

УДК 631.4

<https://doi.org/10.31251/pos.v7i3.267>

## Оценка трансформации плодородия почвы залежи на катене в Красноярской лесостепи

© 2024 О. А. Сорокина , А. Н. Данилов 

ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», проспект Мира, 90, г. Красноярск, 660049, Россия. E-mail: [geos0412@mail.ru](mailto:geos0412@mail.ru), [daniloff.andrey-n@yandex.ru](mailto:daniloff.andrey-n@yandex.ru)

**Цель исследования.** Оценить трансформацию некоторых абиотических факторов и показателей плодородия, а также развитие эрозионных процессов в постагрогенной тёмно-серой глееватой почве естественной залежи и при её повторном освоении в пашню на сопряженных частях склона катены в условиях Красноярской лесостепи.

**Место и время проведения.** Исследования проведены в Красноярской лесостепи в 2017–2019 гг. на постагрогенной тёмно-серой глееватой почве неосвоенных и введённых в пашню залежей. Залежь находилась в корневищно-дерновинной стадии сукцессии, её возраст составлял 18 лет. Экспериментальные распаханые участки этой залежи введены в пашню в 2016 г., то есть являлись вновь освоенными.

**Методы.** Использовали катенарный метод почвенных исследований. На склоне восточной экспозиции крутизной 1,8° заложили катену, по геоморфологическому профилю которой выделили три части склона, сопряженные между собой: вершина, выположенная середина и подножие. Массив залежи разбили на два граничащих между собой участка: необработанная и повторно введенная в сельскохозяйственное освоение залежь. На каждой позиции катены провели морфологическое описание почвенных профилей, дали характеристику основных свойств генетических горизонтов, определили плотность сложения, структурный состав, рассчитав содержание агрономически ценных фракций (АЦФ). В динамике (с мая по август) провели измерение температуры и влажности почвы в слоях 0–10 и 10–20 см, а также определили содержание подвижных минеральных форм азота: обменного аммония (N-NH<sub>4</sub>) и нитратного азота (N-NO<sub>3</sub>). С помощью «почвенных ловушек» установили возможность проявления эрозионного стока, процессов аккумуляции мелкозёма и биоты по склону. Повторность отбора образцов и всех определений трёхкратная.

**Основные результаты.** По морфологическому описанию почв в разрезах на трёх частях склона катены необработанной залежи установили, что почвенные профили полноразвитые. Почва – тёмно-серая постагрогенная слабоподзоленная глееватая тяжёлоуглинистая на коричнево-бурой глине. Отчётливо выделяется бывший пахотный слой, свидетельствующий о постагрогенной стадии развития почв («плужная подошва»). На распаханном участке по сравнению с необработанной залежью установлена более сильная прогреваемость почвы за счёт теплоемкой оголенной поверхности массива. Почва на вершине склона, относительно других точек, практически всегда характеризовалась более высокой температурой. Содержание влаги в верхних слоях почвы на обработанной залежи за три года исследований существенно выше, чем на необработанной. При высоком содержании гумуса и большой доли АЦФ в структурном составе почвы обоих объектов исследования очень мала доля пылеватой фракции. За счёт механической обработки при освоении залежи практически не снижается доля глыбистой фракции. Структурное состояние почвы всех объектов исследования по содержанию АЦФ характеризуется как отличное или хорошее. Содержание этих фракций несколько возрастает в почве всех частей склона на обработанной залежи. Более высокой плотностью сложения отличается почва в нижней аккумулятивной точке катены за счёт утяжеления гранулометрического состава. После распахивания залежи плотность сложения почвы несколько снижается в середине и у подножия склона. Коэффициенты варьирования плотности сложения почвы очень низкие, что говорит о слабой пространственной пестроты этого показателя на всем массиве.

Содержание аммонийного азота в почве обоих участков залежей в течение всех периодов вегетации низкое или среднее, статистически не различающееся. Обеспеченность почвы необработанной залежи нитратным азотом очень низкая или низкая. После распахивания залежи и её сельскохозяйственного использования степень обеспеченности нитратным азотом повышается на один-два класса. При этом существенно увеличивается суммарное содержание подвижных минеральных форм азота, оценивающееся как повышенное, что статистически подтверждается.

Коэффициенты сноса и аккумуляции почвенной массы свидетельствуют о значительно меньшей подверженности её переносу на необработанной залежи. Аккумулирующая функция свойственна середине склона на обработанной залежи по сравнению с вершиной и подножием. Доля биоты в эрозионном стоке достаточно высокая, особенно в середине склона необработанной залежи. Установлена слабая пространственная неоднородность эрозионной почвенной массы во всех частях склона в катене на залежи с существенным увеличением «пестрополя» при её распахивании, особенно в середине и подножие склона.

**Заключение.** Различия абиотических факторов и изменение комплекса показателей плодородия тёмно-серой глееватой почвы на необработанной и повторно введённой в пашню залежи определяются положением частей склона в катене. Максимальная интенсивность протекания почвенных режимов и процессов, трансформации почвенных свойств характерны для подножия склона необработанной залежи и середины склона освоенной залежи. По комплексу показателей плодородия тёмно-серой постагрогенной слабоподзоленной глееватой почвы Красноярской лесостепи установлена возможность введения в пашню залежи, находящейся в корневищно-дерновинной стадии сукцессии.

**Ключевые слова:** залежь; склон; обработка; свойства почв; снос; аккумуляция.

**Цитирование:** Сорокина О.А., Данилов А.Н. Оценка трансформации плодородия почвы залежи на катене в Красноярской лесостепи // Почвы и окружающая среда. 2024. Том 7. № 3. e267. DOI: [10.31251/pos.v7i3.267](https://doi.org/10.31251/pos.v7i3.267)

## ВВЕДЕНИЕ

Проблема залежей в Российской Федерации по-прежнему остается очень актуальной, так как в настоящее время заброшенная пашня претерпевает существенные изменения не только в профиле почв, но и в специфике формировании постагрогенных фитоценозов (Зыбалов, Кокарева, 2005; Люри и др., 2008; Захаренко, 2008; Владыченский и др., 2010). Изучение и оценку состояния залежей необходимо проводить для разработки агротехники, рационального использования при их возвращении в пашню или при использовании под кормовые угодья, а также регулирования и восстановления экологического равновесия вновь сформированных лесных фитоценозов. Постагрогенная трансформация почв на залежах дает адекватную возможность изучить и проанализировать направление и скорость почвообразовательных процессов, а также восстановительную способность почв в современных условиях (Кузнецова и др., 2009; Люри, 2010; Кутькина, Еремина, 2011; Гиниятуллин и др., 2012; Ерёмин, 2014; Шпедт, Трубников, 2017, 2018). Эти объекты являются прекрасными антропогенно-природными моделями, позволяющими выявить взаимовлияние растительности и всего комплекса свойств почв на разных стадиях сукцессии формирующихся постагрогенных экосистем, установить достижение равновесного состояния и дать оценку темпов восстановления почвенного плодородия. Важное теоретическое и прикладное значение имеет подобная оценка трансформации почв при различном направлении использования залежей (Сорокина и др., 2016; Попков, Сорокина 2023а, 2023б). В настоящее время мониторинг залежных земель и разработка рекомендаций по их рациональному использованию, особенно повторному освоению в пашню, является государственной задачей (Государственный доклад ..., 2022). В Сибирском федеральном округе имеется более 4 млн га неиспользуемой пашни, из которых более 2 млн га пригодны для введения в сельскохозяйственный оборот, так как являются резервом для увеличения валового сбора зерна. По данным Минсельхоза РФ (Доклад ..., 2022) Россия планирует до 2025 года ввести в оборот 4 млн га заброшенной пашни, что позволит обеспечить ежегодный прирост объемов производства зерна на 1 млн тонн и масличных культур – на 0,2 млн тонн.

Необходимость и оценка возможности возврата заброшенных земель в сельскохозяйственный оборот является дискуссионной комплексной проблемой на стыке многих политических, социальных, экономических и экологических вопросов. В обзорной публикации Т.В. Нечаевой (2023) детально охарактеризованы причины и последствия вывода земель из сельскохозяйственного оборота в Российской Федерации. Автором приведены возможные пути и направления использования постагрогенных экосистем в зависимости от стадии сукцессии растительности, плодородия почв, состояния землеустройства, экономики и т.д.

Ряд специалистов и ученых констатируют, что в большинстве случаев необрабатываемые участки – это неудобия и поля, которые давно заросли лесами различного видового состава. Активное зарастание заброшенных пашен лесной растительностью отмечается даже в степных регионах Средней Сибири – республиках Хакасия и Тыва. Отрицательное влияние оказывают и природообусловленные факторы расположения заброшенных пашен, такие как мелкоконтурность, удаленность, эрозионная опасность, топографическая чересполосица, малоприспособный низкий потенциал почв, их деградация. Для решения проблемы невостребованных земель сельскохозяйственного назначения необходимо проведение целого комплекса дорогостоящих землеустроительных и агротехнологических мероприятий. К ним относятся культуртехнические работы, такие как расчистка земель от сорной, древесно-кустарниковой растительности, пней. В ряде случаев необходима организация гидромелиоративных мероприятий, таких как орошение, осушение, обводнение, а также проведение агролесомелиоративных и фитомелиоративных мероприятий

(создание полезащитных лесных полос, облесение оврагов, крутых склонов и песков, залужение многолетними травами). Поэтому многие считают, что эти земли необходимо оставить как стратегический резерв, который при необходимости всегда можно освоить и ввести в оборот.

**Состояние залежей в Красноярском крае.** В работе В.А. Андиной с соавторами (2022) обстоятельно проанализирована динамика состояния и использования сельскохозяйственной категории земель на территории Красноярского края. О.П. Колпаковой (2023) приведена подробная характеристика причин вывода пашни в залежное состояние, не востребованности земель сельскохозяйственного назначения в настоящее время, проблем учета и оценки возможности повторного возврата залежных земель в Красноярском крае.

Доля неиспользуемой пашни в Красноярском крае составляет около 40%. В годы перестройки происходило резкое снижение посевов и увеличение залежи. С 2000 по 2012 годы соотношение площадей смещалось в сторону образования залежей, особенно в зоне южной тайги (травяных лесов) и лесостепи. С 2013 года отмечается незначительное снижение площадей залежей за счет повторного вовлечения их в пашню и последующего окультуривания. Переведены в залежь достаточно большие площади заброшенных пашен, которые расположены на пойменных и надпойменных террасах крупных и малых рек, где формируются различные типы почв. Наряду с выпаханymi малопродуктивными сельскохозяйственными угодьями, в залежь забрасывали и значительные площади достаточно плодородных земель черноземного типа. В то же время, это высокопродуктивные постагрогенные экосистемы, которые могут быть вновь освоены или оставлены в настоящем виде как стабилизирующие компоненты агроландшафта при зарастании их лесом, а также как кормовые угодья, для чего требуется оценка их потенциальной продуктивной возможности.

По данным ФГБУ ГЦАС «Красноярский» 648,8 тыс. га бывших пашен заустарены, залесены, заболочены, подтоплены, подвержены водной и ветровой эрозии (Годовой доклад ..., 2020; Государственный доклад ..., 2022). Остальная часть (около 400 тыс. га) расположена в районах с низким уровнем сельскохозяйственного производства. Наибольшую площадь составляют залежные земли, неиспользуемые более 10–20 лет (табл. 1). Значительные площади покрыты 10–20-летним древостоем и для их восстановления требуется уже коренная мелиорация. Больше всего таких земель в Западной и Восточной группе районов, где они составляют около 30% от общей площади пашни.

Таблица 1

Качественное состояние землепользования по природным округам Красноярского края, тыс. га (Годовой доклад ..., 2020)

Показатели	По краю	Сельскохозяйственные зоны				
		Восточная	Центральная	Западная	Южная	Северная
Общая площадь пашни	2932,02	912,29	451,94	917,34	541,51	111,95
Общая площадь пашни	3106,96	958,91	473,11	937,97	536,12	110,55
Неиспользуемая пашня, в том числе:	1029,15	315,36	192,85	243,79	184,66	92,20
до 2 лет	71,39	19,81	18,14	19,10	14,34	0,00
2–10 лет	348,56	109,92	61,76	50,11	40,66	77,12
более 10 лет	609,19	155,62	112,90	163,59	129,66	15,36
Состояние неиспользуемой пашни						
Заустаренность и залесенность	613,25	206,71	114,21	174,52	47,02	71,09
Заболачивание и подтопление	15,13	1,03	2,29	2,97	3,84	0,00
Эрозия	46,94				46,94	

Установлено отсутствие или слабое развитие эрозионных процессов во всех сельскохозяйственных зонах, кроме Южно-Минусинского природного округа, в большей степени подверженного процессам дефляции. Общая площадь этих земель здесь не столь значительна. Повсеместное внедрение приемов минимальной обработки почв предотвращает проявление эрозии. В то же время, основные площади современной пашни и залежей лесостепной зоны Красноярского края расположены в условиях склонового земледелия, что диктует необходимость изучать и

оценивать эрозионную опасность, особенно при повторном освоении залежей (Танасиенко, 2003; Савич и др., 2016; Данилов, 2017; 2019; Якутина и др., 2022).

Земли сельскохозяйственного назначения составляют около 17%; преобладает пашня, которая занимает 60,2% от сельскохозяйственных угодий. Анализ данных современного состояния и использования земель Красноярского края показал, что по состоянию на 1 января 2022 года не востребуемые земельные доли в районах края занимали площадь 324,3 тыс. га или 19,8% от общей площади земельных долей собственников. Большая часть не востребуемых земельных долей сконцентрирована в лесостепной зоне Красноярского края, в таких районах как Идринский, Каратузский, Краснотуранский, Курагинский, Назаровский, Новоселовский, Ужурский, Шарыповский и Шушенский.

По данным Д.С. Булгакова с соавторами (2008) в Красноярском крае планировалось ввести в пашню 454 тыс. га залежных земель. Увеличение площади пашни должно было произойти, главным образом, в лесостепной зоне (344 тыс. га), в частности, в Красноярском (115 тыс. га), Чулымо-Енисейском (98 тыс. га) и Канском (65 тыс. га) природных округах, где сосредоточены наибольшие площади плодородных залежных земель. В степной зоне планировалось ввести в оборот 67 тыс. га. В таежной и подтаежной зонах количество планируемых для повторного введения в оборот залежных земель существенно меньше, всего 40 тыс. га. Таким образом, за счет залежных земель площадь пашни в Красноярском края должна была возрасти до 2194 тыс. га. Эти планы не были выполнены. Материальные затраты на освоение и ввод в пашню неиспользуемых сельскохозяйственных земель велики. Проведенные нами расчеты свидетельствуют, что рентабельность возврата залежи на серой почве, заросшей лесом, очень низкая и составляет 44,4%. Это связано с большими затратами и высокой себестоимостью культуртехнических работ по раскорчевке, удалению лесной растительности и плантажной вспашки.

**Цель исследования** – оценить трансформацию некоторых абиотических факторов и показателей плодородия, а также развитие эрозионных процессов в постагрогенной тёмно-серой глееватой почве естественной залежи и при её повторном освоении в пашню на сопряженных частях склона катены в условиях Красноярской лесостепи.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования послужили постагрогенные темно-серые глееватые почвы в катене на необработанном и обработанном массиве залежи территории бывшего ООО «Рассвет» Манского района, который относится по природному районированию к Красноярскому лесостепному округу. Пахотные угодья в хозяйстве интенсивно забрасывались в годы реорганизации хозяйственной собственности на землю, проходившей в начале 21 века. Разнотравно-злаковая залежь, объект наших исследований, имела возраст 18 лет, находилась в корневищно-дерновинной стадии сукцессии, отличалась хорошо развитым травянистым покровом.

В работе использован катенарный метод почвенных исследований. По геоморфологическому профилю массива залежи на склоне восточной экспозиции крутизной 1,8° заложили почвенную катену (рис. 1). Крутизну склона определили нивелиром Геобок n7-26. В катене выделили три точки, расположенные на разных частях склона, геоморфологически сопряженные между собой: вершина, выположенная середина и подножие склона. В каждой части катены необработанной залежи заложили почвенные разрезы с морфологическим описанием профилей и отбором образцов почвы из генетических горизонтов.



**Рисунок 1.** Общий вид массива залежи – объекта исследований на склоне. Фото О.А. Сорокиной.

Массив залежи разбили на два участка: (1) необработанная (чистая) залежь площадью 2,8 га; (2) обработанная залежь, т.е. повторно введенный в сельскохозяйственное освоение участок площадью 2,8 га (рис. 2). На введенном в пашню участке залежи в течение трех лет (с 2017 по 2019 гг.) проводили обработку почвы с последующей посадкой картофеля сорта Гала гребневым способом. На всех частях склона катены было выделено по три делянки, площадью по 100 м<sup>2</sup>.



**Рисунок 2.** Участки обработанной залежи после повторного освоения и подготовки под посадку картофеля. Фото А.Н. Данилова.

По морфологическому описанию почв в разрезах на трех частях склона катены необработанной залежи установили, что почвенные профили полноразвитые. Почва – тёмно-серая постагrogenная слабоподзоленая глееватая тяжёлоуглинистая на коричнево-бурой глине (Классификация ..., 1977). Отчетливо выделяется бывший пахотный слой, свидетельствующий о постагrogenной стадии развития почв («плужная подошва»), что хорошо видно из рисунка 3. Строение профилей почв во всех точках катены идентичное: 0 – АUра – АUEI – BEI – BTg – BCg – Cg. В верхней части почвенных профилей установлены слабые признаки оподзоливания, структура комковато-ореховатая. Почвы по всей глубине не вскипают. Наличие признаков мерзлотного оглеения, свойственного для типа серых почв лесостепной зоны Красноярского края, более отчетливо проявляется в зоне иллювирувания и материнской породе. Это характерно для всех профилей почв, особенно в подножие склона.



**Рисунок 3.** «Плужная подошва» в тёмно-серой глееватой почве залежи. Фото О.А. Сорокиной.

Изучили некоторые эколого-абиотические факторы формирования почв необработанной и обработанной залежи. На всех частях склона катены (вершина, середина и подножие склона) измеряли температуру почвы в слоях 0–10 и 10–20 см почвенным термометром (Bayer TP 100) в сроки, приуроченные к отбору почвенных образцов (май, июнь, июль, август). В эти же сроки проводили определение полевой влажности почвы согласно ГОСТ 28268-89, а также подвижных минеральных форм азота: обменного аммония (N-NH<sub>4</sub>) с реактивом Несслера (ГОСТ 26489-85), нитратного азота (N-NO<sub>3</sub>) дисульфифеноловым методом в модификации Шаркова (ГОСТ 26951-86). Повторность отбора образцов почвы из слоев 0–10 и 10–20 см трёхкратная.

Плотность сложения определили методом взятия почвенных проб в металлических цилиндрах (буриках Качинского) с ненарушенным сложением, структурный состав – методом сухого просеивания по Саввинову, а также рассчитали содержание агрономически ценных фракций (АЦФ) (Вадюнина, Корчагина, 1986).

Установили возможность проявления эрозионного стока, процессов аккумуляции мелкозема и биоты на поверхности почвы по склону на необработанной залежи и при её повторном освоении. Для оценки этих процессов в трёхкратной повторности на каждой части склона устанавливали «почвенные ловушки» в виде вкопанных сосудов на уровне поверхности почвы. Выявили снос почвенной массы на разных частях склона с апреля по июль и с июля по октябрь. Рассчитали коэффициенты сноса и аккумуляции почвенной массы по её отношению в разных частях склона.

Явление пространственной неоднородности почв в настоящее время можно считать хорошо изученным, существует достаточно много литературы по этому вопросу, представлены методы оценки варибельности почвенных признаков (Михеева, 2001). Все полученные нами результаты статистически обработаны с использованием программы Microsoft Excel. Рассчитали коэффициент пространственного варьирования свойств почв (Cv). Достоверность различий изученных свойств почв между объектами исследования рассчитывали по критерию Стьюдента.

В данной работе приведен обобщенный материал по трём годам исследования (2017–2019 гг.), указанным срокам и повторностям определений. Поэтому кратность повторений в этом случае составила 36. Если определение показателей проводилось в течение года один раз в трёхкратной повторности, тогда число случаев составляло 9, что указано в таблицах.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Глобальная роль в формировании экологической устойчивости естественных и антропогенных биоценозов, их функционировании и направлении использования принадлежит гумусу, который выполняет не только ресурсную функцию как основа плодородия, но и экологическую. Степень гумусированности верхней части профиля почвы на залежи (разрез №1) очень высокая с резким падением в горизонтах В и С (табл. 2). Такой регрессионно-аккумулятивный гумусовый профиль свойственен типу серых почв Красноярского края и указывает на биогенную аккумуляцию органического вещества в самом верхнем слое почв.

**Таблица 2**

Характеристика почвы в нижней точке катены на залежи (разрез № 1)

Горизонт	Глубина, см	Гумус, %	pH		ммоль/100 г почвы		V, %	Сумма фракций < 0,01 мм, %
			H <sub>2</sub> O	KCl	Hг	S		
AUpa	0–20	9,1	6,1	4,9	4,3	35,4	89,2	57,8
AUEI	20–27	6,5	6,0	4,7	4,3	30,6	87,7	54,4
BEI	27–47	3,8	5,8	4,3	4,0	26,2	86,7	57,3
BTg	47–67	2,4	5,9	4,3	2,8	26,2	90,3	59,5
BCg	67–75	2,3	6,2	4,5	2,1	27,0	92,8	60,1
Cg	75 и ниже	2,1	6,5	4,7	1,6	28,8	94,7	62,4

Примечание.

Здесь и далее в табл. 3–4 представлены актуальная (pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub>), обменная (pH<sub>KCl</sub>) и гидролитическая (Hг) кислотность; S – сумма обменных оснований; V – степень насыщенности основаниями.

Реакция среды по величинам актуальной и обменной кислотности по всему почвенному профилю среднекислая. Характерна невысокая гидролитическая кислотность, не превышающая 5

ммоль/100 г почвы. Сумма обменных оснований максимальная в гумусово-аккумулятивном горизонте. Отмечается достаточно высокая степень насыщенности основаниями.

В серединной части склона катены (разрез №2) содержание гумуса очень высокое и составляет 10,8% в горизонте АУра (табл. 3); характерно резкое падение степени гумусированности с глубиной. Значения рН, особенно по величинам обменной кислотности, во всех горизонтах профиля почвы свидетельствуют о среднекислой реакции. Гидролитическая кислотность максимальная в горизонтах АУра и АЕI, постепенно снижаясь с глубиной. Самая высокая сумма обменных оснований зафиксирована в гумусово-аккумулятивном горизонте, закономерно снижаясь с глубиной. Степень насыщенности почвы основаниями достаточно высокая за счет низкой гидролитической кислотности и достаточно высокой суммы обменных оснований.

Таблица 3

Характеристика почвы в средней точке катены на залежи (разрез №2)

Горизонт	Глубина, см	Гумус, %	рН		ммоль/100 г		V, %	Сумма фракций < 0,01 мм, %
			H <sub>2</sub> O	KCl	Hг	S		
AУра	0–19	10,8	5,9	4,9	4,8	36,6	88,4	54,4
AUEI	19–41	5,2	5,9	4,9	4,6	32,8	87,7	52,2
BEI	41–58	2,8	6,2	4,7	2,5	26,4	91,3	53,8
BTg	58–71	2,5	6,3	4,6	2,1	27,8	93,0	56,4
BCg	71–82	2,2	6,3	4,6	2,0	26,8	93,1	58,8
Cg	82 и ниже	1,8	6,4	4,7	1,75	28,2	94,3	60,7

Содержание гумуса в верхней точке катены разреза №3 несколько ниже, чем в других частях склона, резко снижаясь вниз по профилю (табл. 4). Здесь самый короткий гумусовый профиль. Почва этой части склона характеризуется более кислой реакцией среды по величине актуальной и обменной кислотности. Гидролитическая кислотность в верхнем слое почвы максимальная, резко уменьшаясь с глубиной. Сумма обменных оснований достаточно высокая и составляет 30,0 ммоль/100 г. Степень насыщенности основаниями существенно меньше, чем в других частях склона за счет более высокой гидролитической кислотности и меньшей суммы обменных оснований. Она резко снижается вниз по профилю. Это свидетельствует о менее выраженных процессах биогенной аккумуляции в почве на вершине склона и о возможности более интенсивного сноса мелкозема в этой части склона.

Таблица 4

Характеристика почвы в верхней точке катены на залежи (разрез №3)

Горизонт	Глубина, см	Гумус, %	рН		ммоль/100 г		V, %	Сумма фракций < 0,01 мм, %
			H <sub>2</sub> O	KCl	Hг	S		
AУра	0–20	8,3	5,6	4,5	6,4	30,0	82,4	47,9
AUEI	20–32	3,1	5,7	4,3	4,8	17,8	78,8	50,1
BEI	32–42	1,8	5,7	4,4	3,9	14,8	79,1	51,4
BTg	42–66	1,7	5,9	4,2	2,9	19,4	87,0	55,2
BCg	66–78	1,6	6,1	4,3	2,5	25,0	90,9	55,7
Cg	78 и ниже	1,6	6,2	4,5	2,3	26,0	91,8	60,4

Таким образом, в верхней части склона катены более отчетливо проявляются трансэлювиальные процессы. Выположенная середина склона на залежи, а также подножие отличаются преобладанием аккумулятивных процессов.

По результатам исследований температура почвы на обработанной и необработанной (чистой) залежи оптимальная для развития корневой системы растений и микроорганизмов. На распаханном участке по сравнению с необработанной залежью установлена более сильная прогреваемость почвы за счёт теплоемкой оголенной поверхности массива. Почва на вершине склона, относительно других точек, практически всегда характеризуется более высокой температурой, что вполне логично. Указанные различия по величине критерия Стьюдента статистически достоверны. Влагообеспеченность почвы обработанной и необработанной залежи оценивается как оптимальная. Содержание влаги в слое почвы 0–20 см на обработанной залежи за три года исследования выше на

6%, чем на необработанной залежи, что подтверждается статистически по коэффициенту достоверности различий (табл. 5). Это объясняется более интенсивным десуктивным расходом влаги хорошо развитым травостоем растений на чистой залежи по сравнению с распаханым массивом.

**Таблица 5**

Достоверность различий ( $t_{\text{факт}}$  при  $t_{\text{теор}}=2,1$ ,  $n=36$ ) свойств почвы залежей в слое 0–20 см

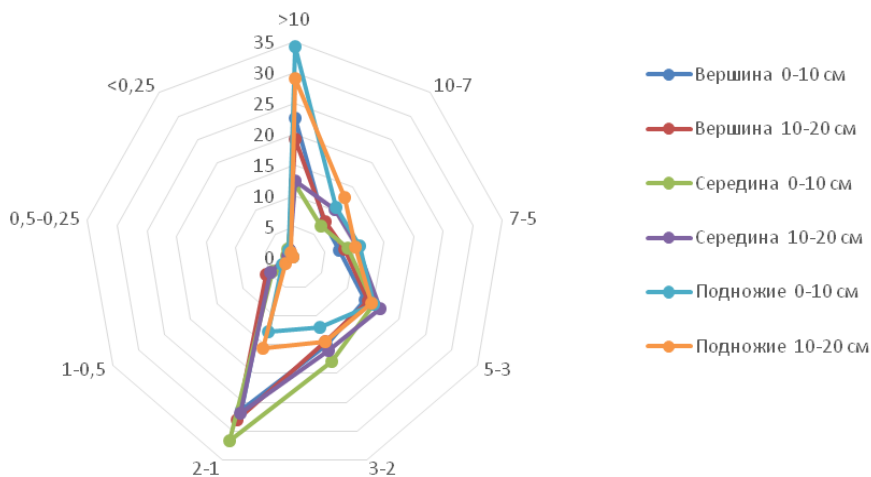
Объект	Температура		Влажность		АЦФ*	
	°C	$t_{\text{факт}}$	%	$t_{\text{факт}}$	%	$t_{\text{факт}}$
Необработанная залежь	16,2	4,6	32,3	2,2	76,8	2,8
Обработанная залежь (пашня)	17,9		38,6		81,3	

Примечание.

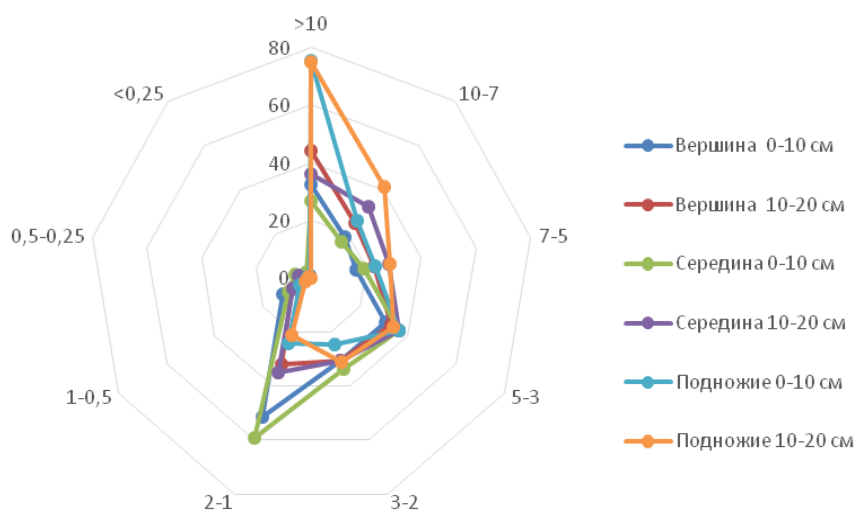
\*АЦФ – содержание агрономически ценных фракций в почве.

Структура почвы является одним из основных показателей ее плодородия. Особое значение в структурном составе почв имеет доля агрономически ценных фракций. При повышенном содержании гумуса и тяжёлосуглинистом гранулометрическом составе в почве обоих объектов исследования очень мала доля пылеватой фракции (см. табл. 5).

Максимальную долю в структурном составе почвы необработанной и распаханной залежи занимает сумма фракций размером от 5 до 3 мм (рис. 4 и 5). За счёт механической обработки при освоении залежи несколько увеличивается содержание глыбистой фракции, особенно в почве подножия склона.



**Рисунок 4.** Содержание фракций (%) структурного состава в почве на трёх точках склона обработанной залежи (пашни) ( $n=3$ ).



**Рисунок 5.** Содержание фракций (%) структурного состава в почве на трёх точках склона необработанной залежи ( $n=3$ ).



Содержание агрономически ценных фракций несколько увеличивается в почве всех точек склона обработанной залежи (табл. 6). Структурное состояние тёмно-серой глееватой почвы необработанной залежи по содержанию агрономически ценных фракций характеризуется как отличное на вершине и середине склона (75,6–86,2%) и как хорошее (64,1–69,7%) у подножия склона. Величина пространственного варьирования АЦФ незначительная во всех точках геоморфологического профиля (1,3–7,2%). На обработанной залежи доля агрономически ценных фракций возрастает на 5,9% в почве подножия склона и на 3,8% в середине склона. Самое большое количество АЦФ содержится в почве средней части склона, меньше на вершине и минимальное количество в подножии склона на пашне. Максимальным содержанием АЦФ отличается слой почвы 10–20 см по всему склону, кроме обработанной залежи.

**Таблица 6**

Структурный состав почв на разных частях склона залежей (n=9) и пространственное варьирование (Cv) содержания агрономически ценных фракций (АЦФ)

Часть склона	Слой, см	Частицы размером, мм		АЦФ, %	Cv, %
		>10	<0,25		
Необработанная залежь					
Подножие	0–10	34,3	1,6	64,1	7,2
	10–20	28,1	1,2	69,7	4,7
Середина	0–10	12,0	1,8	86,2	2,3
	10–20	12,5	1,4	86,0	1,3
Вершина	0–10	22,8	1,8	75,6	4,9
	10–20	19,3	1,7	79,0	5,4
Обработанная залежь (пашня)					
Подножие	0–10	37,7	0,5	70,2	7,4
	10–20	37,5	0,1	80,0	9,2
Середина	0–10	13,4	1,3	90,3	5,1
	10–20	18,0	0,4	87,5	5,2
Вершина	0–10	16,2	1,0	82,8	3,8
	10–20	22,0	0,7	77,3	5,2

В целом по плотности сложения почва всех объектов оценивается как вспушенная, оптимальная для развития растений (табл. 7). Более высокой плотностью сложения отличается почва в нижней аккумулятивной части склона катены за счет утяжеления гранулометрического состава. После распашки залежи плотность сложения почвы снижается в середине и у подножия склона. Коэффициенты варьирования плотности сложения почвы на необработанной залежи и освоенной пашне очень низкие, что говорит о слабой пространственной пестроте этого показателя на всем массиве опытного участка.

**Таблица 7**

Плотность сложения почвы (n=9) и её пространственное варьирование (Cv)

Часть склона	Слой, см	Необработанная залежь		Обработанная залежь (пашня)	
		г/см <sup>3</sup>	Cv, %	г/см <sup>3</sup>	Cv, %
Подножие	0–10	0,95	4,0	0,67	6,0
	10–20	0,97	3,9	0,82	1,7
Середина	0–10	0,68	5,5	0,63	2,6
	10–20	0,73	4,8	0,65	2,6
Вершина	0–10	0,69	6,2	0,60	1,5
	10–20	0,73	6,2	0,65	2,6

Содержание аммонийного азота в почве залежей за три года исследований в течение всего периода вегетации низкое или среднее. Различия по содержанию аммонийного азота при сравнении почвы необработанной и обработанной залежи статистически не достоверные (табл. 8). Обеспеченность почвы необработанной залежи нитратным азотом очень низкая или низкая. После распашки залежи и её сельскохозяйственного использования существенно активизируются процессы нитрификации за счет оптимизации гидротермических условий и агрофизических свойств почвы, что

способствует повышению степени обеспеченности нитратным азотом до 3 класса, то есть средней. При этом существенно увеличивается суммарное содержание подвижных минеральных форм азота, оцениваемое как повышенное, что доказывается высокой величиной коэффициента достоверности различий.

**Таблица 8**

Достоверность различий ( $t_{\text{факт}}$  при  $t_{\text{теор}}=2,1$ ,  $n=36$ ) содержания минеральных форм азота в почве

Объект	Показатели в слое 0–20 см почвы			
	N-NH <sub>4</sub> , мг/кг	$t_{\text{факт}}$	N-NO <sub>3</sub> , мг/кг	$t_{\text{факт}}$
Необработанная залежь	6,4	0,3	3,0	6,0
Обработанная залежь (пашня)	6,2		8,6	

В таблице 9 приведены результаты определения аккумуляции почвенной массы с поверхностным стоком в разных частях склона катены. Зафиксирована аккумуляционная функция выположенной середины склона введённой в пашню залежи и подножия склона чистой залежи. В нижней части склона необработанной залежи аккумуляция почвенной массы проявляется интенсивнее. За счёт задернованности поверхности хорошо развитой травянистой растительности на вершине и середине склона залежи, мелкозем почвы здесь менее подвержена сносу. Более выраженная крутизна склона при переходе от средней к нижней части склона катены способствует увеличению сноса почвенной массы и дальнейшей ее аккумуляции.

**Таблица 9**

Аккумуляция почвенной массы с поверхностным стоком и её пространственное варьирование ( $C_v$ )

Часть склона	Необработанная залежь			Обработанная залежь (пашня)		
	масса почвы, т/га (n=9)		$C_v$ , %	масса почвы, т/га (n=9)		$C_v$ , %
	с 16.04 по 16.07.2018	с 17.07 по 16.10.2018		с 16.04 по 16.07.2018	с 17.07 по 16.10.2018	
Вершина	15,5	49,0	11,6	32,9	154,2	26,5
Середина	14,5	19,9	8,6	153,2	110,2	21,4
Подножие	126,0	69,5	6,1	18,1	120,0	13,4

По величине коэффициента варьирования установлена слабая пространственная неоднородность эрозионной почвенной массы всех частей склона катены на залежи с существенным увеличением «пестрополя» при её распашке, особенно в середине и подножие склона.

Коэффициенты сноса и аккумуляции почвенной массы (табл. 10) свидетельствуют о значительно меньшей подверженности ее переносу на необработанной залежи, где сдерживанию эрозии способствует наличие большого количества органических остатков травянистой растительности и дернины, а также богатство почвенной биотой и высокое содержание гумуса.

**Таблица 10**

Коэффициенты сноса (потерь) и аккумуляции почвенной массы (n=9)

Сопоставляемые части склона	Необработанная залежь		Обработанная залежь (пашня)	
	снос	аккумуляция	снос	аккумуляция
Подножие – вершина	1,68	0,60	0,42	4,80
Середина – вершина	0,39	5,60	1,76	0,65
Подножие – середина	4,72	0,57	0,20	6,05

Аккумуляционная функция свойственна середине склона на обработанной залежи по сравнению с вершиной и подножием (см. табл. 7). Достаточно существенное повышение коэффициента сноса почвенной массы на пашне требует особого внимания, свидетельствуя о том, что при повторном освоении массива залежи требуется почвозащитная технология обработки почвы и посев (посадка) противоэрозионных сельскохозяйственных культур.

Доля биоты в эрозионном стоке достаточно высокая, особенно в середине склона (табл. 11). Больше всего это характерно для необработанной залежи, где в данный период идет отмирание

растений и поступление органической массы в почву, существенно улучшая эдафические условия жизнедеятельности почвенной биоты. Зафиксирована довольно значительная доля биоты в средней точке катены на залежи, где в этот период почва лучше прогрелась и была суше, чем на вершине склона. Это могло способствовать миграции организмов в данную точку катены.

Таблица 11

Соотношение почвенной массы и биоты (%) в эрозионном стоке почвы с 16.07 по 16.10.2018 г. (n=9)

Часть склона	Необработанная залежь		Обработанная залежь (пашня)	
	мелкозём	биота	мелкозём	биота
Подножие	90,5	9,5	94,8	5,2
Середина	78,0	22,0	91,4	8,6
Вершина	91,3	8,7	93,2	6,8

За счёт тяжёлого гранулометрического состава, высокой степени гумусированности, большой доли обменного кальция в поглощающем комплексе тёмно-серых почв, в условиях соблюдения агротехнологий обработки поперек склона, процессы эрозии ослаблены. Хорошо коагулирующие органоминеральные коллоиды, склеивающие твёрдые частицы (механические элементы), образуют водопрочную структуру, препятствующую образованию сноса почвенной массы и развитию эрозии. Большое значение имеет количество органических остатков, как надземных, так и мортмассы корней не только на необработанных залежах, но и на повторно распаханых их вариантах. Минерализация органических остатков также способствует коагуляции почвенных коллоидов, приводящей к сцеплению почвенной массы, сдерживающей развитие эрозионных процессов.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на необработанной и повторно введенной в пашню залежи различия абиотических факторов, трансформация показателей плодородия постагрогенной тёмно-серой глееватой почвы определяются положением частей склона в катене. Установлена более сильная прогреваемость почвы на распаханном участке по сравнению с необработанной залежью. Почва на вершине склона, относительно других точек, практически всегда характеризуется более высокой температурой. Влагообеспеченность почвы обработанной и необработанной залежи оценивается как оптимальная. Содержание влаги на обработанной залежи за три года исследования выше на 6% в слое 0–20 см, чем на необработанной залежи.

Доля агрономически ценных фракций возрастает в почве всех частей склона в катене на обработанной залежи. Максимальная сумма агрономически ценных фракций установлена в почве средней части склона как необработанной, так и повторно освоенной залежи. Плотность сложения почвы оценивается как оптимальная; при обработке и сельскохозяйственном использовании залежи она снижается. Более высокой плотностью сложения отличается почва подножия склона за счёт утяжеления гранулометрического состава.

Содержание аммонийного и нитратного азота в почве необработанной залежи низкое. Существенно усиливаются процессы минерализации и активизируется нитрификационная способность почв при распашке залежи за счёт оптимизации комплекса условий и факторов, приводящей к повышению степени обеспеченности минеральным азотом на два класса.

По коэффициентам сноса и аккумуляции установлено очень слабое проявление процессов эрозии в почве обоих объектов исследования за счёт тяжёлого гранулометрического состава, высокой степени гумусированности, большой доли обменного кальция в поглощающем комплексе.

Максимальная интенсивность протекания почвенных режимов и процессов, трансформации почвенных свойств характерны для подножия склона необработанной залежи и середины склона освоенной залежи.

Комплекс изученных показателей почвенного плодородия свидетельствует о возможности введения в пашню залежи, находящейся в корневищно-дерновинной стадии сукцессии, формирующейся на тёмно-серой постагрогенной слабоподзоленной глееватой почве Красноярской лесостепи.

ЛИТЕРАТУРА

- Андина В.А., Ковалёва Е.В., Чикин Н.В. Анализ динамики состояния и использования сельскохозяйственной категории земель на территории Красноярского края // Вектор ГеоНаук. 2022. Том 5. № 2. С. 35–40. <https://doi.org/10.24412/2619-0761-2022-2-35-40>
- Булгаков Д.С., Чупрова В.В., Шпедт А.А. Проблемы использования в Красноярском крае земель, выбывших из сельскохозяйственного оборота, и пути их решения // Агрэкологическое состояние и перспективы использования земель России, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота: материалы Всероссийской научной конференции / Под ред. акад. А.Л. Иванова. Москва: Почвенный институт имени В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2008. С. 271–274.
- Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. Москва: Агропромиздат, 1986. 416 с.
- Владыченский А.С., Телеснина В.М., Чалая Т.А. Изменение экологических функций постагрогенных почв // Отражение био-, гео-, антропогенных взаимодействий в почвах и почвенном покрове: сборник материалов IV Всероссийской научной конференции с международным участием, (Томск, 1–5 сентября 2010 г.). Томск, 2010. Том 2. С. 32–35.
- Гиниятуллин К.Г., Шинкарев А.А., Фазылова А.Г., Кузьмина К.И., Шинкарев А.А. Пространственная неоднородность вторичной аккумуляции гумуса в старопашотных горизонтах залежных светло - серых лесных почв // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2012. Том. 154. № 4. С. 61–70.
- Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2021 году» / Министерство экологии и рационального природопользования Красноярского края, КГБУ «ЦРМПиООС». Красноярск, 2022. 317 с.
- Годовой доклад «О состоянии и использовании земель Красноярского края за 2020 год» / Составлен специалистами Управления Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии по Красноярскому краю и филиала ФГБУ «ФКП Росреестра» по Красноярскому краю. Красноярск, 2020.
- ГОСТ 26489-85. Почвы. Определение обменного аммония по методу ЦИНАО. Москва: Госстандарт СССР, 1985.
- ГОСТ 26951-86. Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом. Москва: Госстандарт СССР, 1986.
- ГОСТ 28268-89. Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений. Москва: Издательство стандартов, 1989.
- Данилов А.Н. Изменение плодородия почвы в катене на залежи (на примере Манского района Красноярского края) // Вестник Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова. 2017. № 20. С. 52–55.
- Данилов А.Н. Влияние распашки на плодородие агросерой почвы залежи в катене // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2019. № 2(143). С. 180–190.
- Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2020 году. Москва: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 384 с.
- Ерёмин Д.И. Залечь как средство восстановления содержания и запасов гумуса старопашотных черноземов лесостепной зоны Зауралья // Плодородие. 2014. № 1(76). С. 24–26.
- Захаренко В.А. Тенденции роста бросовых земель, изменения и управления фитосанитарным состоянием агроэкосистем // Агрэкологическое состояние и перспективы использования земель России, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота: материалы Всероссийской научной конференции / Под ред. акад. А.Л. Иванова. Москва: Почвенный институт имени В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2008. С. 97–111.
- Зыбалов В.С., Кокарева М.Н. Агрэкологическая оценка агроценозов и залежных почв южной лесостепи Челябинской области // Вестник Челябинского агроинженерного университета. 2005. Том 45. С. 91–93.
- 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>
- Кузнецова И.В., Тихонравова П.И., Бондарев А.Г., Кузнецова И.В. Изменение свойств залежных серых лесных почв // Почвоведение. 2009. № 9. С. 1142–1150.

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

Люри Д.И., Горячкин С.В., Нефедова Т.Г., Денисенко Е.А. Закономерности вывода из оборота сельскохозяйственных земель России и мире и процессы постагрогенного развития залежей // Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель России, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота: материалы Всероссийской научной конференции / Под ред. акад. А.Л. Иванова. Москва: Почвенный институт имени В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2008. С. 45–71.

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.

Михеева И.В. Вероятностно-статистические модели свойств почв. Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения РАН, 2001. 198 с.

Нечаева Т.В. Залежные земли России: распространение, агроэкологическое состояние и перспективы использования (обзор) // Почвы и окружающая среда. 2023. Том 6. № 2. с215. <https://doi.org/10.31251/pos.v6i2.215>

Попков А.П., Сорокина О.А. Влияние направления использования залежей на некоторые агрофизические свойства почв // АгроЭкоИнфо. 2023а. № 1. <https://doi.org/10.51419/202131128>

Попков А.П., Сорокина О.А. Влияние повторного освоения залежей на свойства почв в Красноярской лесостепи // АгроЭкоИнфо. 2023б. № 2. <https://doi.org/10.51419/202132223>

Савич В.И., Гукалов Е.Н., Мансуров Б.А. Агроэкологическая оценка развития эрозии во времени и пространстве // Плодородие. 2016. № 3. С. 40–42.

Сорокина О.А., Токавчук В.В., Рыбакова А.Н. Постагрогенная трансформация серых почв залежей. Красноярск: КрасГАУ, 2016. 239 с.

Танасиенко А.А. Специфика эрозии почв в Сибири. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2003. 176 с.

Шпедт А.А., Трубников Ю.Н. Гумусовое состояние и рациональное использование почв залежных земель Приенисейской Сибири // Достижение 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 пяти 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>

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>

*Поступила в редакцию 22.05.2024*

*Принята 23.07.2024*

*Опубликована 05.09.2024*

#### **Сведения об авторах:**

**Сорокина Ольга Анатольевна** – доктор биологических наук, профессор, Красноярский государственный аграрный университет (г. Красноярск, Россия); [geos0412@mail.ru](mailto:geos0412@mail.ru)

**Данилов Андрей Николаевич** – аспирант, Красноярский государственный аграрный университет (г. Красноярск, Россия); [daniloff.andrey-n@yandex.ru](mailto:daniloff.andrey-n@yandex.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/)

## Soil fertility transformation of abandoned soils along a catena in the Krasnoyarsk forest-steppe

© 2024 O. A. Sorokina , A. N. Danilov 

Krasnoyarsk State Agrarian University, Mira Avenue, 90, Krasnoyarsk, Russia, E-mail: [geos0412@mail.ru](mailto:geos0412@mail.ru)

**The aim of the study** was to assess the transformation of some abiotic factors and soil fertility indicators, as well as erosion progress in the post-agrogenic dark-gray glei soil, undergoing spontaneous revegetation after abandonment, and after it was once again put into agricultural use (ploughed) on a catena in the Krasnoyarsk forest-steppe.

**Location and time of the study.** The study was conducted in the Krasnoyarsk forest-steppe in 2017-2019 using 1) abandoned dark-gray glei soil and 2) the same abandoned soil after it was again put into agricultural use and tilled. The studied land, abandoned for 18 years prior to the beginning of the study, reached the quasi-steady state of succession with grasses, forbs and herbs, forming rhizomes, turfs and bunches. In 2016 a portion of the abandoned land was ploughed, i.e. again turned into arable land.

**Methods.** Catenary approach to soil studies was used: at the east-exposed slope with 1.8° inclination a catena was chosen, composed of a summit, backslope and footslope. The abandoned land consisted of two sites: 1) abandoned land, AS, and 2) abandoned land that was again used as an arable one (ASA). At each catenary position soil profile morphology was described, genetic horizons characterized, soil bulk density and structural composition determined, the latter based on the agronomically valuable fractions (AVF). Soil temperature and moisture were measured in 0-10 and 10-20 cm soil layers from May till August. Mobile mineral nitrogen forms (N-NO<sub>3</sub> and exchangeable N-NH<sub>4</sub>) were also measured. Using the so-called soil traps the possibility of water erosion flow and of the processes of fine earth and biota accumulation downward the catena was assessed. Soil samples were collected in triplicates, and all analyses were also performed with three replicates.

**Results.** All catenary position displayed fully developed soil profiles at the AS. The soil was identified as dark gray post-agrogenic weakly podzolized glei clay soil, developed on the brown clay. The former arable layer (the so-called ploughed sole) could be clearly seen, thus confirming the post-agrogenic stage of land development. The ASA was found to be better heated due to less covered soil surface. At the summit the temperature was higher as compared with other positions of the catena. Soil water content over three years at the ASA site was significantly higher as compared with the AS one. High humus content and AVF share resulted in very small fraction of silt. Mechanical tillage of the abandoned soil (i.e. at the ASA site) did not decrease the lumpy fraction. The structure of all studied soils according to their AVF fraction could be characterized as good or excellent. The AVF were found to increase downward the ASA catena.

Due to heavier granulometric composition at the AS accumulative position the soil there was denser. After the AS site was ploughed, soil bulk density somewhat decreased at the transit and accumulative positions. The exchangeable N-NH<sub>4</sub> content at both sites was rather low and did not differ. After ploughing the AS site, which had low nitrate content, the nitrate content increased by 1-2 grades at the ASA site.

Judging by the coefficients of soil transfer and accumulation, the former was much less at the ASA site. The backslope was characterized by higher soil mass accumulation as compared with the summit and the footslope. The biota share was rather high, especially at the AS backslope.

**Conclusions.** The difference in abiotic factors and fertility indicator of the dark-gray glei soil at the abandoned site and the adjacent site ploughed again is determined by the relief position. The maximal intensity of soil processed and regimes, as well as soil properties transformation, are characteristic for the foot slope of the abandoned land and the back slope of the abandoned and then ploughed land. So the set of soil fertility properties of the post-agrogenic dark-gray glei soil in the Krasnoyarsk forest steppe showed the possibility to turn the long-term abandoned land into arable.

**Keywords:** abandoned land; catena; soil tillage; soil properties; soil mass transfer; accumulation.

**How to cite:** Sorokina O.A., Danilov A.N. Soil fertility transformation of abandoned soils along a catena in the Krasnoyarsk forest-steppe. *The Journal of Soils and Environment*. 2024. 7(3). e267. DOI: [10.31251/pos.v7i3.267](https://doi.org/10.31251/pos.v7i3.267) (in Russian with English abstract).

### REFERENCES

- Andina V.A., Kovalyova E.V., Chikin N.V. Analysis of the dynamics of the state and use of agricultural land categories in the territory of the Krasnoyarsk Territory. *Vector of Geosciences*. 2022. Vol. 5. No. 2. P. 35–40. (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2619-0761-2022-2-35-40>
- Bulgakov D.S., Chuprova V.V., Shpedt A.A. Problems of using lands in the Krasnoyarsk territory that has been withdrawn from agricultural use and ways of their solution. In book: *Agro-ecological state and prospects of utilization of Russian lands retired from active agricultural turnover*. Proceedings of the All-Russian Scientific Conference / Edited

by Acad. A.L. Ivanov. Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Institute of Rosselkhozakademy. Dokuchaev Soil Institute of Rosselkhozakademy, 2008. P. 271–274. (in Russian).

Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. Methods of research of physical properties of soils. Moscow: Agropromizdat Publ., 1986. 416 p. (in Russian).

Vladychensky A.S., Telesnina V.M., Chalaya T.A. Change in ecological functions of post-agrogenic soils/ In book: Reflection of bio-, geo-, anthropospheric interactions in soils and soil cover. Proceedings of the IV All-Russian Scientific Conference with international participation, (Tomsk, 1–5 September, 2010). Tomsk, 2010. Vol. 2. P. 32–35. (in Russian).

Giniyatullin K.G., Shinkarev A.A., Fazylova A.G., Kuzmina K.I., Shinkarev A.A. Spatial heterogeneity of secondary humus-accumulation in old-arable horizons of fallow light-gray forest soils. Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki (Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series). 2012. Vol. 154. No. 4. P. 61–70. (in Russian).

Report "On the state and protection of the environment in the Krasnoyarsk territory in 2021". Krasnoyarsk, 2022. 317 p. (in Russian).

Report "On the state and use of land in the Krasnoyarsk territory for 2019". Krasnoyarsk, 2020. (in Russian).

GOST 26489-85. Soils. Determination of exchangeable ammonium by CINAO method. Moscow: USSR Gosstandart, 1985. (in Russian).

GOST 26951-86. Soils. Determination of nitrate by ionometric method. Moscow: USSR Gosstandart, 1986. (in Russian).

GOST 28268-89. Soils. Methods of determination of moisture, maximum hygroscopic moisture and moisture of steady plant fading. Moscow: Standard Publ. House, 1989. (in Russian).

Danilov A.N. Change of soil fertility in the catena on deposits (evidence from Mansky district of Krasnoyarsk region). Vestnik Khakasskogo gosudarstvennogo universiteta imeni N.F. Katanova. 2017. No. 20. P. 52–55. (in Russian).

Danilov A.N. Influence of cutting on fertility by agrosora soils provides in catena. Bulletin of Krasnoyarsk Agrarian University. 2019. No. 2 (143). P. 180–190. (in Russian).

Report on the state and use of agricultural lands of the Russian Federation in 2020. Moscow: Rosinformagroteh, 2022. 384 p. (in Russian).

Eremin D.I. following as a means for restoring the content and reserves of humus in old arable chernozems of the Transural forest-steppe zone. Plodorodie. 2014. No. 1 (76). P. 24–26. (in Russian).

Zakharenko V.A. Trends in the growth of abandoned land, changes in the management of phytosanitary condition of agroecosystems. In book: Agro-ecological state and prospects of utilization of Russian lands retired from active agricultural turnover. Proceedings of the All-Russian Scientific Conference / Edited by Acad. A.L. Ivanov. Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Institute of Rosselkhozakademy. Dokuchaev Soil Institute of Rosselkhozakademy, 2008. P. 97–110. (in Russian).

Zybalov B.C., Kokareva M.N. Agroecological assessment of agrocenoses and fallow soils of the southern forest-steppe of the Chelyabinsk region. Vestnik Chelyabinskogo agroinzhenernogo universiteta. 2005. Vol. 45. P. 91–93. (in Russian).

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. Frieв. 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. 55–66. (in Russian). <https://doi.org/10.36718/2500-1825-2023-2-55-66>

Kuznetsova I.V., Tikhonravova P.I., Bondarev A.G. Changes in the properties of cultivated gray forest soils after their abandoning. Eurasian Soil Science. 2009. Vol. 42. No. 9. P. 1062–1070.

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).

Lyuri D.I., Goryachkin S.V., Nefedova T.G., Denisenko E.A. Regularities of withdrawal of agricultural lands from turnover in Russia and the world and the processes of postagrogenic development of fallow lands. In book: Agro-ecological state and prospects of utilization of Russian lands retired from active agricultural turnover. Proceedings of the All-Russian Scientific Conference / Edited by Acad. A.L. Ivanov. Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Institute of Rosselkhozakademy. Dokuchaev Soil Institute of Rosselkhozakademy, 2008. P. 45–71. (in Russian).

Lyuri D.I., Goryachkin S.V., Karavaeva N.A., Denisenko E.A., 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).

Mikheeva I.V. Probabilistic-statistical models of soil properties. Novosibirsk: Publ. House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2001. 198 p. (in Russian).

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>

Popkov A.P., Sorokina O.A. Influence of the direction of use of deposits on some agrophysical properties of soils. AgroEcoInfo. 2023a. No. 1. (in Russian). <https://doi.org/10.51419/202131128>

Popkov A.P., Sorokina O.A. Influence of redevelopment of deposits on soil properties in the Krasnoyarsk forest-steppe. AgroEcoInfo. 2023b. No. 2. (in Russian). <https://doi.org/10.51419/202132223>

Savich V.I., Gukalov V.N., Mansurov B.A. Agroecological estimation of erosion development in time and space. Plodorodie. 2016. No. 3. P. 40–42. (in Russian).

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).

Tanasienko A.A. Specific features of soil erosion in Siberia. Novosibirsk: Published by Siberian Branch of RAS, 2003. 176 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>

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>

*Received 22 May 2024*

*Accepted 23 July 2024*

*Published 05 September 2024*

#### **About the authors:**

**Olga A. Sorokina** – Doctor of Biological Sciences, Professor, Krasnoyarsk State Agrarian University (Krasnoyarsk, Russia); [geos0412@mail.ru](mailto:geos0412@mail.ru)

**Andrey N. Danilov** – postgraduate, Krasnoyarsk State Agrarian University (Krasnoyarsk, Russia); [daniloff.andrey-n@yandex.ru](mailto:daniloff.andrey-n@yandex.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/)