

УДК 631.41: 631.452

<https://doi.org/10.31251/pos.v7i3.281>

Сравнительная характеристика свойств и агрохимического статуса почв разного типа землепользования в лесостепи Западной Сибири

© 2024 Т. В. Нечаева , Е. Н. Смоленцева 

ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2, г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: nechaeva@issa-siberia.ru, esmolenceva@issa-siberia.ru

Цель исследования. Оценить изменения комплекса свойств и агрохимический статус почв разного типа землепользования (целина, паашня, залежь) в лесостепной зоне Западной Сибири.

Место и время проведения. Отбор почвенных образцов ($n=27$) проводили в Искитимском районе Новосибирской области летом 2020 года из полнопрофильных разрезов по генетическим горизонтам на трёх участках: (1) Целина ($54,668^\circ$ с.ш., $83,125^\circ$ в.д.) – бобово-разнотравно-злаковая луговая степь; (2) Паашня ($54,662^\circ$ с.ш., $83,093^\circ$ в.д.) – на момент исследования была засеяна ячменно-вико-овсяной смесью; (3) Залежь ($54,666^\circ$ с.ш., $83,098^\circ$ в.д.) – злаково-разнотравный остепнённый суходольный луг, сформированный за 27 лет постагрогенного периода восстановления почвы. На целине диагностировали чернозём глинисто-иллювиальный маломощный среднесуглинистый, на паашне – агрозём тёмный глинисто-иллювиальный мелкий среднесуглинистый, на залежи – агрочернозём глинисто-иллювиальный постагрогенный маломощный среднесуглинистый. По классификации IUSS Working Group WRB почва целины и залежи идентифицирована как Luvic Greyzemtic Chernozem (Siltic), паашни – Luvic Greyzemtic Chernozem (Siltic, Aric).

Методы. Почвы проанализировали на содержание органического углерода с пересчётом на гумус; карбонатов; общего и нитратного азота; легкоподвижного и подвижного фосфора; обменной формы калия, кальция и магния; необменной формы калия и магния. Реакцию среды водных почвенных суспензий ($pH_{вод}$) определили потенциометрически; гранулометрический состав почв – методом пипетки с дисперсацией образцов пирофосфатом натрия.

Основные результаты. Отличительными признаками морфологии целинного чернозёма являются дернина (горизонт AUrz) и порошисто-зернистая биогенная структура гумусового горизонта, которые разрушаются при распашке и, соответственно, отсутствуют в агрозёме. Для агрочернозёма восстановление этих признаков является важным показателем постагрогенной трансформации. Агрозём имел более низкое, особенно в пахотном слое, содержание гумуса, общего азота и их запасов по сравнению с целинным чернозёмом; при этом за 27-летний период постагрогенного восстановления агрочернозёма произошло некоторое увеличение этих параметров, однако различия между почвами трёх участков землепользования оказались статистически незначимы. Агрохимический статус почв целины, паашни и залежи по величине $pH_{вод}$, содержанию в гумусовом горизонте подвижных форм фосфора, калия, кальция и магния определён как благоприятный для выращивания сельскохозяйственных культур.

Заключение. Исследованные чернозёмы лесостепной зоны Западной Сибири в целинном, пахотном и залежном состоянии имеют различия в строении профиля и структуре поверхностного горизонта, глубине залегания карбонатов, содержании в профиле подвижного фосфора, обменного магния и необменного калия. В самом верхнем слое (0–5 см) дернины на целине и 27-летней залежи выражена аккумуляция биогенных элементов (органического углерода, общего и нитратного азота, легкоподвижного фосфора и обменного калия). Отсутствие статистически значимых различий между тремя участками землепользования по гранулометрическому составу почв, содержанию карбонатов и легкоподвижного фосфора, содержанию и запасам в гумусовом горизонте (0–30 см) гумуса, общего азота, обменной формы калия и кальция, необменного магния свидетельствует о значительной устойчивости чернозёмов к агрогенным нагрузкам. Земельный участок 27-летней залежи вполне может быть повторно распашан. Однако необходимо подчеркнуть, что урожай возделываемых культур (особенно зерновых) на чернозёмах сибирского региона формируется, в основном, за счёт мобилизации почвенных запасов подвижных форм макроэлементов без компенсации их отчуждения внесением удобрений. При этом скорость и степень агрогенной трансформации сибирских чернозёмов значительно выше, чем в европейской части России. Поэтому необходим мониторинг плодородия чернозёмов при их сельскохозяйственном использовании, в том числе при повторном введении в паашню залежных земель.

Ключевые слова: чернозём; Luvic Greyzemtic Chernozem; целина; паашня; залежь; свойства почв; морфология; гранулометрический состав; карбонаты; органический углерод; азот; фосфор; калий; кальций; магний.

Цитирование: Нечаева Т.В., Смоленцева Е.Н. Сравнительная характеристика свойств и агрохимического статуса почв разного типа землепользования в лесостепи Западной Сибири // Почвы и окружающая среда. 2024. Том 7. № 3. e281. DOI: [10.31251/pos.v7i3.281](https://doi.org/10.31251/pos.v7i3.281)

ВВЕДЕНИЕ

По имеющимся данным (Люри и др., 2010), из активного сельскохозяйственного оборота России за XX век (1897–2007 гг.) было выведено около 70 млн га угодий; часть из них была «съедена» разрастающимися городами, объектами промышленности и инфраструктуры. Однако подавляющая часть неиспользуемых (бросовых) земель сельскохозяйственного назначения (от 30–45 до более 60 млн га по разным оценкам) преобразовалась в залежные земли (залежи), где главную роль стали играть природные процессы восстановления постагрогенных экосистем. Основными компонентами постагрогенных экосистем, быстро реагирующими на смену экологических условий и отражающими эту взаимосвязь, являются почва и растительность. В ходе постагрогенных сукцессий на залежных землях меняется структура и состав фитоценозов (Дмитриев, Леднев, 2016; Бедарева и др., 2017; Титлянова, Шибарева, 2022; и др.), что, в свою очередь, приводит к значительному увеличению корней, изменению биологической активности почв и накоплению почвенного органического вещества (Кутькина, Еремина, 2011; Денисов, 2016; Кондратова, Абрамова, 2018; Шпедт, Трубников, 2018; Казеев и др., 2020; Овсепян и др., 2020; Рыжова и др., 2020; Наквасина, Шумилова, 2021; Kurganova et al., 2014; и др.), а также способствует изменению структуры верхней части ранее обрабатываемого пахотного слоя и свойств почв (Сорокина и др., 2016; Баева и др., 2017; Якутина, Нечаева, 2019; Соколов, Соколова, 2020; Малышев, 2021; Булышева и др., 2021; Литвинович и др., 2022; Добротворская и др., 2024; Kalinina et al., 2015; Lavrishchev et al., 2024; и др.). Все вышеперечисленные изменения диктуют необходимость мониторинга почвенно-агроэкологического состояния залежных земель России с целью их рационального использования в отраслях народного хозяйства (прежде всего в сельском и лесном) или в качестве возобновлённых природных фитоценозов как части естественных ландшафтов; указанные вопросы более подробно рассматриваются в ряде публикаций (Люри и др., 2010; Джабраилова, 2021; Нечаева, 2023; и др.).

Исследования многих авторов (Зыбалов и др., 2020; Трубников и др., 2021; Бурдуковский, Перепелкина, 2022; Миллер и др., 2023; Азаренко, Бефус, 2024; Сорокина, Попков, 2024; и др.) подтверждают, что залежные земли России могут быть рассмотрены как стабилизирующий компонент агроландшафтов и резерв пахотных угодий. Ограничением для перевода земель из залежи в пашню может служить высокий процент распаханности территории, проявление дефляции почв в сильной степени, наличие крутых склонов (более 7°), загрязнение химическими соединениями и другие причины (Шпедт, Трубников, 2017). Возврат неиспользуемых земель в сельскохозяйственный оборот необходимо производить на основе разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия высокого уровня интенсификации с применением достаточных доз удобрений и почвозащитных севооборотов (Добротворская и др., 2024). Очевидно, что технологии освоения залежных земель должны соответствовать их почвенно-агроэкологическому состоянию, экономическим и технологическим ресурсам предприятия, обоснованным перспективам использования вовлечённых земель в активный сельскохозяйственный оборот (Денисов, 2016; Колпакова, 2023; Трубников, Шпедт, 2023; и др.).

Несмотря на то, что чернозёмы представляют собой «золотой» фонд сельскохозяйственных земель сибирского региона (Хмелев, Танасиенко, 2009, с. 62), часть из них по разным причинам в настоящий момент перешла в категорию неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения и оказалась благоприятной средой для восстановления природных ландшафтов, активно зарастая луговой, кустарниковой и древесной растительностью, трансформируясь, таким образом, в постагрогенные залежные экосистемы. Исследования, посвящённые комплексной оценке постагрогенных изменений в почвах разновозрастных залежей Сибирского федерального округа, включающих морфологию, параметры потенциального и эффективного плодородия почв, немногочисленны (Кутькина, Еремина, 2011; Морковкин, Дёмина, 2011; Шпедт, Трубников, 2017; Сорокина, 2018; Миллер и др., 2017; Галеева, 2020; Титлянова, Шибарева, 2022; Курганова и др., 2021; Аксенова, Гиндемит, 2022; Кравцов, Смоленцева, 2022; Якутина и др., 2022; Добрянская, 2023; Азаренко, Бефус, 2024; Добротворская и др., 2024; Кураченко, Колесник, 2024; и др.).

Цель работы – оценить изменения комплекса свойств и агрохимический статус почв разного типа землепользования (целина, пашня, залежь) в лесостепной зоне Западной Сибири. Впервые результаты данного исследования были представлены нами в виде доклада на Международной научно-практической конференции «Проблемы плодородия почв в современной земледелии», посвящённой 70-летию освоения целинных и залежных земель (Красноярск, 24–28 июня 2024 г.) и опубликованы в материалах проведённого мероприятия (Нечаева, Смоленцева, 2024). В данной статье результаты изложены и обсуждены в расширенном виде.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование провели летом 2020 года в лесостепной зоне Западной Сибири, административно – в Искитимском районе Новосибирской области. По почвенно-экологическому районированию территория относится к Предалтайской лесостепной почвенной провинции и характеризуется значительной агрогенной трансформацией: доля пашни составляет 48–64% от общей площади провинции (Карта..., 2013). В почвенном покрове преобладают глинисто-иллювиальные и миграционно-мицелярные чернозёмы и их агрогенные аналоги (Соколова, Смоленцева, 2021).

Нами были выбраны три разных по типу землепользования участка и отобраны почвенные образцы по генетическим горизонтам из полнопрофильных разрезов (одна смешанная проба из трёх повторностей):

Целина (54,668° с.ш., 83,125° в.д.) – представляет собой бобово-разнотравно-злаковую луговую степь; отбор проб почвы с глубины 0–5, 5–10, 10–20, 20–30, 35–45, 60–70, 82–92, 100–110 и 120–130 см ($n = 9$);

Пашня (54,662° с.ш., 83,093° в.д.) – на момент исследования была занята ячменно-вики-овсяной смесью; отбор проб с глубины 0–5, 5–10, 10–20, 20–30, 30–44, 45–55, 65–75 см ($n = 7$);

Залежь (54,666° с.ш., 83,098° в.д.) – злаково-разнотравный остепнённый суходольный луг, сформированный в течение 27 лет постагрогенного периода восстановления почвы; отбор проб с глубины 0–5, 5–10, 10–20, 20–30, 30–35, 35–45, 55–65, 72–82, 90–100 и 110–120, 130–140 см ($n = 11$).

Итого с трёх участков исследования отобрали 27 смешанных образцов почвы. Плотность сложения почв определили методом режущих цилиндров объёмом 50 см³ по Качинскому (Вадюнина, Корчагина, 1986). Для выполнения лабораторно-аналитических работ использовали воздушно-сухие образцы почв, просеянные через сито с диаметром ячеек 1 и 0,25 мм (для гумуса и общего азота).

На целине диагностировали чернозём глинисто-иллювиальный маломощный среднесуглинистый, на пашне – агрозём тёмный глинисто-иллювиальный мелкий среднесуглинистый, на залежи – агрочернозём глинисто-иллювиальный постагрогенный маломощный среднесуглинистый (Полевой ..., 2008). По международной классификации IUSS Working Group WRB (2022) почва на целине и залежи идентифицирована как Luvic Greyzemic Chernozem (Siltic), на пашне – Luvic Greyzemic Chernozem (Siltic, Aric); по классификации почв СССР (Классификация ..., 1977) на всех трёх участках исследования диагностировали чернозём выщелоченный маломощный среднесуглинистый.

Лабораторно-аналитические работы провели в Институте почвоведения и агрохимии СО РАН стандартными почвенно-агрохимическими методами (Практикум ..., 2001): содержание органического углерода ($C_{орг}$) определили мокрым озолением в серно-хромовой смеси (по Тюрину); общего азота ($N_{общ}$) – мокрым озолением с восстановителем-катализатором Кудеярова (по Кьельдалю); карбонатов ($CaCO_3$) – газоволюметрическим методом на кальциметре Голубева; нитратного азота ($N-NO_3$), фосфора легкоподвижного ($P_{лп}$) и подвижного (P_n) – колориметрическим методом в вытяжке с 0,015 М K_2SO_4 для $N-NO_3$ и $P_{лп}$ (по Карпинскому-Замятиной) и в вытяжке с 0,5 М CH_3COOH для P_n (по Чирикову в соответствии с ГОСТ 26204-91); калия, кальция и магния – атомно-абсорбционным методом в вытяжке с 1 М CH_3COONH_4 для обменной формы (по Масловой) и в вытяжке с 1 М HNO_3 для необменной формы калия и магния (по Pratt, Morse); реакцию среды водных почвенных суспензий ($pH_{вод}$) – потенциометрически; гранулометрический состав почв – методом пипетки с диспергацией образцов пирофосфатом натрия. Все расчёты представили на абсолютно-сухую почву.

Зная плотность исследуемых почв и содержание в них органического углерода, подвижных форм фосфора, калия, кальция и магния, рассчитали запасы гумуса и перечисленных макроэлементов в гумусовом горизонте (0–30 см).

Расчёты и построение графиков по изученным свойствам почв целины, пашни и залежи (рис. 2–б) провели с помощью пакета программ Microsoft Office Excel, статистическую обработку – методом дисперсионного анализа с использованием пакета программ прикладной статистики SNEDECOR V. 5.80 (Сорокин, 2012). Сравнения свойств почв трёх участков исследования провели в гумусовом горизонте, где образцы отобраны с одинаковой глубины: 0–5, 5–10, 10–20 и 20–30 см ($n = 12$). К тому же слой 0–30 см соответствует пахотному слою агрозёма, подверженному наибольшему изменению почвенных параметров в случае распашки и вовлечения в сельскохозяйственный оборот целинных и залежных земель. В таблицах 1–5 привели результаты анализа различия средних по фактору «Участок» (в качестве контроля – Целина) с указанием наименьшей существенной разницы (НСР) на уровне значимости 5% ($\alpha = 0,05$, обычный эксперимент) и вероятность ошибки (p).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Морфологическое строение, физические и физико-химические свойства почв. Строение профиля почв на трёх разных по типу землепользования участках показано на рисунке 1. Типодиагностическими горизонтами целинного чернозёма являются тёмногумусовый (AU) и срединный глинисто-иллювиальный (BI). На поверхности почвы присутствует дернина (AU_{urz}, по: Хитров, Герасимова, 2022) мощностью 10 см, которая сформировалась благодаря травянистой растительности с преобладанием дерновинных злаков. Ниже дернины тёмногумусовый горизонт имеет типичную тёмно-серую окраску (10YR 2/1 по шкале Манселла), хорошо выраженную биогенную порошисто-зернистую структуру с обилием копролитов. Пахотная почва отличается от целины только поверхностным агротёмногумусовым (PU) горизонтом с выраженной плужной подошвой в нижней его части и крупно-комковатой структурой. Отличительным признаком залежной почвы является тёмногумусовый постагрогенный (AU_{pa}) горизонт с хорошо восстановившейся порошисто-зернистой структурой и вновь сформированной дерниной (AU_{urz}) в верхней части профиля. В то же время в залежной почве, несмотря на длительное (27 лет) отсутствие вспашки, сохраняются признаки плужной подошвы, ниже которой расположен небольшой слой целинного тёмногумусового (AU) горизонта. Срединные горизонты почв целины, пашни и залежи сходны: глинисто-иллювиальный (BI) горизонт обладает ореховато-мелкопризматической структурой с тонкими (до 1 мм) гумусово-глинистыми кутанами на гранях агрегатов, в аккумулятивно-карбонатном (BCA) горизонте карбонатные новообразования представлены псевдомицелием.

Почвы трёх участков исследования имеют среднесуглинистый гранулометрический состав: содержание физической глины (ФГ) варьирует от 30 до 44%. Содержание ила и ФГ увеличивается вниз по профилю почв (рис. 2); максимум содержания этих фракций приурочен, преимущественно, к срединному (BI) горизонту. Несмотря на более высокое содержание ила и ФГ в гумусовом горизонте пахотной почвы в сравнении с целиной и залежью, статистически значимых различий в гранулометрическом составе почв трёх участков землепользования не выявлено (табл. 1). Другие авторы (Миллер и др., 2023) отмечают обеднение бывшего пахотного горизонта почв илистыми частицами с увеличением возраста залежей на юге Западной Сибири.

По глубине залегания карбонатов (CaCO₃) в профиле почв трёх участков обнаружены различия: в целине и залежи CaCO₃ расположены на глубине 80 и 86 см, что характеризует чернозёмы как сильновыщелоченные; в пашне – на глубине 65 см (средневыщелоченный агрозём). Профильное распределение карбонатов имеет элювиально-иллювиальный характер, хорошо выражены зоны их выщелачивания (горизонты AU, BI) и аккумуляции (горизонт BCA). Различий по количеству карбонатов в сравниваемых почвах не установлено как в зоне их выщелачивания, так и аккумуляции: в целине содержание CaCO₃ варьирует в пределах 2,11–10,19%, в пашне – 1,71–10,62%, в залежи – 1,71–11,03%. Исследование свойств почв залежных рядов в лесостепной зоне европейской части России свидетельствует о трансформации их карбонатного состояния (Булышева и др., 2021), в изученном агрочернозёме лесостепи Западной Сибири после 27 лет постагрогенного периода восстановления почвы подобных изменений не выявлено.

Реакция среды играет важную роль в направленности физико-химических, агрохимических и биологических процессов в почве. Для корневой системы сельскохозяйственных культур оптимальна близкая к нейтральной и слабощелочная реакция среды в пределах 6,0–7,5 единиц (Овчаренко, 2024). Величина pH_{вод} в дерновом слое (0–10 см) почв целины и залежи варьирует от слабокислой до близкой к нейтральной, в тёмногумусовом и срединных горизонтах – нейтральная, в аккумулятивно-карбонатном горизонте и глубже (включая материнскую породу) – щелочная. Агротёмногумусовый и глинисто-иллювиальный горизонты пахотной почвы имеют нейтральную реакцию среды (рис. 3а). Статистически значимых различий по величине pH_{вод} в профиле сравниваемых почв не отмечено.

Таким образом, отличительными признаками морфологии целинного чернозёма являются дернина (горизонт AU_{urz}) и порошисто-зернистая биогенная структура гумусового горизонта. Для агрочернозёма эти признаки являются важными показателями постагрогенной трансформации и свидетельствуют о восстановлении почвенной структуры до близкого к целинному состоянию (Люри и др., 2010; Булышева и др., 2021; Малышев, 2021; Кравцов, Смоленцева, 2022; и др.). Это подтверждает ранее установленный факт, что чернозёмы лесостепи Западной Сибири в условиях длительного использования под посевы сельскохозяйственных культур проявляют высокую степень устойчивости к агрогенным нагрузкам, частично сохраняют природную комковато-зернистую структуру и быстро её восстанавливают (Хмелев, Танасиенко, 2009; Курганова и др., 2021).

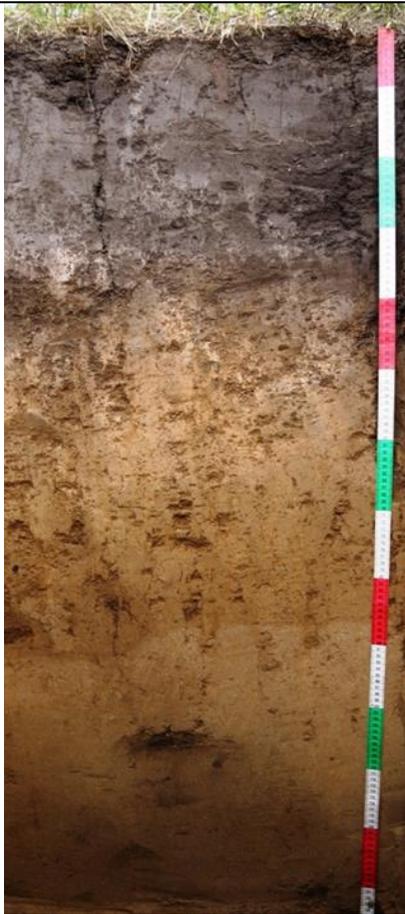
Целина		Пашня		Залежь	
	AUrz 0–10 см			AUrz 0–10 см	
	AU 10–32 см			PU 0–26 (30) см	AUpa 10–30 см
	BI 32–80 см			BI 30–60 см	AU 30–35 (38) см
	BCA 80–105 см			BCA 60–100 см	BIel 35–50 см
	BCca 105–120 см			BCca 100–120 см	BI 50–70 см
	Cca 120–145 см			Cca 120–130 см	BM 70–86 см
					BCA 86–105 см
		BCca 105–120 см			
		Cca 120–145 см			

Рисунок 1. Строение профиля почв трёх разных по типу землепользования участков: целина – чернозём глинисто-иллювиальный маломощный среднесуглинистый; пашня – агрозём тёмный глинисто-иллювиальный мелкий среднесуглинистый; залежь – агрочернозём глинисто-иллювиальный постагрогенный маломощный среднесуглинистый (Полевой ..., 2008). Фото Е.Н. Смоленцевой.

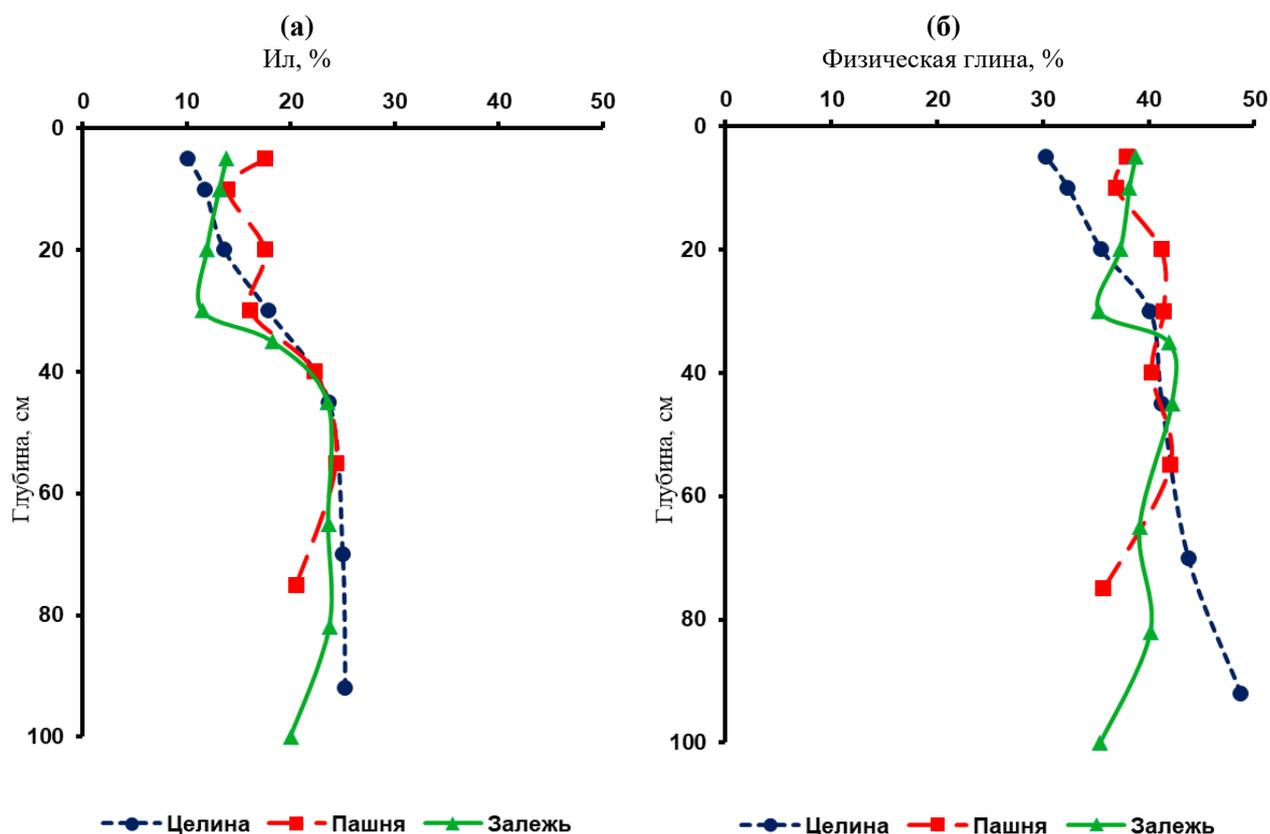


Рисунок 2. Содержание ила (а) и физической глины (б) в профиле почв трёх разных по типу землепользования участков.

Таблица 1

Содержание ила и физической глины в гумусовом горизонте почв

Участок	Глубина, см				Анализ различия средних	
	0–5	5–10	10–20	20–30	Средние	Различия
Содержание (%): ила (над чертой) и физической глины (под чертой)						
Целина	<u>10,1</u> 30,3	<u>11,7</u> 32,4	<u>13,6</u> 35,5	<u>17,8</u> 40,1	<u>13,3</u> 34,6	Контроль
Пашня	<u>17,5</u> 38,0	<u>13,9</u> 36,9	<u>17,5</u> 41,2	<u>16,1</u> 41,4	<u>16,3</u> 39,4	
Залежь	<u>13,8</u> 38,8	<u>13,2</u> 38,2	<u>12,0</u> 37,3	<u>11,5</u> 35,2	<u>12,6</u> 37,4	
Вывод: по содержанию ила ($HCP_{05} = 4,32$, $p = 0,1716$) и физической глины ($HCP_{05} = 5,19$, $p = 0,1560$) различия средних недостоверны						

Гумусное состояние почв. К числу важнейших показателей, характеризующих потенциальное плодородие почв, относятся содержание и запасы органического углерода (с пересчётом на гумус), общего азота и их профильное распределение. Среди почв трёх участков исследования наибольшее содержание органического углерода ($C_{орг}$) отмечено в профиле целинного чернозёма; различия между целиной и пашней особенно заметны в гумусовом горизонте (0–30 см) (рис. 3б). Такая же закономерность характерна для общего азота ($N_{общ}$). Например, в слое 0–30 см целины содержание $C_{орг}$ и $N_{общ}$ составило в среднем 3,54 и 0,39%, в этом же слое пахотной почвы – 2,51 и 0,32%. В то же время статистически значимых различий по содержанию гумуса, общего азота и их запасам в трёх сравниваемых почвах не установлено (табл. 2).

Профильное распределение $C_{орг}$ в изученных почвах резко убывающее (см. рис. 3б). В этом заключается специфика фациального «сибирского» признака чернозёмов – небольшая мощность гумусового горизонта, но высокое содержание и запасы гумуса в верхнем полуметровом слое (78–85% от запасов в слое 0–100 см) с довольно резким падением с глубиной (Агрохимические свойства ..., 1989, с. 16; Хмелев, Танасиенко, 2009, с. 107; Смоленцева, 2020).

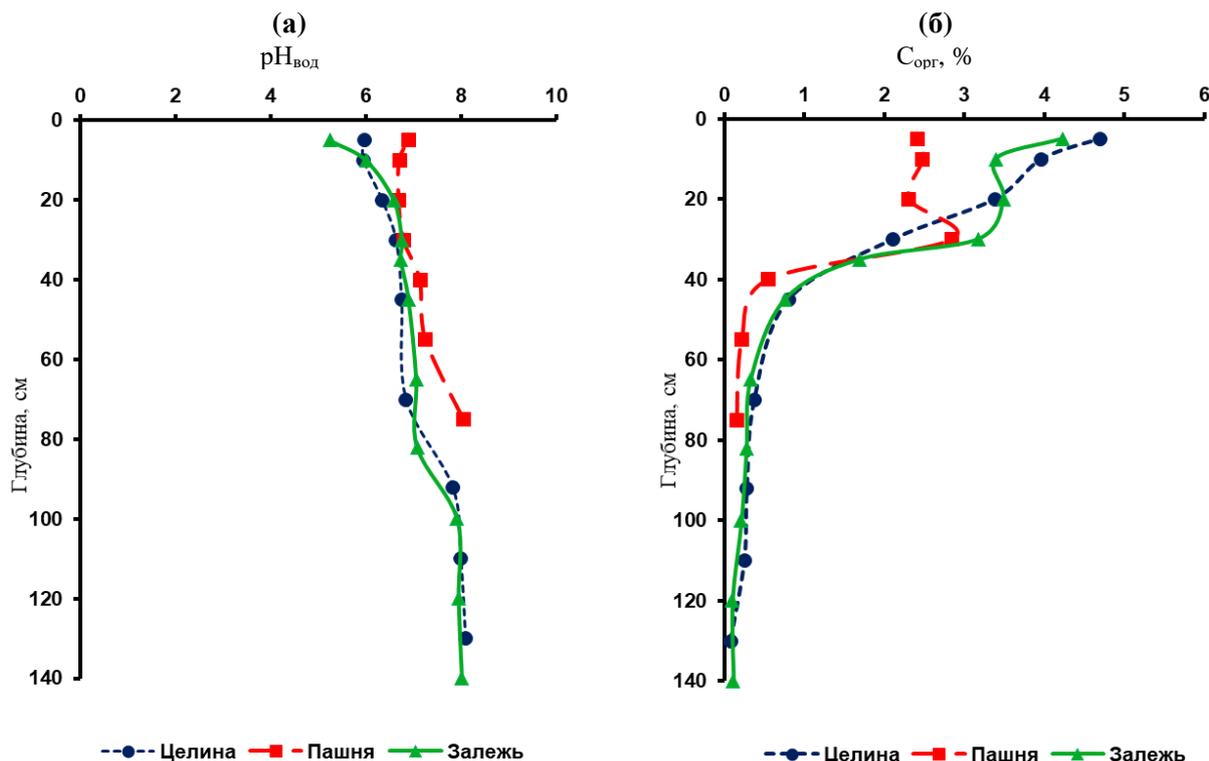


Рисунок 3. Величина pH водных почвенных суспензий (а) и содержание органического углерода (б) в почвах трёх разных по типу землепользования участков.

Таблица 2

Содержание гумуса, общего азота и их запасы в гумусовом горизонте почв

Участок	Глубина, см				Анализ различия средних	
	0–5	5–10	10–20	20–30	Средние	Различия
Гумус: содержание (%), над чертой) и запасы (т/га, под чертой)						
Целина	<u>8,1</u> 32	<u>6,8</u> 35	<u>5,8</u> 61	<u>3,6</u> 46	<u>6,1</u> 43	Контроль
Пашня	<u>4,2</u> 21	<u>4,3</u> 25	<u>4,0</u> 46	<u>4,9</u> 54	<u>4,3</u> 36	-1,77 -6,88
Залежь	<u>7,3</u> 32	<u>5,9</u> 34	<u>6,0</u> 68	<u>5,5</u> 63	<u>6,2</u> 49	<u>0,05</u> 6,16
Вывод: по содержанию гумуса различия средних недостоверны (НСР ₀₅ = 1,95, p = 0,1038), по запасам гумуса – не доказаны на уровне 5% (НСР ₀₅ = 10,33, p = 0,0576)						
Азот общий: содержание (%), над чертой) и запасы (т/га, под чертой)						
Целина	<u>0,52</u> 2,1	<u>0,43</u> 2,2	<u>0,38</u> 3,9	<u>0,23</u> 2,9	<u>0,39</u> 2,8	Контроль
Пашня	<u>0,30</u> 1,5	<u>0,33</u> 1,9	<u>0,33</u> 3,8	<u>0,33</u> 3,6	<u>0,32</u> 2,7	-0,07 -0,06
Залежь	<u>0,44</u> 1,9	<u>0,38</u> 2,2	<u>0,37</u> 4,1	<u>0,35</u> 4,0	<u>0,38</u> 3,1	-0,01 0,31
Вывод: по содержанию общего азота (НСР ₀₅ = 0,11, p = 0,3582) и его запасам (НСР ₀₅ = 0,54, p = 0,2818) различия средних недостоверны						

В целом для оподзоленных и выщелоченных чернозёмов Западной Сибири характерно высокое содержание и запасы гумуса в пахотном слое (0–20 см): в среднем 8,9% и 184 т/га (Агрохимические свойства ..., 1989, с. 28). В нашем исследовании содержание и запасы гумуса в слое 0–30 см агрозёма были средними и составили 4,3% и 146 т/га. В этом же слое почв двух других участков данные параметры были выше и составили 6,1% и 173 т/га в целине, 6,2% и 198 т/га в залежи. Судя по соотношению C:N (молярное) обогащённость гумуса азотом следует оценить как среднюю для всех почв: в слое 0–30 см целины C:N составило 10,6, в пашне и залежи – 9,1 и 10,9.

Итак, с одной стороны, выявлена тенденция снижения параметров потенциального плодородия чернозёмов в условиях агроценоза (особенно в пахотном слое), с другой, их улучшение за 27-летний период постагрогенного восстановления почвы. Такая же закономерность по улучшению гумусного состояния почв залежей установлена и в других работах (Люри и др., 2010; Кутькина, Еремина, 2011; Денисов, 2016; Шпедт, Трубников, 2017, 2018; Якутина, Нечаева, 2019; Зыбалов и др., 2020; Соколов, Соколова, 2020; Кравцов, Смоленцева, 2022; Добрянская, 2023; и др.).

Агрохимические свойства почв. В качестве параметров, характеризующих эффективное плодородие почв, рассмотрим содержание подвижных форм азота, фосфора, калия, кальция и магния. Основным источником азотного питания растений в агроценозах служит подвижный минеральный азот, главным образом, его нитратная форма ($N-NO_3$). Среднее содержание $N-NO_3$ в слое 0–40 см выщелоченных чернозёмов Западной Сибири составляет 13,2 мг/кг (Хмелев, Танасиенко, 2009, с. 134). В гумусовом горизонте трёх исследуемых почв содержание $N-NO_3$ было очень низким (табл. 3), что указывает на необходимость улучшения азотного питания выращиваемых растений в условиях агроценоза. При этом в пахотной почве данный параметр статистически значимо выше в сравнении с целиной и залежью, что может говорить о более благоприятных условиях микробиологической минерализации органических соединений в почвах пашни и подтверждается данными других исследователей (Сорокина и др., 2016, с. 221).

Фосфору, как известно, принадлежит особая роль среди элементов минерального питания, поскольку он контролирует практически все биохимические процессы жизнедеятельности растений. В профиле почв целины и залежи максимальное содержание легкоподвижного фосфора ($P_{лп}$) установлено в верхнем слое дернины (0–5 см), в пашне – в агротёмногумусовом горизонте (см. табл. 3, рис. 4а), что, скорее всего, обусловлено биогенной аккумуляцией фосфора в наиболее гумусированном верхнем слое почв (Люри и др., 2010; Хмелев, Танасиенко, 2009, с. 138; и др.).

По содержанию и запасам подвижного фосфора (P_n) почвы трёх участков выстраиваются в следующий ряд (по убыванию): пашня > залежь > целина (см. табл. 3, рис. 4б). Более высокое содержание P_n в профиле пахотной почвы может быть связано с частичной распаковкой почвенных агрегатов и увеличением степени гидролиза поверхностных слоёв минералов в условиях агроценоза, как это было ранее отмечено В.Н. Якименко (2003, с. 112) при изучении калийного статуса автоморфных почв Западной Сибири. В то же время в исследованиях О.П. Якутиной (2006) показано, что длительное использование пахотных незеродированных земель без возврата отчуждённого с урожаем фосфора приводит к уменьшению содержания всех форм фосфатов в почвах пашни в сравнении с залежью. Содержание $P_{лп}$ и P_n в пахотном слое агрозёма соответствует повышенному и высокому уровням обеспеченности фосфором зерновых культур (цит. по: Аверкина и др., 2011).

Таблица 3

Содержание нитратного азота и легкоподвижного фосфора, содержание и запасы подвижного фосфора в гумусовом горизонте почв

Участок	Глубина, см				Анализ различия средних	
	0–5	5–10	10–20	20–30	Средние	Различия
Содержание (мг/кг): нитратного азота ($N-NO_3$, над чертой) и легкоподвижного фосфора ($P_{2O_5_{лп}}$, под чертой)						
Целина	<u>1,17</u> 1,31	<u>0,83</u> 0,45	<u>0,97</u> 0,04	<u>0,83</u> 0,15	<u>0,95</u> 0,48	Контроль
Пашня	<u>1,41</u> 0,38	<u>1,23</u> 0,91	<u>2,04</u> 0,92	<u>1,65</u> 0,42	<u>1,58</u> 0,66	<u>0,63*</u> 0,17
Залежь	<u>1,14</u> 0,61	<u>0,87</u> 0,17	<u>0,71</u> 0,24	<u>0,97</u> 0,15	<u>0,92</u> 0,29	<u>-0,03</u> -0,19
Вывод: по содержанию нитратного азота ($HCP_{05} = 0,45$, $p = 0,0191$) различия средних достоверны на уровне 5%, по содержанию легкоподвижного фосфора ($HCP_{05} = 0,69$, $p = 0,4803$) – недостоверны						
Подвижный фосфор ($P_{2O_5_n}$): содержание (мг/кг, над чертой) и запасы (кг/га, под чертой)						
Целина	<u>145</u> 58	<u>122</u> 62	<u>130</u> 135	<u>157</u> 196	<u>138</u> 113	Контроль
Пашня	<u>224</u> 111	<u>241</u> 138	<u>254</u> 296	<u>231</u> 255	<u>238</u> 200	<u>99,3*</u> 87,4*
Залежь	<u>176</u> 78	<u>192</u> 112	<u>176</u> 199	<u>194</u> 224	<u>185</u> 154	<u>46,4*</u> 40,8
Вывод: по содержанию подвижного фосфора ($HCP_{01} = 38,1$; $p = 0,0002$) и его запасам ($HCP_{01} = 68,0$; $p = 0,0091$) различия средних достоверны на уровне 1%						

Примечание. * – разница превышает НСР (5%).

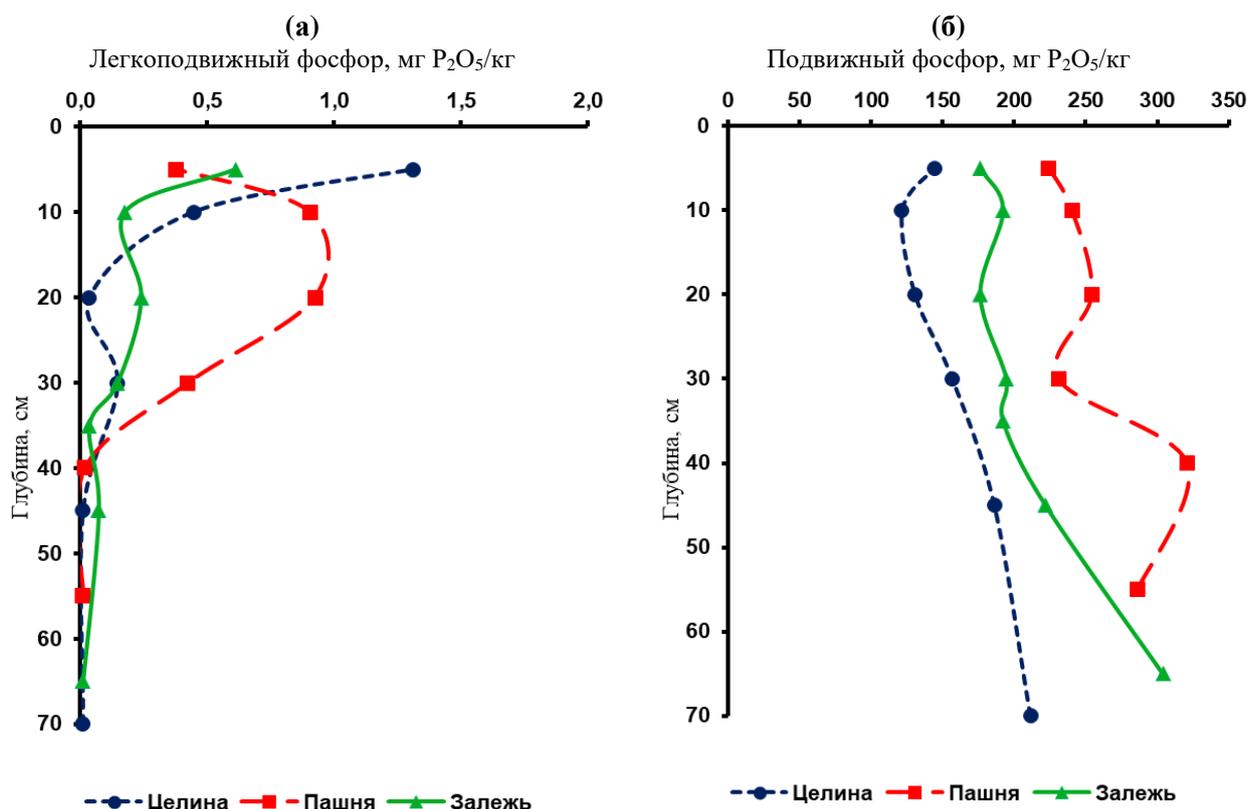


Рисунок 4. Содержание легкоподвижного (а) и подвижного (б) фосфора в профиле почв трёх разных по типу землепользования участков.

Калий – незаменимый элемент минерального питания растений. Как и в случае с фосфором, максимальное содержание обменного калия ($K_{обм}$) в почвах целины и залежи зафиксировано в верхнем слое (0–5 см) дернины в результате биогенной аккумуляции элемента, что особенно выражено в почвах с пышной травянистой растительностью (Середина, 2013). Далее вниз по профилю почв содержание $K_{обм}$ варьирует незначительно. В профиле пахотной почвы содержание обменного калия изменяется в ещё более узком диапазоне (табл. 4, рис. 5а).

Таблица 4

Содержание обменного и необменного калия и их запасы в гумусовом горизонте почв

Участок	Глубина, см				Анализ различия средних	
	0–5	5–10	10–20	20–30	Средние	Различия
К обменный: содержание (мг/100 г, над чертой) и запасы (кг/га, под чертой)						
Целина	<u>47</u> 187	<u>26</u> 131	<u>22</u> 228	<u>21</u> 257	<u>29</u> 201	Контроль
Пашня	<u>30</u> 150	<u>30</u> 173	<u>37</u> 435	<u>29</u> 316	<u>32</u> 268	<u>2,8</u> 67,6
Залежь	<u>43</u> 190	<u>20</u> 119	<u>21</u> 232	<u>19</u> 224	<u>26</u> 191	<u>-3,0</u> -9,4
Вывод: по содержанию обменного калия ($HCP_{05} = 13,4$, $p = 0,5976$) и его запасам ($HCP_{05} = 101,6$, $p = 0,2101$) различия средних недостоверны						
К необменный: содержание (мг/100 г, над чертой) и запасы (кг/га, под чертой)						
Целина	93 371	86 436	114 1180	110 1381	<u>101</u> 842	Контроль
Пашня	<u>167</u> 830	<u>137</u> 788	<u>172</u> 2007	<u>169</u> 1856	<u>161</u> 1370	<u>60,6*</u> 528*
Залежь	<u>180</u> 797	<u>127</u> 744	<u>123</u> 1394	<u>142</u> 1638	<u>143</u> 1143	<u>42,4*</u> 301*
Вывод: по содержанию необменного калия ($HCP_{01} = 45,9$, $p = 0,0071$) и его запасам ($HCP_{01} = 378$; $p = 0,0060$) различия средних достоверны на уровне 1%						

Примечание. * – разница превышает НСР (5%).

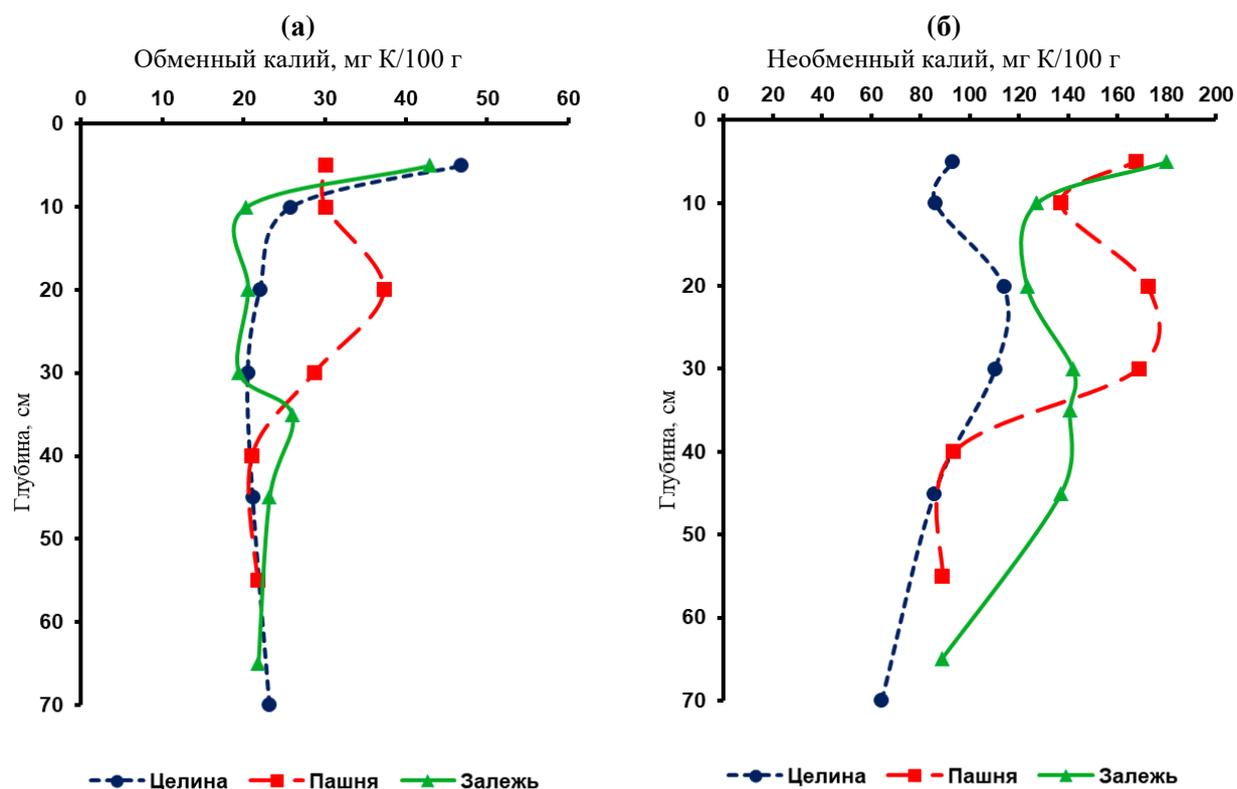


Рисунок 5. Содержание обменного (а) и необменного (б) калия в профиле почв трёх разных по типу землепользования участков.

В целом сравниваемые почвы не различаются по содержанию и запасам обменного калия. В то же время содержание и запасы необменного калия в почвах пашни и залежи статистически значимо выше в сравнении с целиной (см. табл. 4, рис. 5б). Увеличение содержания необменного калия в почве после распашки может происходить за счёт потенциальных почвенных запасов, главным образом, структурного калия. Интенсификация в условиях агропедогенеза процессов выветривания может быть причиной данного явления, что отмечал В.Н. Якименко (2003, с. 113) при изучении калийного статуса почв агроценозов Западной Сибири.

Следует отметить, что сибирские чернозёмы характеризуются высокой обеспеченностью калием, поэтому урожай возделываемых на них культур (особенно зерновых) формируется в основном за счёт мобилизации почвенных запасов калия (Агрохимические свойства ..., 1989, с. 70; Хмелев, Танасиенко, 2009, с. 147). Это подтверждают и наши данные: содержание обменного и необменного калия в пахотном слое агрозёма составило в среднем 32 и 161 мг К/100 г, соотношение $K_{обм} : K_{необм}$ равно 5, что соответствует высокому уровню обеспеченности почвы калием. Поэтому в условиях экстенсивного агроценоза (без внесения удобрений) для культур, подобных пшенице по способности к усвоению почвенного калия, его запасы в суглинистых почвах могут служить источником питания в течение длительного времени (Якименко, 2003, с. 133).

Известно, что **кальций**, обеспечивая коагуляцию коллоидных систем, играет важную роль в структурообразовании почв, а **магний** является полифункциональным элементом питания растений. Ранее было установлено (Якутина, Нечаева, 2019), что на юге Западной Сибири намытый слой залежных почв содержит больше обменного кальция ($Ca_{обм}$) в сравнении с погребёнными горизонтами, а обменного магния ($Mg_{обм}$) – столько же, либо меньше. В данной работе содержание и запасы как $Ca_{обм}$, так и необменного магния высокие и не отличаются между почвами трёх участков (табл. 5, рис. б). Содержание $Mg_{обм}$ в почве целины выше, чем в пашне и залежи, что может говорить о потерях элемента за счёт отчуждения растительной продукции. Такая же закономерность получена нами ранее при изучении почв топокатены: в профиле целины содержание $Mg_{обм}$ было выше, чем в несмытой и смытых почвах пашни (Нечаева, 2022). В длительных полевых опытах В.Н. Якименко (2019) показано, что значительное снижение уровня $Mg_{обм}$ в почве может быть связано не только с отчуждением элемента с урожаем, но и с процессами выщелачивания за счёт вытеснения магния из почвенно-поглощающего комплекса ионами аммония и, возможно, калия, вносимыми с удобрениями.

Таблица 5

Содержание и запасы обменных кальция и магния, необменного магния в гумусовом горизонте почв

Участок	Глубина, см				Анализ различия средних	
	0–5	5–10	10–20	20–30	Средние	Различия
Кальций обменный ($Ca_{обм}$): содержание (мг/100 г, над чертой) и запасы (кг/га, под чертой)						
Целина	<u>320</u> 1278	<u>383</u> 1940	<u>377</u> 3907	<u>341</u> 4267	<u>355</u> 2848	Контроль
Пашня	<u>351</u> 1742	<u>335</u> 1924	<u>341</u> 3966	<u>363</u> 3995	<u>347</u> 2907	<u>-7,7</u> 58,8
Залежь	<u>281</u> 1244	<u>377</u> 2203	<u>407</u> 4603	<u>376</u> 4343	<u>360</u> 3098	<u>5,1</u> 250
Вывод: по содержанию $Ca_{обм}$ ($HCP_{05} = 56,5$, $p = 0,8581$) и его запасам ($HCP_{05} = 464$, $p = 0,4375$) различия средних недостоверны						
Магний обменный ($Mg_{обм}$): содержание (мг/100 г, над чертой) и запасы (кг/га, под чертой)						
Целина	<u>36</u> 143	<u>35</u> 176	<u>41</u> 422	<u>34</u> 432	<u>36</u> 293	Контроль
Пашня	<u>30</u> 151	<u>30</u> 175	<u>34</u> 401	<u>34</u> 379	<u>32</u> 276	<u>-4,0*</u> -16,7
Залежь	<u>26</u> 117	<u>30</u> 178	<u>35</u> 390	<u>30</u> 351	<u>30</u> 259	<u>-6,0*</u> -34,1*
Вывод: по содержанию $Mg_{обм}$ ($HCP_{01} = 4,7$; $p = 0,0091$) различия средних достоверны на уровне 1%, по запасам $Mg_{обм}$ ($HCP_{05} = 33,1$, $p = 0,1152$) – недостоверны						
Магний необменный ($Mg_{необм}$): содержание (мг/100 г, над чертой) и запасы (кг/га, под чертой)						
Целина	<u>245</u> 978	<u>250</u> 1267	<u>387</u> 4015	<u>320</u> 4013	<u>301</u> 2568	Контроль
Пашня	<u>345</u> 1713	<u>396</u> 2280	<u>341</u> 3968	<u>392</u> 4314	<u>369</u> 3069	<u>67,9</u> 500
Залежь	<u>309</u> 1367	<u>348</u> 2035	<u>300</u> 3397	<u>348</u> 4013	<u>326</u> 2703	<u>25,6</u> 135
Вывод: по содержанию $Mg_{необм}$ ($HCP_{05} = 81,3$, $p = 0,1997$) и его запасам ($HCP_{05} = 543$, $p = 0,1440$) различия средних недостоверны						

Примечание. * – разница превышает НСР (5%).

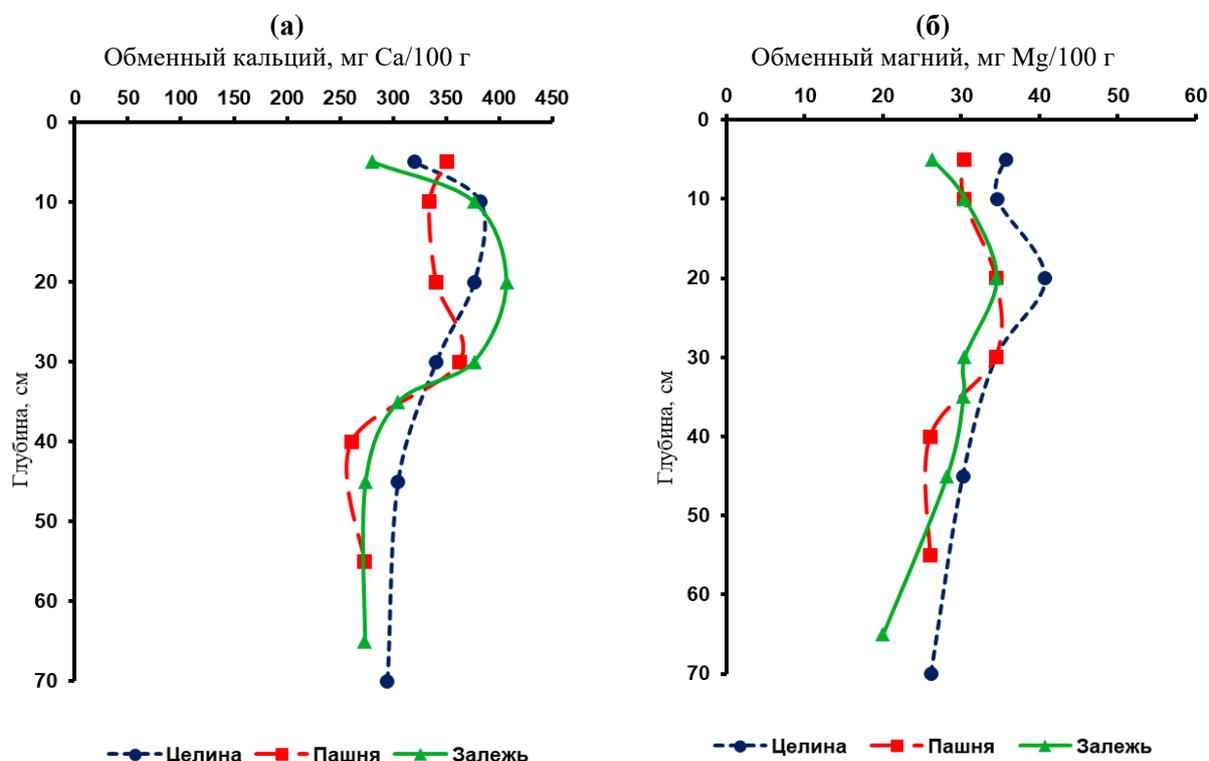


Рисунок 6. Содержание обменных кальция (а) и магния (б) в профиле почв трёх разных по типу землепользования участков.

В пахотном слое агрозёма содержание обменного кальция составило в среднем 17,3 мг-экв $\text{Ca}^{2+}/100$ г, обменного магния – 2,7 мг-экв $\text{Mg}^{2+}/100$ г, что указывает на высокую (Ca) и повышенную (Mg) обеспеченность почвы данными элементами питания (Методические ..., 2003, с. 183).

Таким образом, агрохимический статус почв целины, пашни и залежи по величине $\text{pH}_{\text{вод}}$, содержанию в гумусовом горизонте подвижных форм фосфора, калия, кальция и магния определён как благоприятный для выращивания сельскохозяйственных культур. Самый верхний слой (0–5 см) дернины на целине и 27-летней залежи отличается наибольшим содержанием органического углерода, общего и нитратного азота, легкоподвижного фосфора и обменного калия. К такому же результату мы пришли ранее при исследовании смыто-намытых почв залежей на юге Западной Сибири, где дерновый слой почв целины и разновозрастных залежей отличался повышенным содержанием подвижных соединений азота, фосфора и калия (Якутина, Нечаева, 2019). Отчётливо выраженная аккумуляция биогенных элементов в верхнем слое (0–10 см) серых почв залежей лесостепной зоны Красноярского края установлена и в многолетних исследованиях О.А. Сорокиной с соавторами (2016, с. 115, 220–221). Такие же закономерности получены для залежных почв европейской части России. Например, анализ изменений запасов углерода серых лесных почв разновозрастных залежей на юге Московской области показал, что наиболее интенсивно углерод аккумулируется в верхнем слое (0–10 см) бывшего пахотного горизонта (Баева и др., 2017). Наиболее значительные постагрогенные изменения по содержанию органического углерода, общего азота и денситометрических фракций органического вещества в тёмно-серой почве Белгородской области и в чернозёме миграционно-мицелярном Курской области установлены в слое 0–5 см (Овсепян и др., 2020). Следовательно, для выявления изменений свойств постагрогенных почв, особенно при исследовании разновозрастных залежей, необходим детальный отбор образцов в самом верхнем слое гумусового горизонта, лучше всего отдельно с глубины 0–5 и 5–10 см.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследованные чернозёмы лесостепной зоны Западной Сибири в целинном, пахотном и залежном состоянии имеют различия в строение профиля и структуре поверхностного горизонта, глубине залегания карбонатов, содержании подвижного фосфора, обменного магния и необменного калия. В самом верхнем слое (0–5 см) дернины на целине и 27-летней залежи выражена аккумуляция биогенных элементов (органического углерода, общего и нитратного азота, легкоподвижного фосфора и обменного калия). Отсутствие статистически значимых различий между тремя участками землепользования по гранулометрическому составу почв, содержанию карбонатов и легкоподвижного фосфора, содержанию и запасам в гумусовом горизонте (0–30 см) гумуса, общего азота, обменной формы калия и кальция, необменного магния свидетельствует о значительной устойчивости чернозёмов к агрогенным нагрузкам. Кроме того, сходство в параметрах потенциального и эффективного плодородия почв между целиной и залежью доказывает, что в период постагрогенной трансформации чернозёмов восстанавливаются их гумусное состояние и свойства. Земельный участок 27-летней залежи вполне может быть повторно распахан. Однако необходимо подчеркнуть, что урожай возделываемых культур (особенно зерновых) на чернозёмах сибирского региона формируется в основном за счёт мобилизации почвенных запасов подвижных форм макроэлементов без компенсации их отчуждения внесением удобрений. При этом скорость и степень агрогенной трансформации сибирских чернозёмов значительно выше, чем в европейской части России (Смоленцева, 2020). Поэтому необходим мониторинг плодородия чернозёмов при их сельскохозяйственном использовании, в том числе при повторном введении в пашню залежных земель.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность сотрудникам Института почвоведения и агрохимии СО РАН – ведущему инженеру лаборатории агрохимии Г.А. Бугровской, а также инженерам лаборатории географии и генезиса почв и аналитической группы лаборатории биогеохимии почв за помощь в проведении лабораторно-аналитических работ.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена по государственному заданию Института почвоведения и агрохимии СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

ЛИТЕРАТУРА

- Аверкина С.С., Синешков В.Е., Ткаченко Г.И. Оценка методов определения фосфатов в черноземах Новосибирской области // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2011. № 11–12. С. 5–10.
- Агрохимические свойства почв и эффективность удобрений / Гамзиков Г.П., Ильин В.Б., Назарюк В.М. и др. Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1989. 254 с.
- Азаренко Ю.А., Бефус М.В. Плодородие пахотных и залежных лугово-черноземных почв агроландшафтов южной лесостепи Омского Прииртышья // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2024. Том 53. № 1. С. 5–15
- 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. <https://doi.org/10.31857/S2500262722060084>
- Баева Ю.И., Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Почикалов А.В., Кудеяров В.Н. Физические свойства и изменение запасов углерода серых лесных почв в ходе постагрогенной эволюции (юг Московской области) // Почвоведение. 2017. № 3. С. 345–353. <https://doi.org/10.7868/S0032180X17030029>
- Бедарева О.М., Троян Т.Н., Мурачёва Л.С., Анциферова О.А., Федюнина О.П., Горшнина Г.В. Освоение залежей под луговые и пастбищные угодья // Известия КГТУ. 2017. № 46. С. 109–120.
- Булышева А.М., Хохлова О.С., Бакунович Н.О., Русаков А.В., Мякшина Т.Н. Изменение свойств почв залежного ряда Курской области и тренды восстановления постагрогенных почв лесостепной и степной зон // Почвоведение. 2021. № 8. С. 983–998. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21080049>
- Бурдуковский М.Л., Перепелкина П.А. Агроэкологическое состояние почв и восстановление растительности в залежных экосистемах // Биота и среда природных территорий. 2022. Том 10. № 2. С. 28–36. https://doi.org/10.37102/2782-1978_2022_2_3
- Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. Москва: Агропромиздат, 1986. 416 с.
- Галеева Л.П. Свойства почв солонцовых комплексов Барабы в агроценозе пашня–залежь // Агрохимия. 2020. № 7. С. 17–25. <https://doi.org/10.31857/S0002188120070066>
- ГОСТ 26204-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО. Москва: Издательство стандартов, 1992. 6 с.
- Денисов Ю.Н. Агроэкологическая оценка залежных почв Челябинской области // Агрохимический вестник. 2016. № 5. С. 6–9.
- Джабраилова Б.С. Возможности вовлечения в оборот неиспользуемых сельскохозяйственных земель в регионах СЗФО // Аграрный вестник Урала. 2021. № 11 (214). С. 56–66. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-214-11-56-66>
- Дмитриев А.В., Леднев А.В. Влияние периода зарастания на ботанический состав и продуктивность залежных земель // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2016. № 2 (43). С. 7–12.
- Добротворская Н.И., Никкарь К.А., Дельцова К.А., Царюк Г.В. Изменение свойств почв при длительном неиспользовании пашни // Проблемы плодородия почв в современном земледелии: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию освоения целинных и залежных земель (Красноярск, 24–28 июня 2024 г.). Красноярск: ФИЦ КНЦ СО РАН, 2024. С. 386–390. https://doi.org/10.52686/9785605087878_386
- Добрянская С.Л. Оценка свойств залежи как потенциал для развития органического земледелия // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвящённой 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 263–265. <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>
- Зыбалов В.С., Сергеев Н.С., Запезалов М.В. Результаты мониторинга залежных земель в лесостепной зоне Южного Урала // АПК России. 2020. Т. 27. № 1. С. 30–37.
- Казеев К.Ш., Трушков А.В., Одабашян М.Ю., Колесников С.И. Постагрогенное изменение ферментативной активности и содержания органического углерода чернозема в первые 3 года залежного режима // Почвоведение. 2020. № 7. С. 901–910. <https://doi.org/10.31857/S0032180X20070059>
- Карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации. Масштаб 1:2500000 / Под ред. Г.В. Добровольского, И.С. Урусовой. Москва, 2013. 16 листов.

Классификация и диагностика почв СССР / Составители: В.В. Егоров, В.М. Фридланд, Е.Н. Иванова, Н.Н. Розова, В.А. Носин, Т.А. Фриев. Москва: Колос, 1977. 224 с.

Колпакова О.П. Введение в оборот неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения Красноярского края // Социально-экономический и гуманитарный журнал. 2023. № 2. С. 55–66. <https://doi.org/10.36718/2500-1825-2023-2-55-66>

Кондратова А.В., Абрамова Е.Р. Особенности формирования тонких корней на различных стадиях восстановления постагрогенных экосистем в зоне южной тайги // Успехи современного естествознания. 2018. № 9. С. 18–22. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36860> (дата обращения 22.07.2024).

Кравцов Ю.В., Смоленцева Е.Н. Особенности современного генезиса плакорных почв Ишимской степи // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2022. Вып. 111. С. 92–116. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2022-111-92-116>

Кураченко Н.Л., Колесник А.А. Гумусное состояние агрочерноземов Чулымо-Енисейской лесостепи после освоения залежи // Проблемы плодородия почв в современном земледелии: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию освоения целинных и залежных земель (Красноярск, 24–28 июня 2024 г.). Красноярск: ФИЦ КНЦ СО РАН, 2024. С. 73–75. https://doi.org/10.52686/9785605087878_73

Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Смоленцева Е.Н., Семенова М.П., Личко В.И., Смоленцев Б.А. Влияние типа землепользования на физические свойства черноземов лесостепной зоны Западной Сибири // Почвоведение. 2021. Том 55. № 9. С. 1061–1075. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21090045>

Кутькина Н.В., Еремина И.Г. Восстановление плодородия каштановых почв в условиях залежи // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 4. С. 9–11.

Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В., Буре В.М. Изучение показателей почвенного плодородия окультуренной дерново-подзолистой песчаной почвы на разных стадиях формирования природных экосистем // Агрохимия. 2022. № 6. С. 14–27. <https://doi.org/10.31857/S0002188122060084>

Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А., Денисенко Е.А., Нефедова Т.Г. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. Москва: ГЕОС, 2010. 416 с.

Малышев А.В. Особенности воспроизводства почв на залежах в различных физико-географических условиях Белгородской области // Региональные геосистемы. 2021. Том 45. № 1. С. 40–50. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2021-45-1-40-50>

Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. – Москва: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. 240 с.

Миллер Г.Ф., Соловьев С.В., Безбородова А.Н., Филимонова Д.А., Чумбаев А.С. К вопросу об изменении некоторых свойств почв под молодыми залежами на территории Новосибирской области // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 6. С. 249.

Миллер Г.Ф., Соловьев С.В., Безбородова А.Н. Почвенно-экологическая оценка разновозрастных залежей юго-востока Западной Сибири // Почвы и окружающая среда. 2023. Том 6. № 4. e230. <http://doi.org/10.31251/pos.v6i4.230>

Морковкин Г.Г., Дёмина И.В. К оценке влияния сидератов и залежи на изменение плодородия чернозёмов выщелоченных в условиях умеренно засушливой и колючей степи Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2011. № 11(85). С. 18–22.

Наквасина Е.Н., Шумилова Ю.Н. Динамика запасов углерода при формировании лесов на постагрогенных землях // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2021. Том 379. № 1. С. 46–59. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-1-46-59>

Нечаева Т.В. Изменение плодородия почв склонового агроландшафта в лесостепи Западной Сибири // Плодородие. 2022. № 6 (129). С. 41–45. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.129.11>

Нечаева Т.В. Залежные земли России: распространение, агроэкологическое состояние и перспективы использования (обзор) // Почвы и окружающая среда. 2023. Том 6. № 2. e215. <https://doi.org/10.31251/pos.v6i2.215>

Нечаева Т.В., Смоленцева Е.Н. Постагрогенное восстановление свойств черноземов лесостепной зоны Западной Сибири // Проблемы плодородия почв в современном земледелии: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию освоения целинных и залежных земель (Красноярск, 24–28 июня 2024 г.). Красноярск: ФИЦ КНЦ СО РАН, 2024. С. 85–88. https://doi.org/10.52686/9785605087878_85

Овсепян Л.А., Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Русаков А.В., Кузяков Я.В. Изменение денситометрического фракционного состава органического вещества почв лесостепной зоны в процессе постагрогенной эволюции // Почвоведение. 2020. № 1. С. 56–68. <https://doi.org/10.31857/S0032180X20010128>

- Овчаренко М.М. Управление плодородием почв и развитие агрохимической службы за 60 лет // Агрохимический вестник. 2024. № 3. С. 3–10. <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2024-3-001>
- Полевой определитель почв. Москва: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
- Практикум по агрохимии: учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. академика РАСХН В.Г. Минеева. Москва: Издательство МГУ, 2001. 689 с.
- Рыжова И.М., Телеснина В.М., Ситникова А.А. Динамика свойств почв и структуры запасов углерода в постагрогенных экосистемах в процессе естественного лесовосстановления // Почвоведение. 2020. № 2. С. 230–243. <https://doi.org/10.1134/S0032180X20020100>
- Середина В.П. Калий и почвообразование. Томск: Издательство Томского университета, 2012. 354 с.
- Смоленцева Е.Н. Черноземы Западной Сибири: региональные и зонально-провинциальные особенности // Отражение био-, гео-, антропогенных взаимодействий в почвах и почвенном покрове: сборник материалов VII Международной научной конференции, посвященной 90-летию кафедры почвоведения и экологии почв ТГУ. Томск, 2020. С. 90–94.
- Соколов А.С., Соколова Г.Ф. Сравнительный анализ водно-физических и агрохимических показателей почвы на разновозрастных залежах дельты Волги // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2020. № 8 (161). С. 49–56. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-8-49-56>
- Соколова Н.А., Смоленцева Е.Н. Агрогенная трансформация почвенного покрова Присалаирской дренированной равнины (Западная Сибирь) // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. 2021. Том 36. С. 37–56. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2021.36.37>
- Сорокин О.Д. Прикладная статистика на компьютере. 2-е изд. Новосибирск, 2012. 282 с.
- Сорокина О.А. Оценка запасов фитомассы и плодородия серых почв залежей // Почвы и окружающая среда. 2018. Том 1. № 3. С. 170–179. <https://doi.org/10.31251/pos.v1i3.40>
- Сорокина О.А., Токавчук В.В., Рыбакова А.Н. Постагрогенная трансформация серых почв залежей. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2016. 239 с.
- Сорокина О.А., Попков А.П. Влияние направления использования залежей на плодородие почв в сибирском регионе // Проблемы плодородия почв в современном земледелии: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию освоения целинных и залежных земель (Красноярск, 24–28 июня 2024 г.). Красноярск: ФИЦ КНЦ СО РАН, 2024. С. 98–102. https://doi.org/10.52686/9785605087878_98
- Титлянова А.А., Шибарева С.В. Изменение чистой первичной продукции и восстановление запасов углерода в почвах залежей // Почвоведение. 2022. № 4. С. 500–510. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X2204013X>
- Трубников Ю.Н., Шпедт А.А., Романов В.Н., Сорокина О.А., Гринберг С.Н., Якубайлик О.Э., Ерунова М.Г. Оценка и технологии освоения залежных земель Красноярского края: научно-практические рекомендации. Красноярск: Издательство ООО «Принт», 2021. 64 с.
- Трубников Ю.Н., Шпедт А.А. Оценка и освоение залежных земель Приенисейской Сибири // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 385–390. <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>
- Хитров Н.Б., Герасимова М.И. Предлагаемые изменения в классификации почв России: диагностические признаки и почвообразующие породы // Почвоведение. 2022. № 1. С. 3–14. <http://doi.org/10.31857/S0032180X22010087>
- Хмелев В.А., Танасиенко А.А. Земельные ресурсы Новосибирской области и пути их рационального использования / отв. ред. В.М. Курачев; Рос. акад. наук, Сиб. отделение, Ин-т почвоведения и агрохимии. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2009. 349 с.
- Шпедт А.А., Трубников Ю.Н. Гумусное состояние и рациональное использование почв залежных земель Приенисейской Сибири // Достижения науки и техники АПК. 2017. Том 31. № 5. С. 5–8.
- Шпедт А.А., Трубников Ю.Н. Тренды гумусного состояния залежных агропочв сельскохозяйственных ландшафтов Красноярского края // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири. Монография в 5 томах. Том II. Под редакцией В.Г. Сычева, Л. Мюллера. Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 2018. С. 113–117. <https://doi.org/10.25680/5875.2018.40.67.120>
- Якименко В.Н. Калий в агроценозах Западной Сибири. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2003. 231 с.

Якименко В.Н. Изменение содержания калия и магния в профиле почвы длительного полевого опыта // Агрохимия. 2019. № 3. С. 19–29. <https://doi.org/10.1134/S0002188119030153>

Якутина О.П. Изменение фосфатного фонда черноземных почв Западной Сибири под влиянием водной эрозии // Агрохимия. 2006. № 2. С. 16–21.

Якутина О.П., Данилова А.А., Нечаева Т.В. Комплексная оценка состояния залежных почв эродированного склона на юге Западной Сибири // Проблемы агрохимии и экологии. 2022. № 1. С. 21–28. <https://doi.org/10.26178/AE.2022.23.73.005>

Якутина О.П., Нечаева Т.В. Постагрогенная трансформация смыто-намытых почв залежей на юге Западной Сибири // Проблемы агрохимии и экологии. 2019. № 4. С. 61–66. <https://doi.org/10.26178/AE.2019.30.72.002>

IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria, 2022. 236 p.

Kalinina O., Goryachkin S.V., Lyuri D.I., Giani L. Post-agrogenic development of vegetation, soils, and carbon stocks under self-restoration in different climatic zones of European Russia // Catena. 2015. Vol. 129. P. 18–29. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.02.016>

Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Six J., Kuzyakov Y. Carbon cost of collective farming collapse in Russia // Global Change Biology. 2014. Vol. 20. No. 4. P. 938–947. <https://doi.org/10.1111/gcb.12379>

Lavrishchev A., Litvinovich A., Abakumov E., Kimeklis A., Gladkov G., Andronov E., Polyakov V. Soil microbiome of abandoned plaggic podzol of different-aged fallow lands and native podzol in south taiga (Leningrad region) // Agronomy. 2024. Vol. 14. No. 3. P. 429. <https://doi.org/10.3390/agronomy14030429>

Поступила в редакцию 06.09.2024

Принята 10.10.2024

Опубликована 28.10.2024

Сведения об авторах:

Нечаева Таисия Владимировна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории агрохимии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); nechaeva@issa-siberia.ru

Смоленцева Елена Николаевна – научный сотрудник лаборатории географии и генезиса почв ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); esmolenceva@issa-siberia.ru

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Chernozem properties and agricultural status under different land use in the forest-steppe of West Siberia

© 2024 T. V. Nechaeva , E. N. Smolentseva 

Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Lavrentieva, 8/2, Novosibirsk, Russia. E-mail: nechaeva@issa-siberia.ru, esmolenceva@issa-siberia.ru

The aim of the study was to assess changes in soil properties and agrochemical status under different land use (undisturbed, abandoned and agricultural) in the forest-steppe of West Siberia.

Location and time of the study. Soil samples (27 in total) was performed in tge Iskitim district (Novosibirsk region, Russia) in summer 2020 from the soil pits along the entire profiles rom soil genetic horizons at three sites: (US) undisturbed meadow steppe with legumes, herbs and grasses (54,668° NL, 83,125° EL); (PS) agricultural site with ploughed soil, at the time of sampling under barley, oats and vetch mixture(54,668° NL, 83,125° EL); (AS) dry stepped meadow of grasses and herbs that had been abandoned for 27 years prior to sampling (54,666° NL, 83,098° EL). Site US soil was classified as clay illuvial shallow chernozem, site PS soil was classified as dark clay illuvial shallow agrozem, whereas AS soil was identified as clay illuvial postagrogenic shallow agrochernozem (according to the Russian classification). According to the IUSS Working Group WRB classification, US and AS soils were Luvic Greyzemic Chernozem (Siltic), whereas PS had Luvic Greyzemic Chernozem (Siltic, Aric).

Methods. Soils were analyzed for organic and carbonate carbon content, total and nitrite nitrogen, mobile phosphorus content, exchangeable calcium, as well as exchangeable and unexchangeable potassium and magnesium. Soil pH was measured potentiometrically. Soil granulometry was estimated by pipette technique after dispersion in sodium pyrophosphate.

Main results. The presence of sod (horizon AU_{rz}) and powdery grains of biogenic structure of the humus horizon are the main features of the undisturbed chernozem. The grainy soil structure was destroyed by ploughing, and, consequently, could not be found in the agrozem. Restoration of these features is important indicator of the postagrogenic transformation. As compared with the US soil, the AS one showed lower humus and total nitrogen content and stocks, especially in the ploughed horizon, but the difference was not statistically significant. These soil properties were found to be increased after 27 years of postagrogenic spontaneous restoration at the AS site. According to the studied soil properties, the agrochemical status of the studied undisturbed, abandoned and ploughed soil can be described as favorable for plant growth and crop production.

Conclusions. The studied chernozems of the forest-steppe in West Siberia (undisturbed, ploughed and abandoned sites showed differences in their profile and surface horizon structure, carbonate layer location, the contents of mobile phosphorus, exchangeable magnesium. The topsoil (0–5 cm) at the undisturbed and abandoned sites accumulates biogenic elements (organic carbon, total and nitrate nitrogen, easily mobile phosphorus and exchangeable potassium. The absence of the difference in soil properties between the three studied site proves chernozem to be rather resistant to agrogenic influence. The site that had been abandoned for almost three decades, can be once again put into agricultural use. It should be emphasized that in Siberia the crop yields, especially grains, on chernozems are produced mainly by soil resources of mobile microelements without compensation their removal by fertilization. The agrogenic transformation rate and degree of Siberian chernozems are higher as compared with the European part of Russia. Therefore, we recommend monitoring agrochernozems fertility, especially after abandoned land are put once again in the agricultural use.

Keywords: chernozem; Luvic Greyzem Chernozem; virgin soil; arable soil; abandoned arable soil; soil properties; morphology; granulometric composition; carbonates; organic carbon; nitrogen; phosphorus; potassium; calcium; magnesium.

How to cite: Nechaeva T.V., Smolentseva E.N. Chernozem properties and agrochemical status under different land use in the forest-steppe of West Siberia. *The Journal of Soils and Environment*. 2024. 7(3). e281. DOI: [10.31251/pos.v7i3.281](https://doi.org/10.31251/pos.v7i3.281) (in Russian with English abstract).

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are very thankful to the staff of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, namely Galina A. Bugrovskaya, as well as to the Engineers of the Laboratory of Geography and Soil Genesis and the analytical group of the Laboratory of Soil Biogeochemistry for their assistance with laboratory analyses.

FUNDING

The study was carried out according to the state assignment of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS with the financial support by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

REFERENCES

- Averkina S.S., Sineshchekov V.E., Tkachenko G.I. Assessment of phosphate determination methods in chernozem soils of Novosibirsk region. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2011. No. 11–12. P. 5–10. (in Russian).
- Agrochemical properties of soils and efficiency of fertilizers / Gamzikov G.P., Ilyin V.B., Nazaryuk V.M. et al. Novosibirsk: Nauka Publ., Siberian Branch, 1989. 254 p. (in Russian).
- Azarenko Yu.A., Befus M.V. Fertility of arable and fallow meadow-chernozem soils of agricultural landscapes of the southern forest-steppe of the Omsk Irtysh region. *Vestnik of Omsk State Agrarian University*. 2024. Vol. 53. No. 1. P. 5–15. (in Russian).
- Aksenova Yu.V., Gindemit A.M. 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. No. 6. P. 37–44. (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S2500262722060084>
- Baeva Y.I., Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Kuderyarov V.N., Pochikalov A.V. Changes in physical properties and carbon stocks of gray forest soils in the southern part of Moscow region during postagrogenic evolution. *Eurasian Soil Science*. 2017. Vol. 50. No. 3. P. 327–334. <https://doi.org/10.1134/S1064229317030024>
- Bedareva O.M., Troyan T.N., Muracheva L.S., Anciferova O.A., Fedunina O.P., Gorshinina G.V. Development of fallows for meadow and pasture lands. *KSTU News*. 2017. No. 46. P. 109–120.

- Bulysheva A.M., Rusakov A.V., Khokhlova O.S., Bakunovich N.O., Myakshina T.N. Changes in soil properties on fallows in Kursk oblast and trends of postagrogenic soil development in forest-steppe and steppe zones. *Eurasian Soil Science*. 2021. Vol. 54. No. 8. P. 1265–1280. <https://doi.org/10.1134/S1064229321080044>
- Burdukovskii M.L., Perepelkina P.A. Agroecological state of soils and vegetation recovery in fallow ecosystems. *Biodiversity and Environment of Protected Areas*. 2022. Vol. 10. No. 2. (in Russian). P. 28–36. https://doi.org/10.37102/2782-1978_2022_2_3
- Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. Methods of research of physical properties of soils. Moscow: Agropromizdat Publ., 1986. 416 p. (in Russian).
- Galeeva L.P. Properties of soils of solonetz complexes Baraby in the phytocenosis of arable land fallow. *Agrokhimia*. 2020. No. 7. P. 17–25. (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0002188120070066>
- GOST 26204-91. Soils. Determination of mobile compounds of phosphorus and potassium by Chirikov method modified by CINAO. Moscow: Standard Publishing House, 1988. 6 p. (in Russian).
- Denisov Yu.N. Agroecological estimation of fallow lands in Chelyabinsk region. *Agrochemical Herald*. 2016. No. 5. P. 6–9. (in Russian).
- Dzhabrailova B. S. Opportunities to involve unused agricultural land in the turnover in the regions of the Northwestern Federal District. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2021. No. 11 (214). P. 56–66. (in Russian). <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-214-11-56-66>
- Dmitriev A.V., Lednev A.V. Influence of the overgrowing period on the botanical composition and productivity of abandoned lands. *Vestnik of Buryat State Academy of Agriculture named after V. Philippov*. 2016. No. 2 (43). P. 7–12. (in Russian).
- Dobrotvorskaya N.I., Nikkar K.A., Deltsova K.A., Tsaryuk G.V. Changes in soil properties during long-term non-use of arable land. In book: *Problems of soil fertility in modern agriculture: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference devoted to the 70th anniversary of the development of virgin and fallow lands (Krasnoyarsk, 24–28 June, 2024)*. Krasnoyarsk: FIC KSC SB RAS, 2024. P. 386–390. (in Russian). https://doi.org/10.52686/9785605087878_386
- Dobryanskaya S.L. Assessment of fallower properties as a potential for the development of organic farming. In book: *Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023)*. Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 263–265. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>
- Zybalov V.S., Sergeev N.S., Zapevalov M.V. The results of monitoring fallow lands in the forest-steppe zone of the Southern Urals. *Agro-Industrial Complex of Russia*. 2020. Vol. 27. No. 1. P. 30–37. (in Russian).
- Kazeev K.Sh., Trushkov A.V., Odabashyan M.Yu., Kolesnikov S.I. Postagrogenic changes in the enzyme activity and organic carbon content in chernozem during the first three years of fallow regime. *Eurasian Soil Science*. 2020. Vol. 53. No. 7. P. 995–1003. <https://doi.org/10.1134/S1064229320070054>
- Map of soil-ecological zoning of the Russian Federation. Scale 1:2500000 / Edited by G.V. Dobrovolsky, I.S. Urusevskaya. Moscow, 2013. 16 sheets.
- Classification and diagnostics of soils of the USSR / Compiled by: V.V. Egorov, V.M. Friedland, E.N. Ivanova, N.N. Rozova, V.A. Nosin, T.A. Friev. Moscow: Kolos Publ., 1977. 224 p. (in Russian).
- Kolpakova O.P. Introduction of unused agricultural land of the Krasnoyarsk Region. *Socio-economic and humanitarian journal*. 2023. No. 2. P. 55–65. <https://doi.org/10.36718/2500-1825-2023-2-55-66>
- Kondratova A.V., Abramova E.R. Peculiarities of fine root formation at different stages of restoration of post-agro ecosystems in the southern taiga zone. *Advances in current natural sciences*. 2018. No. 9. P. 18–22. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36860> (accessed on 22.07.2024). (in Russian).
- Kravtsov Yu.V., Smolentseva E.N. Features of modern genesis of the Ishim steppe watershed plain soils. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2022. Vol. 111. P. 116–156. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2022-111-116-156>
- Kurachenko N.L., Kolesnik A.A. Humus state of agrochernozems of the Chulym-Yenisei foreststeppe after development of the deposit. In book: *Problems of soil fertility in modern agriculture: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference devoted to the 70th anniversary of the development of virgin and fallow lands (Krasnoyarsk, 24–28 June, 2024)*. Krasnoyarsk: FIC KSC SB RAS, 2024. P. 73–75. (in Russian). https://doi.org/10.52686/9785605087878_73
- Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Lichko V.I., Smolentseva E.N., Smolentsev B.A., Semenova M.P. influence of land use on the physical properties of chernozems in the forest-steppe zone of Western Siberia. *Eurasian Soil Science*. 2021. Vol. 54. No. 9. P. 1337–1349. <https://doi.org/10.1134/S1064229321090040>

- Cutcina N.V., Eremina I.G. Restoring soil fertility in deposits of chestnut. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* (Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex). 2011. No. 4. P. 9–11. (in Russian).
- Litvinovich A.V., Fomina A.S., Pavlova O.Y., Lavrishchev A.V. Study of indicators of soil fertility of cultivated sod-podzolic sandy soil at different stages of formation of natural ecosystems. *Agrokhimia*. 2022. No. 6. P. 14–27. (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0002188122060084>
- Lyuri D.I., Goryachkin S.V., Karavaeva N.A., Denisenko E.A. в квадрат (умер), Nefedova T.G. Dynamics of Agricultural lands of Russia in XX century and Postagrogenic Restoration of vegetation and soils. Moscow: GEOS, 2010. 416 p. (in Russian).
- Malyshev A.V. Peculiar properties of soil reproduction on fallow lands in various physical and geographical conditions of the Belgorod region. *Regional Geosystems*. 2021. Vol. 45. No. 1. P. 40–50. (in Russian). <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2021-45-1-40-50>
- Methodological guidelines for comprehensive monitoring of soil fertility of agricultural lands. Moscow: “Rosinformagroteh”, 2003. 240 p. (in Russian).
- Miller G.F., Solovev S.V., Bezborodova A.N., Filimonova D.A., Chumbaev A.S. Revisiting the changes of some properties of the soil developed under young fallow on the territory of the Novosibirsk region. *Modern problems of science and education*. 2017. No. 6. P. 249. (in Russian).
- Miller G.F., Solovyev S.V., Bezborodova A.N. Soil-ecological assessment of soils of abandoned lands of diggerent age in the southeast of West Siberia. *The Journal of Soils and Environment*. 2023. Vol. 6. No. 4. e230. (in Russian). <http://doi.org/10.31251/pos.v6i4.230>
- Morkovkin G.G., Demina I.V. To assess the influence of siderates and deposits on the change in the fertility of leached chernozems in the conditions of the moderately arid and barbed steppe of the Altai Territory. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2011. No. 11 (85). P. 18–22. (in Russian).
- Nakvasina E.N., Shumilova YU.N. Dynamics of carbon stocks in the formation of forests on post-agrogenic lands. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal). 2021. No. 1 (379). P. 46–59. (in Russian). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-1-46-59>
- Nechaeva T.V. Changes in fertility of soils of the slope agricultural landscape in the forest-steppe of Western Siberia. *Plodorodie*. 2022. No. 6 (129). P. 41–45. (in Russian). <https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.129.11>
- Nechaeva T.V. Abandoned lands in Russia: distribution, agroecological status and perspective use (a review). *The Journal of Soils and Environment*. 2023. Vol. 6. No. 2. e215. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/pos.v6i2.215>
- Nechaeva T.V., Smolentseva E.N. Post-agrogenic restoration of chernozems properties in the forest-steppe zone of West Siberia. In book: *Problems of soil fertility in modern agriculture: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference devoted to the 70th anniversary of the development of virgin and fallow lands* (Krasnoyarsk, 24–28 June, 2024). Krasnoyarsk: FIC KSC SB RAS, 2024. P. 85–88. (in Russian). https://doi.org/10.52686/9785605087878_85
- Ovsepyan L.A., Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Kuzyakov Y.V., Rusakov A.V. Changes in the fractional composition of organic matter in the soils of the forest–steppe zone during their postagrogenic evolution. *Eurasian Soil Science*. 2020. Vol. 53. No. 1. P. 50–61. <https://doi.org/10.1134/S1064229320010123>
- Ovcharenko M.M. Soil fertility management and development of state agrochemical service for 60 years. *Agrochemical Herald*. 2024. No. 3. P. 3–10. (in Russian). <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2024-3-001>
- Field guide for Russian soil. Moscow: Dokuchaev Soil Science Institute, 2008. 182 p. (in Russian).
- Practicum in agrochemistry: textbook. 2nd ed., revised and supplemented. Mineev V.G. (ed.). Moscow: Moscow State University Press, 2001. 689 p. (in Russian).
- Ryzhova I.M., Telesnina V.M., Sitnikova A.A. Dynamics of soil properties and carbon stocks structure in postagrogenic ecosystems of southern taiga during natural reforestation. *Eurasian Soil Science*. 2020. Vol. 53. No. 2. P. 240–252. (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S1064229320020106>
- Seredina V.P. Potassium and soil formation. Tomsk: Tomsk University Publishing House, 2012. 354 p. (in Russian).
- Smolentseva E.N. Chernozems of Western Siberia: regional and zonal-provincial features. In book: *Reflection of bio-, geo-, anthropospheric interactions in soils and soil cover. Proceedings of the VII International Scientific Conference dedicated to the 90th anniversary of the Department of Soil Science and Soil Ecology TSU*. Tomsk, 2020. P. 90–94. (in Russian).
- Sokolov A.S., Sokolova G.F. Comparative analysis of water-physical and agrochemical indices of soil in Volga delta fallows of various ages. *Bulletin of Krasnoyarsk Agrarian University*. 2020. Vol. 161. No. 8. P. 49–56. (in Russian). <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-8-49-56>

- Sokolova N.A., Smolentseva E.N. Agrogenic Transformation of Soil Cover in Pre-Salair Drained Plane (Western Siberia). The Bulletin of Irkutsk State University. Series Biology. Ecology. 2021. Vol. 36. P. 37–56. (in Russian). <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2021.36.37>
- Sorokin O.D. Applied statistics on the computer. 2nd ed. Novosibirsk, 2012. 282 p. (in Russian).
- Sorokina O.A. Estimation of phytomass stock and gray soil fertility of abandoned land. The Journal of Soils and Environment. 2018. Vol. 1. No. 3. P. 170–179. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/pos.v1i3.40>
- Sorokina O.A., Tokavchuk V.V., Rybakova A.N. Postagrogenic transformation of grey forest fallow soils. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University, 2016. 239 p. (in Russian).
- Sorokina O.A., Popkov A.P. Influence of the direction of use of deposits on soil fertility in the siberian region. In book: Problems of soil fertility in modern agriculture: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference devoted to the 70th anniversary of the development of virgin and fallow lands (Krasnoyarsk, 24–28 June, 2024). Krasnoyarsk: FIC KSC SB RAS, 2024. P. 98–102. (in Russian). https://doi.org/10.52686/9785605087878_98
- Titlyanova A.A., Shibareva S.V. Change in the net primary production and carbon stock recovery in fallow soils. Eurasian Soil Science. 2022. Vol. 55. No. 4. P. 501–510. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229322040135>
- Trubnikov Yu.N., Shpedt A.A., Romanov V.N., Sorokina O.A., Grinberg S.N., Yakubailik O.E., Erunova M.G. Assessment and technologies for development of fallow lands in the Krasnoyarsk Territory: scientific and practical recommendations. Krasnoyarsk: Publishing House «Print», 2021. 64 p. (in Russian).
- Trubnikov Y.N., Shpedt A.A. Assessment and development of fallow lands of Yenisei Siberia. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 385–390. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>
- Khitrov N.B., Gerasimova M.I. Diagnostic properties and soil forming materials in the classification system of Russian soils: version of 2021. Eurasian Soil Science. 2022. Vol. 55. No. 1. C. 1–10. <http://doi.org/10.1134/S1064229322010082>
- Khmelev V.A., Tanasienko A.A. Land resources of the Novosibirsk region and ways of their rational use / V.M. Kurachev (ed.); Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Institute of Soil Science and Agrochemistry. Novosibirsk: Publ. House SB RAS, 2009. 349 p. (in Russian).
- Shpedt A.A., Trubnikov Y.N. Humic State and Rational Use of Idle Lands of Yenisey Siberia. Dostizheniya nauki i tekhniki APK (Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex). 2017. Vol. 31. No. 5. P. 5–8. (in Russian).
- Shpedt A.A., Trubnikov Yu.N. Trends of the humus status of set-aside soils in agricultural landscapes of the Krasnoyarsk region. In book: New Methods and Results of Landscape Research in Europe, Central Asia and Siberia. Monograph in five volumes. Vol. II. Edited by V.G. Sychev, L. Muller. Moscow: Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, 2018. P. 113–117. (in Russian). <https://doi.org/10.25680/5875.2018.40.67.120>
- Yakimenko V.N. Potassium in agrocenoses of Western Siberia. Novosibirsk: Published by Siberian Branch of RAS, 2003. 231 p. (in Russian).
- Yakimenko V.N. Change of potassium and magnesium content in soil profile of long-term field experiment. Agrokhimia. 2019. № 3. P. 19–29. (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S0002188119030153>
- Yakutina O.P. Changes in the phosphate pool of chernozemic soils of the western siberia under the effect of water erosion. Agrokhimia. 2019. No. 3. P. 19–29 (in Russian).
- Yakutina O.P., Danilova A.A., Nechaeva T.V. Comprehensive assesment of fallow soils in the south of Western Siberia. Agrochemistry and ecology problems. 2022. No. 1. P. 21–28. (in Russian). <https://doi.org/10.26178/AE.2022.23.73.005>
- Yakutina O.P., Nechaeva T.V. Post-agrogenic transformation of drift-eroded soils on fallows of different age in the south of Western Siberia. Agrochemistry and Ecology Problems. 2019. No. 4. P. 61–66. (in Russian). <https://doi.org/10.26178/AE.2019.30.72.002>
- IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria, 2022. 236 p.
- Kalinina O., Goryachkin S.V., Lyuri D.I., Giani L. Post-agrogenic development of vegetation, soils, and carbon stocks under self-restoration in different climatic zones of European Russia. Catena. 2015. Vol. 129. P. 18–29. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.02.016>

Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Six J., Kuzyakov Y. Carbon cost of collective farming collapse in Russia. *Global Change Biology*. 2014. Vol. 20. No. 4. P. 938–947. <https://doi.org/10.1111/gcb.12379>

Lavrishchev A., Litvinovich A., Abakumov E., Kimeklis A., Gladkov G., Andronov E., Polyakov V. Soil microbiome of abandoned plaggic podzol of different-aged fallow lands and native podzol in south taiga (Leningrad region). *Agronomy*. 2024. Vol. 14. No. 3. P. 429. <https://doi.org/10.3390/agronomy14030429>

Received 06 September 2024

Accepted 10 October 2024

Published 28 October 2024

About the authors:

Taisia V. Nechaeva – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher in the Laboratory of Agrochemistry in the Institute of Soil Science and Agrochemistry, the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); nechaeva@issa-siberia.ru

Elena N. Smolentseva – Researcher in the Laboratory of Geography and Soil Genesis in the Institute of Soil Science and Agrochemistry, the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); esmolenceva@issa-siberia.ru

The authors read and approved the final manuscript



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)