур без учета выноса с товарной продукцией Ca^{2+} привело к увеличению доли обменных H^+ и Al^{3+} в почвенно-поглощающем комплексе, что обусловило рост обменной кислотности в пахотном горизонте. В условиях периодически промывного типа водного режима отвальная обработка на глубину 20 см привела к усилению нисходящего тока воды вглубь почвенного профиля [14]. Это способствовало выщелачиванию катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} за пределы корнеобитаемого слоя, что также повлияло на рост обменной кислотности по сравнению с целинным участком [15]. Кроме того, увеличение аэрации пахотного горизонта привело к активизации почвенной микробиоты. На фоне ежегодного внесения аммиачной селитры, а также усиления аэрации произошло ускорение процесса нитрификации и выделение ионов H^+ [16].

В иллювиальном горизонте B_1 (25–50 см) относительно горизонта A_1A_2 достоверного различия в обменной кислотности не наблюдается. Однако при сравнении с целинным участком pH_{KCl} снизилась с 5,0 до 4,5. Основная масса всасывающих корней культурных видов растений сосредотачивается в обрабатываемом слое 0–20 см, лишь небольшая часть проникает глубже [17]. В масштабах почвенного профиля, в совокупности с процессами выщелачивания и активной дегумификацией, биогенный вынос превышает его поступление в верхнюю часть почвенного профиля, что сказывается на обменной кислотности подпахотного слоя. Глубже 50 см достоверного влияния на рН солевой вытяжки не фиксируется. Таким образом, агрогенное влияние на обменную кислотность собственно серой лесной почвы прослеживается только до иллювиального горизонта B_1 (25–50 см).

Появление многолетних трав на постагрогенной серой лесной почве в первые 15 лет способствует восстановлению обменной кислотности до уровня целинного состояния в горизонте A_1 (0–20 см). Так, в гумусовом горизонте A_1 (0–20 см) pH_{KCl} составил 5,0 ед. при HCP_{05} , равной 0,3, что выше значения пахотного участка на 8 %, однако меньше целинного на 6 %. Прекращение выноса биогенного кальция с растительной надземной фитомассой способствовало сохранению цикла кальция в системе «почва – растение». Кроме того, благодаря росту и развитию травянистой растительности содержание гумуса в почве возросло, что положительно сказалось на буферной способности почвы [18] (табл. 1).

Таблица 1

**Влияние вида и возраста сукцессии на обменную кислотность
собственно серой лесной почвы, ед. рН**

Горизонт	Сукцессия (фактор А)	Возраст залежи (фактор В)	$X_{ср}$	SO	SE	C_v , %	HCP_{05}
1	2	3	4	5	6	7	8
A_1 (0–20 см)	Травянистая + береза	15	5,0	0,4	0,1	7,8	0,3
		30	5,6	0,3	0,1	4,6	
	Травянистая + сосна	15	4,9	0,2	0,1	4,3	
		30	4,7	0,3	0,1	5,8	
A_1A_2 (20–25 см)	Травянистая + береза	15	4,4	0,2	0,1	4,2	0,2
		30	5,0	0,3	0,1	5,6	
	Травянистая + сосна	15	4,5	0,3	0,1	5,6	
		30	4,4	0,2	0,1	4,9	

1	2	3	4	5	6	7	8
В ₁ (25–50 см)	Травянистая + береза	15	4,6	0,4	0,1	7,7	0,2
		30	5,0	0,3	0,1	6,1	
	Травянистая + сосна	15	4,7	0,5	0,2	10,0	
		30	4,5	0,3	0,1	7,0	
В ₂ (50–80 см)	Травянистая + береза	15	5,4	0,1	0,1	2,7	0,3
		30	5,5	0,2	0,1	2,9	
	Травянистая + сосна	15	5,4	0,1	0,0	2,3	
		30	5,5	0,2	0,1	2,7	

Примечание: Хср – среднее значение обменной кислотности, ед.; SO – стандартное отклонение; SE – стандартная ошибка; CV – коэффициент вариации; НСР₀₅ – наименьшая существенная разница.

В горизонте А₁А₂ (20–25 см) постагрогенной почвы значение обменной кислотности уменьшается до 4,4 ед. Корневая система многолетних трав сосредотачивается в верхнем слое почвенного профиля (0–20 см) ввиду достаточного количества влаги, а также созданного переуплотненного подпахотного слоя в период сельскохозяйственного использования. Транспортировка ионов кальция с водой из более глубоких слоев через корневую систему затруднена, что привело к невозможности вернуть значения обменной кислотности до уровня целинного состояния в гумусово-элювиальном горизонте и ниже [19]. Также корневая система многолетних трав активно поглощает влагу из корнеобитаемой зоны, тем самым предотвращая глубокое проникновение влаги глубже горизонта А₁, что в свою очередь ведет к снижению выщелачивания Ca²⁺ и Mg²⁺ в нижележащие горизонты [20].

В горизонте В₁ (25–50 см) достоверного изменения относительно верхнего А₁А₂ не обнаружено, все изменения находятся в пределах НСР₀₅, равной 0,2. Тогда как на целинном участке в данном почвенном горизонте происходит увеличение НСР₀₅ до 5,0 ед. Как отмечалось ранее, агрогенное влияние прослеживается до глубины 50 см, далее значение обменной кислотности равнозначно целинному состоянию. Таким образом, 15 лет нахождения постагрогенной серой лесной почвы в статусе залежного угодья под травянистой растительностью с березово-осиновым подростом недостаточно для восстановления обменной кислотности до ее естественного состояния.

По прошествии 30 лет рН_{KCl} меняется от 5,0 до 5,6 в гумусовом горизонте А₁ (0–20 см). За 3 десятилетия процесс гумусонакопления стабилизировался, что привело к улучшению буферной способности почвы. К тому же корневая система злаково-бобовой травянистой расти-

тельности смогла разрыхлить созданный переуплотненный подпахотный горизонт, что позволило ей проникнуть почти на всю глубину почвенного профиля [21]. Это способствовало транспортировке биогенного кальция в верхние слои почвенного профиля и его накоплению в горизонте А₁, а следовательно, увеличению обменной кислотности. Об этом также свидетельствует изменение рН солевой вытяжки в гумусово-элювиальном слое А₁А₂. Так, в данном почвенном горизонте рН_{KCl} в сравнении с 15-летним вариантом увеличилось на 12 % и составило 5,0 ед, при НСР₀₅, равной 0,2. Так как серые лесные почвы формируются при периодически промывном типе водного режима, для них характерен процесс выщелачивания щелочноземельных металлов вглубь почвенного профиля с нисходящим током воды в весенне-летний период. С учетом увеличения биогенного кальция в верхней части почвенного профиля и периодически промывного типа водного режима обменная кислотность в горизонте В₁ (25–50 см) также возрастает до 5,0 ед. Глубже 50 см достоверного отличия от целинного и 15-летнего варианта залежи не фиксируется.

Вариант под хвойными породами деревьев 15 лет по показателю обменной кислотности сопоставим с вариантом под лиственными видами. Доминирующей сукцессией выступают многолетние травы, а хвойные виды еще не способны оказать значительного влияния на их рост и развитие. Доказательством служит отсутствие достоверного различия между двумя вариантами. Все значения находятся в пределах НСР₀₅ по всей глубине почвенного профиля.

Достоверные изменения фиксируются на варианте 30 лет под хвойными деревьями. Так, в гумусовом горизонте А₁ обменная кислотность относительно пахотного угодья не изменяется, а в сравнении с 30-летним вариантом под лиственным лесом меньше на 16 % и составляет

4,7 ед, при $НСР_{05}$, равной 0,3. Видовой состав травянистой растительности под хвойным лесом значительно меняется и сокращается ввиду смены доминирования [22].

Хвойные деревья с ростом направляют аллелопатию в негативное русло, угнетая многолетние травы благодаря перекрытию кроной древостоя солнечного света, разложению опада хвои с последующим выделением органических кислот, которые подкисляют почву. Видовой состав меняется в сторону тенелюбивых видов и способных произрастать совместно с хвойно-древесной растительностью. Ввиду угнетения травянистой растительности поступление в почву растительных остатков, а также смена доминирующей микрофлоры на грибную привели к уменьшению поступления в почву биогенного кальция [23]. Также опад хвойных пород содержит меньшее количество кальция, что в свою очередь в совокупности с угнетением травянистой растительности сказывается негативно на поступлении кальция в почвенный профиль.

Корневая система травянистого яруса на залежи под хвойными деревьями не способна замедлить процессы инфильтрации воды вглубь почвенного профиля. Подзолообразовательный

процесс, присущий для собственно серой лесной почвы, усиливается, а следовательно, и выщелачивание щелочно-земельных металлов Ca^{2+} и Mg^{2+} вглубь почвенного профиля. Об этом также свидетельствует снижение обменной кислотности в гумусово-элювиальном горизонте A_1A_2 (20–25 см) до 4,4 ед. Глубже, в горизонте B_1 (25–50 см) относительно верхнего A_1A_2 (20–25 см), достоверного изменения не фиксируется, все значения находятся в пределах $НСР_{05}$, равной 0,2. Горизонт B_2 отличается стабильностью, так как влияние агрогенного фактора на данной глубине не прослеживается и значение рН солевой вытяжки составляет 5,5 ед., что характерно для собственно серых лесных почв подтаежной зоны Зауралья.

Для подтверждения гипотезы о влиянии сукцессии и возраста залежи нами был произведен двухфакторный дисперсионный анализ по Б.А. Доспехову. В результате дисперсионного анализа полученных данных установили, что в горизонте A_1 наибольшее влияние на обменную кислотность оказывает вид произрастающей сукцессии – 55 %. Вторым по значению является фактор В (возраст) – 36 % (табл. 2).

Таблица 2

Результаты дисперсионного анализа обменной кислотности залежной серой лесной почвы в зависимости от сукцессии и возраста, % влияния

Источник вариации	Горизонт			
	A_1 (0–20 см)	A_1A_2 (20–25 см)	B_1 (25–50 см)	B_2 (50–80 см)
Фактор А (сукцессия)	55	35	69	1*
Фактор В (длительность нахождения в статусе залежи)	36	61	23*	1*
Взаимодействие АВ	0	0	0	98*

* – $F_{факт.} < F_{теорет.}$

В гумусово-элювиальном горизонте A_1A_2 доминирующим фактором, влияющим на обменную кислотность, является возраст залежного участка – 61 %. Воздействие сукцессии в данном горизонте относительно верхнего A_1 уменьшается с 55 до 35 %. Влияние взаимодействия двух факторов не прослеживается.

В иллювиальном горизонте B_1 достоверность гипотезы прослеживается лишь в факторе А (сукцессия) – 69 % при $F_{факт.} > F_{теорет.}$ Фактор В и взаимодействие АВ не подтвердили достоверности гипотезы, так как $F_{факт.} < F_{теорет.}$ В горизонте B_2 на всех источниках вариации достоверного подтверждения принятой нами гипотезы также не установлено ($F_{факт.} < F_{теорет.}$).

Заключение. Исследуемая целинная серая лесная почва характеризуется дифференциацией по обменной кислотности. рН солевой вытяжки изменяется в зависимости от почвенного горизонта от 5,3–5,4 ед. в гумусовом A_1 и иллювиальном B_2 до 4,6 ед. в A_1A_2 . Формируется устойчивое естественное равновесное состояние кислотно-основного режима с выщелачиванием щелочноземельных металлов из верхних горизонтов и их аккумуляцией в нижних.

Сельскохозяйственное использование серой лесной почвы в качестве пахотного угодья приводит к изменению обменной кислотности до глубины 50 см. рН солевой вытяжки от пахотного горизонта до иллювиального B_1 варьирует от

4,6 до 4,5 ед., что обусловлено биогенным выносом и усилившимся процессом выщелачивания. Глубже 50 см достоверного отличия от целинного участка не прослеживается.

Появление травянистой растительности в первые 15 лет ведет к снижению обменной кислотности преимущественно за счет отсутствия выноса биогенного кальция и уменьшению степени промачивания благодаря корневой системе. Из-за формирования поверхностной корневой системы в гумусово-элювиальном и иллювиальном горизонте В₁ значение обменной кислотности остается на уровне пахотного участка. Таким образом, 15 лет нахождения в статусе залежи недостаточно для восстановления кислотно-основного баланса постагрогенной собственно серой лесной почвы. Аналогичные результаты получены и на варианте 15 лет под хвойным лесом, так как доминирующей сукцессией также являются многолетние травы.

После 30 лет нахождения собственно серой лесной почвы в статусе залежи под листовым

лесом происходит восстановление обменной кислотности до уровня целинного участка по всей глубине почвенного профиля преимущественно за счет подъема ионов кальция с водой корневой системой многолетних трав. Процесс выщелачивания под действием внутрипочвенного тока воды продолжается, однако на фоне повышения его концентрации в верхней части в иллювиальном слое также прослеживается увеличение степени обменной кислотности.

Заращение хвойной древесной растительностью в значительной степени влияет на видовой состав травянистой растительности и смещает доминирование в свою сторону. Несмотря на длительный срок нахождения в статусе залежи (30 лет), степень обменной кислотности до глубины 50 см не восстановилась до значений рН солевой вытяжки целинного участка, а вернулась к состоянию пахотного угодья, нивелируя 15-летний период восстановления.

Список источников

1. Лапа В.В. Плодородие почв – основа устойчивого развития аграрной отрасли Республики Беларусь // Земледелие и защита растений. 2018. № S2. С. 3–9. EDN: VFCKVB.
2. Фарбер С.К., Кузьмик Н.С. Определение плодородия лесных почв по данным лесоустройства // Сибирский лесной журнал. 2019. № 6. С. 10–18. DOI:10.15372/SJFS20190602. EDN: VXTSMZ.
3. Узун В.Я., Фомин А.А., Логинова Д.А. Место России на агропродовольственной карте мира // Международный сельскохозяйственный журнал. 2018. № 1. С. 68–76. DOI: 10.24411/2587-6740-2018-11016. EDN: YNTFHW.
4. Ренев Е.П., Еремин Д.И., Еремина Д.В. Оценка основных показателей плодородия почв наиболее пригодных для расширения пахотных угодий в Тюменской области // Достижения науки и техники АПК. 2017. № 4. С. 27–31. EDN: YOSHUB.
5. Синявский И.В., Синявская Т.А. Оценка эколого-производственного потенциала бесхозяйных земель, выявленных на территории Челябинской области, относящихся к мелиоративному фонду // АПК России. 2022. Т. 29, № 5. С. 595–602. DOI: 10.55934/10.55934/2587-8824-2022-29-5-595-602. EDN: MBVVIX.
6. Ковбашин Д.И., Дронин Н.М. Забрасывание пахотных угодий в европейской части России на фоне успехов сельского хозяйства в последние два десятилетия // Проблемы региональной экологии. 2023. № 2. С. 47–52. DOI: 10.24412/1728-323X-2023-2-47-52. EDN: RGPLSB.
7. Аксенова Ю.В., Гиндемит А.М. Состояние залежных земель степной зоны Омского Прииртышья и возможность их повторного введения в оборот // Российская сельскохозяйственная наука. 2022. № 6. С. 37–44. DOI: 10.31857/S2500262722060084. EDN: MJUYEH.
8. Денисов Ю.Н. Агроэкологическая оценка залежных почв Челябинской области // Агрехимический вестник. 2016. № 5. С. 6–9. EDN: XCBSFP.
9. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. 2022 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS). Vienna, Austria. 236 p.

10. Grissino-Mayer H.D. A manual and Tutorial for the proper use of an increment borer // Three-ring research. 2003. Vol. 59. P. 63–79.
11. Бакшеева Е.О., Ростовцева Т.И., Морозов А.С. Особенности зарастания древесной растительностью неиспользуемых сельскохозяйственных земель // Вестник КрасГАУ. 2017. № 10. С. 100–107. EDN: ZRSXFV.
12. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Альянс, 2011. 350 с.
13. Еремин Д.И., Каюгина С.М. Агрохимические показатели целинных серых лесных почв Северного Зауралья в разрезе подтипов и разновидностей // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2022. № 3. С. 20–24. EDN: IVYTZR.
14. Груздева Н.А., Еремин Д.И. Изменение химических свойств светло-серых лесных почв Северного Зауралья в процессе их сельскохозяйственного использования // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2019. № 10. С. 56–62. EDN: NHTTGW.
15. Иванова М.Е., Морковкин Г.Г., Тайлашев Д.А. Исследование процессов выноса Ca^{2+} и Mg^{2+} из верхних почвенных горизонтов черноземов выщелоченных луговой степи Алтайского края под влиянием длительного использования в составе пахотных угодий // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2007. № 1. С. 13–15. EDN: ISWQTB.
16. Bergamasco M.A.M., Braos L.B., Cruz M.C.P., et al. Nitrogen Mineralization and Nitrification in Two Soils with Different pH Levels // Communications in Soil Science and Plant Analysis. 2019. Vol. 50. P. 2873–2880. DOI: 10.1080/00103624.2019.1689250. EDN: PNDATA.
17. Чевердин Ю.И., Поротников И.Ф. Изменение реакции среды чернозема обыкновенного под влиянием возрастающих доз минеральных удобрений // Агрохимия. 2021. № 8. С. 17–26. DOI: 10.31857/S0002188121080068. EDN: LPJBIV
18. Панкова Т.И., Масютенко Н.П. Динамика агроэкологического состояния чернозема типичного под залежью // Проблемы агрохимии и экологии. 2020. № 1. С. 50–54. DOI: 10.26178/AE.2020.2019.4.009. EDN: QJYPQW.
19. Сидорова Ю.В., Соловьев А.В. Роль химического элемента кальция в питании и жизни растений // Вестник Российского государственного аграрного заочного университета. 2022. № 43. С. 21–26. EDN: MUJAWC.
20. Постников П.А., Попова В.В. Инфильтрация осадков из дерново-подзолистой почвы в лизиметрическом опыте в зависимости от вида севооборота и системы удобрения // Пермский аграрный вестник. 2018. № 2. С. 82–89. EDN: USJRBV.
21. Макеева О.Л. Оценка продуктивности травянистой растительности и свойств почвы в искусственных насаждениях // Вестник КрасГАУ. 2019. № 2. С. 51–61. EDN: YZSYBF.
22. Шергина О.В. Лесные почвы фоновых территорий Приангарья // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о земле». 2013. № 6. С. 223–237. EDN: QCKRSB.

References

1. Lapa VV. Plodorodie pochv – osnova ustojchivogo razvitiya agrarnoj otrasli respubliky Belarus' / *Zemledelie i zashchita rastenij*. 2018;S2:3-9. (In Russ.). EDN: VFCKVB.
2. Farber SK, Kuzmik NS. Determination of forest soil fertility by forest planning data / *Siberian journal of forest science*. 2019;6:10-18. (In Russ.). DOI: 10.15372/SJFS20190602. EDN: VXTSMZ.
3. Uzun VYa, Fomin AA, Loginova DA. Position of Russia on the world agro-food map. *Mezhdunarodnyj selskokhozyajstvennyj zhurnal*. 2018;1:68-76. (In Russ.). DOI: 10.24411/2587-6740-2018-11016. EDN: YNTFHW.
4. Renev EP, Eremin DI, Eremina DV. Estimation of the main indicators of fertility of soils most appropriate for expansion of croplands in Tyumen Region. *Achievements of science and technology in agro-industrial complex*. 2017;4:27-31. (In Russ.). EDN: YOSHUB.
5. Sinyavskiy IV, Sinyavskaya TA. Ecological and production assessment of the ownerless lands' potential on the territory of the Chelyabinsk region, related to the reclamation fund. *Agro-Industrial Complex*

- of Russia. 2022;5(3):595-602. (In Russ.). DOI: 10.55934/10.55934/2587-8824-2022-29-5-595-602. EDN: MBVVIX.
6. Kovbashin DI, Dronin NM. Abandonment of arable land in the European part of Russia against the backdrop of agricultural developments in the last two decades. *Regional environmental issues*. 2023;2:47-52. DOI: 10.24412/1728-323X-2023-2-47-52. EDN: RGPLSB.
 7. Aksenova YuV, Gindemit AM. The state of the fallow lands of the steppe zone of the Omsk Region and the possibility of their introduction into agricultural circulation. *Rossiiskaia selskokhoziaistvennaia nauka*. 2022;6:37-44. DOI: 10.31857/S2500262722060084. EDN: MJUYEH.
 8. Denisov YuN. Agroecological estimation of fallow lands in Chelyabinsk Region. *Agrochemical herald*. 2016;5:6-9. (In Russ.). EDN: XCBSFP.
 9. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. 2022 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. Vienna, Austria: International Union of Soil Sciences (IUSS); 2022. 236 p.
 10. Henri D. Grissino-Mayer. A manual and Tutorial for the proper use of an increment borer. *Three-ring research*. 2003;59(2):63-69.
 11. Baksheeva EO, Rostovtseva TI, Morozov AS. The specificity of idle agricultural land colonization by arboreal plants. *Bulletin of KSAU*. 2017;10:100-107. (In Russ.). EDN: ZRSXFV.
 12. Dospikhov BA. *Metodika polevogo opyta: s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy*. Moscow: Alyans; 2011. (In Russ.). 350 p.
 13. Kayugina SM, Eremin DI. Agrochemical indicators of virgin gray forest soils of the northern trans-Urals in the context of subtypes and varieties. *The bulletin of Michurinsk state agrarian university*. 2022;3:20-24. (In Russ.). EDN: IVYTZP.
 14. Gruzdeva NA, Yeremin DI. The change of the chemical properties of light gray forest soils of northern Trans-Urals during their agricultural use. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019;10:56-62. (In Russ.). EDN: NHTTGW.
 15. Ivanova MY, Morkovkin GG, Taylashev DA. Research of processes of removal of Ca²⁺ and Mg²⁺ from top soil horizons of leached chernozems of the meadow steppe of the Altai Region under effect of long-duration use in croplands. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2007;1:13-15. (In Russ.). EDN: ISWQTB.
 16. Bergamasco MAM, Braos LB, Cruz MCP, et al. Nitrogen mineralization and nitrification in two soils with different pH levels. *Communications in soil science and plant analysis*. 2019;50:2873-2880. DOI: 10.1080/00103624.2019.1689250. EDN: PNDATA.
 17. Cheverdin Yul, Porotikov IF. Changes in the reaction of the medium of ordinary chernozem under the influence of increasing doses of mineral fertilizers. *Agrokimiya*. 2021;8:17-26. (In Russ.). DOI: 10.31857/S0002188121080068. EDN: LPJBIV.
 18. Pankova TI, Masyutenko NP. Dynamics of agro-ecological state of typical chernozem under fallow lands. *Agrochemistry and ecology problems*. 2020;1:50-54. (In Russ.). DOI: 10.26178/AE.2020.2019.4.009. EDN: QJYPQW.
 19. Sidorova JV, Solovyov AV. Role of chemical element calcium in nutrition and life of plants. *Bulletin of the Russian state agrarian correspondence university*. 2022;43:21-26. (In Russ.). EDN: MUJAWC.
 20. Postnikov PA, Popova VV. Infiltration of precipitation from sod-podzolic soil in lysimeter experiment according to the type of crop rotation and fertilization system. *Perm agrarian journal*. 2018;2:82-89. (In Russ.). EDN: USJRBV.
 21. Makeeva OL. Productivity assessment of grassy vegetation and soil properties in artificial plantings. *Bulletin of KSAU*. 2019;2:51-61. (In Russ.). EDN: YZSYBF.
 22. Shergina OV. Natural forest soils in the Priangarye. *The bulletin of Irkutsk state university. Series «Earth sciences»*. 2013;6(1):223-237. (In Russ.). EDN: QCKRSB.

Статья принята к публикации 23.01.2026 / The article accepted for publication 23.01.2026.

Информация об авторах:

Алексей Владимирович Сахаров, младший научный сотрудник

Виктория Викторовна Сахарова, заведующая лабораторией аналитических исследований и технологической оценки качества зерна

Дмитрий Иванович Еремин, главный научный сотрудник лаборатории геномных исследований в растениеводстве, доктор биологических наук, доцент

Information about the authors:

Alexey Vladimirovich Sakharov, Junior Researcher

Victoria Viktorovna Sakharova, Head of the Laboratory of Analytical Research and Technological Assessment of Grain Quality

Dmitry Ivanovich Eremin, Chief Researcher at the Laboratory of Genomic Research in Plant Growing, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor

