

## ДЕГРАДАЦИЯ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ И ОХРАНА ПОЧВ

УДК 631.46:574.4

### ПОСТАГРОГЕННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ И СОДЕРЖАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА ЧЕРНОЗЕМА В ПЕРВЫЕ 3 ГОДА ЗАЛЕЖНОГО РЕЖИМА

© 2020 г. К. Ш. Казеев<sup>а, \*</sup>, А. В. Трушков<sup>а</sup>, М. Ю. Одабашян<sup>а</sup>, С. И. Колесников<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Южный федеральный университет, пр. Стачки, 194/1, Ростов-на-Дону, 344006 Россия

\*e-mail: kamil\_kazeev@mail.ru

Поступила в редакцию 23.07.2019 г.

После доработки 22.10.2019 г.

Принята к публикации 27.12.2019 г.

Проведены исследования биологического состояния чернозема обыкновенного (сегрегационно-миграционного, *Нарліс Чернозем (Loamic)*) в первые годы залежного режима в сравнении с пахотным аналогом, старовозрастными залежами и эталонным целинным участком степи. Эксперимент включал в себя полевой опыт по переводу старопахотного участка чернозема обыкновенного Ботанического сада Южного федерального университета в залежный режим со сравнительным исследованием содержания органического углерода и активности ферментов двух классов: оксидоредуктаз (каталазы и дегидрогеназ) и гидролаз ( $\beta$ -фруктофуранозидаза). Увеличение содержания органического углерода на участке молодой залежи обнаружено уже в первый год исследований. В последующие годы залежного режима оно существенно не изменялось и варьировало в течение вегетационного сезона в зависимости от срока наблюдения. Активность исследуемых ферментов также начинает увеличиваться в первый год залежного режима и продолжает восстанавливаться в течение всего времени после прекращения агрогенного воздействия. Активность каталазы на участке молодой залежи по сравнению с пахотным участком в первый год исследований выше на 9% ( $p < 0.05$ ), активность дегидрогеназ – на 20% ( $p < 0.05$ ),  $\beta$ -фруктофуранозидазы – на 10% ( $p < 0.05$ ). Однако ферментативная активность значительно ниже уровня старовозрастных залежей и, тем более, эталонного участка целинной степи.

*Ключевые слова:* агрогенное воздействие, восстановительная сукцессия, биоиндикация, органическое вещество, биологическая активность

DOI: 10.31857/S0032180X20070059

#### ВВЕДЕНИЕ

Постоянное изменение климата и деятельность человека с каждым годом сокращают пригодные для земледелия территории. Из имеющихся пахотных угодий в мире более 34% площадей подвергнуты деградации в разной степени [19]. Официальная перепись Росреестра, проведенная в России в 2016 г. [13], выявила 44% заброшенных земельных участков, не используемых в сельском хозяйстве.

При возделывании сельскохозяйственных культур в большинстве регионов мира в том числе России, чаще всего используют технологию отвальной вспашки, которая обеспечивает более быстрое решение доступности элементов питания растений, плотности почвы и как следствие, быстрого возвращения вложений в технологию. Вместе с тем применение традиционной технологии имеет отрицательное воздействие для водно-физических свойств почвы, содержания гумуса и биологиче-

ского состояния почв [2, 10, 18, 30–32, 36]. Последствия этих процессов – водная и ветровая эрозия, дегумификация, разрушение структуры почвы и снижение плодородия. Постоянное использование почв под пашней приводит к значительным потерям органического вещества и увеличению степени глыбистости структурных отдельностей с возрастанием степени пылеватости почвенной структуры. Применение природоподобных технологий с минимизацией механического воздействия на почву в большинстве случаев приводит к нормализации физического состояния почвы, усилению биологической активности и увеличению содержания органического вещества, что приближает постагрогенные почвы к естественным аналогам [3, 8, 11, 15, 34, 44]. Поскольку землепользование обычно оказывает ограниченное краткосрочное влияние на консервативные почвенные свойства (структура, сложение, минералогический и химический состав, реакция среды и др.), необходимы другие показатели, в том чис-

ле биологические, которые имеют большой потенциал в диагностике качества и здоровья почв [37, 43].

Для оценки экологического состояния и качества почв широко используют методы биологической диагностики. Биологическая диагностика почв является важной составляющей как локального, так и глобального мониторинга. Как и другие среды обитания, почву исследуют с помощью биологических показателей. Микробное разнообразие и биохимические показатели — важные индикаторы состояния почвы, поскольку они отражают разные аспекты процессов разложения органических веществ и поддержания устойчивого функционирования почв. Содержание гумуса в почвах в значительной мере зависит от типа землепользования [2, 23, 26, 27]. Многие компоненты органического вещества являются высокоэнергетическим субстратом для почвенных организмов, что способствует проявлению микробиологической активности, и в свою очередь ферментативной активности почв [35, 45]. Активность почвенных ферментов может служить дополнительным диагностическим показателем почвенного плодородия и его изменения в результате антропогенного воздействия [6, 7, 9, 33, 38, 41, 42]. Ферментативная активность определяет скорость и направление протекания процессов разложения растительного опада и синтеза гумусовых веществ в почвах [42, 45]. Сельскохозяйственное использование черноземов подавляет активность гидролитических ферментов (инвертазы, фосфатазы, уреазы) [4, 9, 22, 29]. Активность оксидоредуктаз показывает меньшую чувствительность к агрогенезу. Восстановление растительности на залежных участках после прекращения обработки почв способствует регенерации пахотных почв. Изменения, происходящие в постагрогенных почвах, достаточно подробно описаны в литературе [1, 16, 21, 22, 24–26, 28, 39]. Под травянистой растительностью бывшие пахотные горизонты трансформируются по дерновому типу [17, 22, 24], уменьшается плотность, возрастает водопроницаемость [25, 36], увеличивается содержание гумуса и усиливается ферментативная активность [22, 25, 26, 29, 39], возрастает численность микроорганизмов. Преобразование остатков биоты в твердые дискретные частицы является одним из первых этапов формирования так называемого “нового” почвенного органического вещества залежных почв [27].

Проводимые ранее исследования упускали наиболее динамичные начальные годы залежного режима, изучение которых позволит оценить закономерности восстановления эколого-биологических параметров почв при восстановлении естественной растительности. Поэтому целью работы было исследование динамики изменения органического углерода и ферментативной ак-

тивности старопашотного чернозема в течение первых трех лет после прекращения агрогенного воздействия.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Территория исследований имеет благоприятный умеренно-континентальный климат. Среднегодовое количество осадков составляет 460 мм. Средняя температура воздуха в январе —  $-7^{\circ}\text{C}$ , в июле —  $+23^{\circ}\text{C}$ . Для исследований изменения биологических свойств постагрогенного чернозема был выбран опытный полигон, расположенный в Ботаническом саду Южного федерального университета. Ботанический сад находится в северо-западной части города Ростова-на-Дону. В 2016 г. полигон представлял собой старопашотный участок, поддерживаемый постоянными обработками (отвальная вспашка и культивации) в состоянии черного пара. Весной 2016 г., перед первой вспашкой, участок разделили на две части, первую продолжили пахать, впоследствии используя данные с этого участка как отрицательный контроль, вторую перестали обрабатывать, переведя в залежь для восстановления биологических свойств (табл. 1). Таким образом, последняя вспашка исследуемого участка была осенью 2015 г. Для сравнения в качестве положительного контрольного варианта использовали две залежи в Ботаническом саду (30 и 75 лет). В качестве эталонного участка степи был выбран целинный участок памятника природы “Персиановская степь”, расположенный на территории учхоза “Донское” ДонГАУ (Октябрьский район, Ростовской области). Наблюдения проводили в течение трех лет с 2016 по 2018 гг. Отбор почвенных образцов производили в сезонной динамике каждый год: май, июль, сентябрь. Эти сроки позволяют оценить динамику биологических процессов в черноземах юга России [5, 14]. Почва на всех исследованных участках — чернозем обыкновенный (североприазовский) карбонатный среднетяжелосуглинистый (чернозем миграционно-сегрегационный по Классификации почв России или *Na<sub>np</sub>lic Chernozem (Loamic)* по WRB). Отбор индивидуальных образцов почв проводили из разрезов и трех прикопок, расположенных на расстоянии 3–5 м вокруг разреза с глубин 0–10, 20–30 и 45–50 см. Однако основное внимание уделили поверхностному слою, как наиболее быстро эволюционирующему. Все образцы изучали отдельно для более точной и достоверной информации. Исследования биологической активности постагрогенных почв проводили в 3–9-кратной повторности в течение нескольких дней после отбора образцов с использованием методов почвоведения и экологии [14]. В качестве диагностических показателей изучена активность ферментов двух классов: оксидоредуктаз (каталазы и дегидрогеназы) и гидро-

Таблица 1. Исследуемые участки и их расположение

№ участка	Местоположение	Возраст, лет	Географические координаты
1	Ботанический сад ЮФУ	Пашня	47.239217° с. ш., 39.642156° в. д.
2		Молодая залежь, 1-3	
3		Залежь, 30	
4		Залежь, 75	47.237201° с. ш., 39.658700° в. д.
5	ООПТ “Персиановская степь”	Целинный участок степи	47.303228° с. ш. 40.918889° в. д.

лаз ( $\beta$ -фруктофуранозидаса). Активность каталазы и дегидрогеназ определяли по Галстяну, активность инвертазы – колориметрическим методом с реактивом Феллинга. Содержание органического углерода выполняли методом бихроматного окисления по Тюрину в модификации Никитина. Микробную биомассу определяли по углероду регидратационным методом Благодатского с соавт. (по [14]). Для объединения разных показателей был использован интегральный показатель биологического состояния (ИПБС) почвы [14]. Для этого в выборке максимальное значение каждого из показателей принимается за 100% и по отношению к нему в процентах выражается значение этого же показателя в остальных образцах. После этого рассчитывается средний оценочный балл изученных показателей для варианта, абсолютные значения, которых не могут быть суммированы, так как имеют разные единицы измерения. Интегральный показатель биологического состояния почвы рассчитывают по формуле:

$$\text{ИПБС} = (\text{Б}_{\text{ср}} / \text{Б}_{\text{ср max}}) 100\%,$$

где  $\text{Б}_{\text{ср}}$  – средний оценочный балл всех показателей,  $\text{Б}_{\text{ср max}}$  – максимальный оценочный балл всех показателей.

Влажность почвы определяли в полевых условиях влагомером с датчиков Datarrobe в 10-кратной повторности на каждом участке в слое 0–10 см, как и температуру, которую определяли электронным термометром Hanna Chectemp.

Статистическая обработка данных выполнена с использованием корреляционного и дисперсионного анализов. При обсуждении результатов учитывали статистически достоверные различия при  $p < 0.05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Гидротермический режим почвы – важный фактор, обуславливающий развитие разнообразных процессов. Температура почвы наряду с влажностью оказывает мощное воздействие на основные почвообразующие процессы, накопление биомассы и биологическую продуктивность. Среднегодовая влажность почвы верхнего горизонта постагрогенного участка уже с первого года залежного режима превышала влажность почвы

на пахотном участке на 8% ( $p < 0.05$ ). Разница во влажности между пахотным участком и участком молодой залежи с каждым годом исследований увеличивалась (рис. 1). В 2018 г. среднегодовая влажность пахотного горизонта составляла уже 17% ( $p < 0.05$ ). С увеличением влажности пахотного горизонта температура поверхности почвы исследуемого участка понизилась на 5% ( $p < 0.05$ ) в отличие от участка пашни. Изменение гидротермических условий связано с развитием растительности на залежи, что приводит к затенению почвы от солнечных лучей. Кроме того, прекращение регулярного турбирования почв при обработках, приводящего к иссушению поверхностного слоя, способствует восстановлению ее структуры и улучшению водно-воздушного режима [15, 22, 36]. Бурный рост пионерной растительности первого года залежного режима привел к изменениям гидротермического и физического состояния исследуемой почвы. Изменение растительного покрова залежного участка представлено на рис. 2. В первый год залежного режима постагрогенного участка в травостое было всего 9 видов, доминировали бурьянистые высокотравные растения: *Ambrosia artemisiifolia*; *Artemisia vulgaris*; *Cyclachaena xanthiifolia*; *Chenopodium album*. Через 3 года разнообразие растений достигло 38 видов. Фитомасса в первый год исследований была очень значительной и далее не увеличивалась. Бурьянистая стадия восстановительной сукцессии привела к значительному увеличению содержания органического углерода в почве и на ее поверхности. Положительная динамика содержания органического углерода на участке залежи была зафиксирована через год после прекращения обработки (2016 г., сентябрь). Достоверная разница значений исследуемого показателя на участке молодой залежи и пахотным участком составила 26% ( $p < 0.05$ ). Динамика изменения общего органического вещества в пахотном горизонте в течение трех лет исследований представлены на рис. 3А. Надземная фитомасса на исследуемом участке в первый год (сентябрь 2016 г.) исследований составила 0.76 кг/м<sup>2</sup>, в то время как на целине ООПТ “Персиановская степь”, исследуемом в качестве эталона участке положительного контроля, фитомасса составляла 1.19 кг/м<sup>2</sup>. Несмотря на бурный рост и большой объем растительности

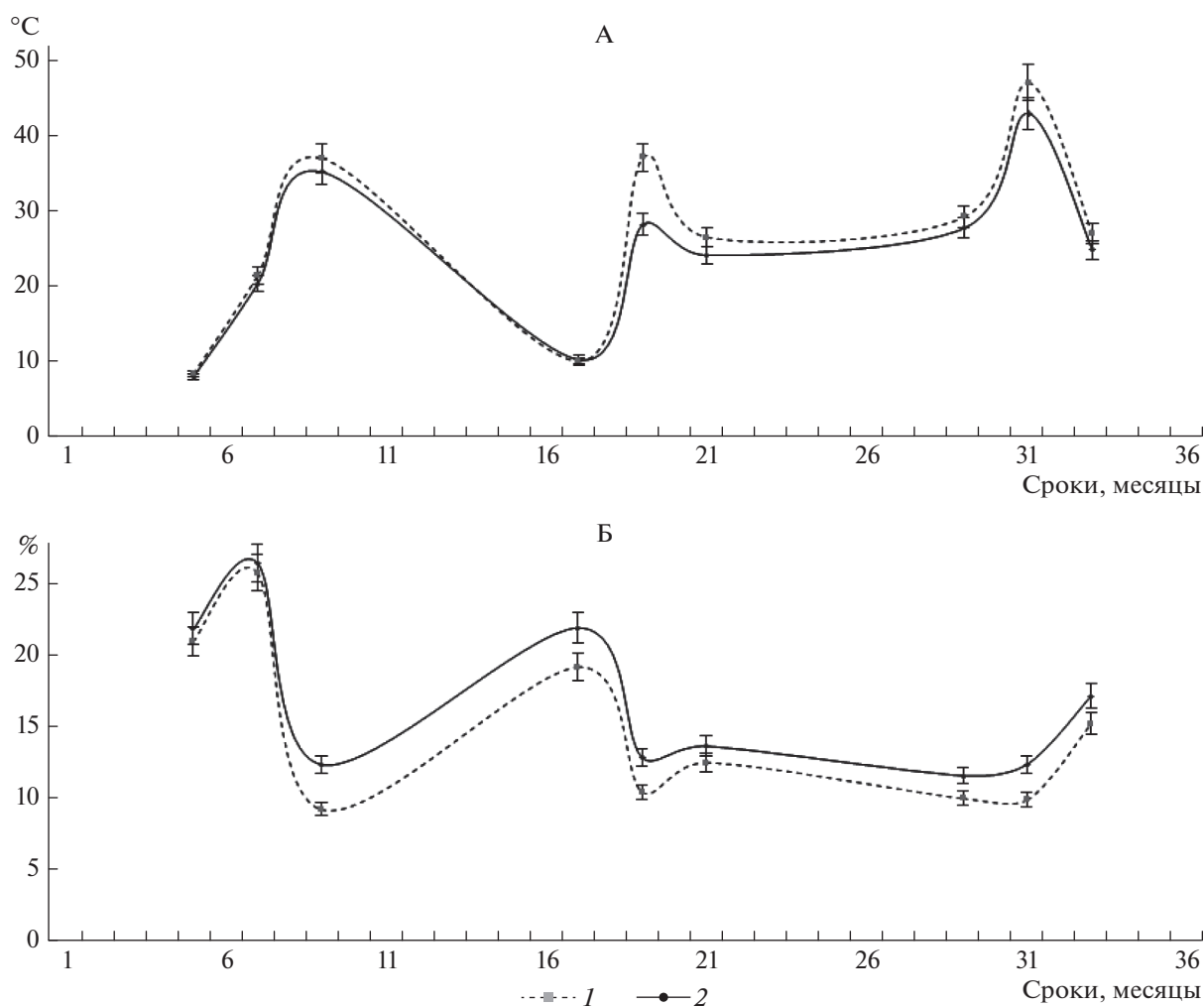


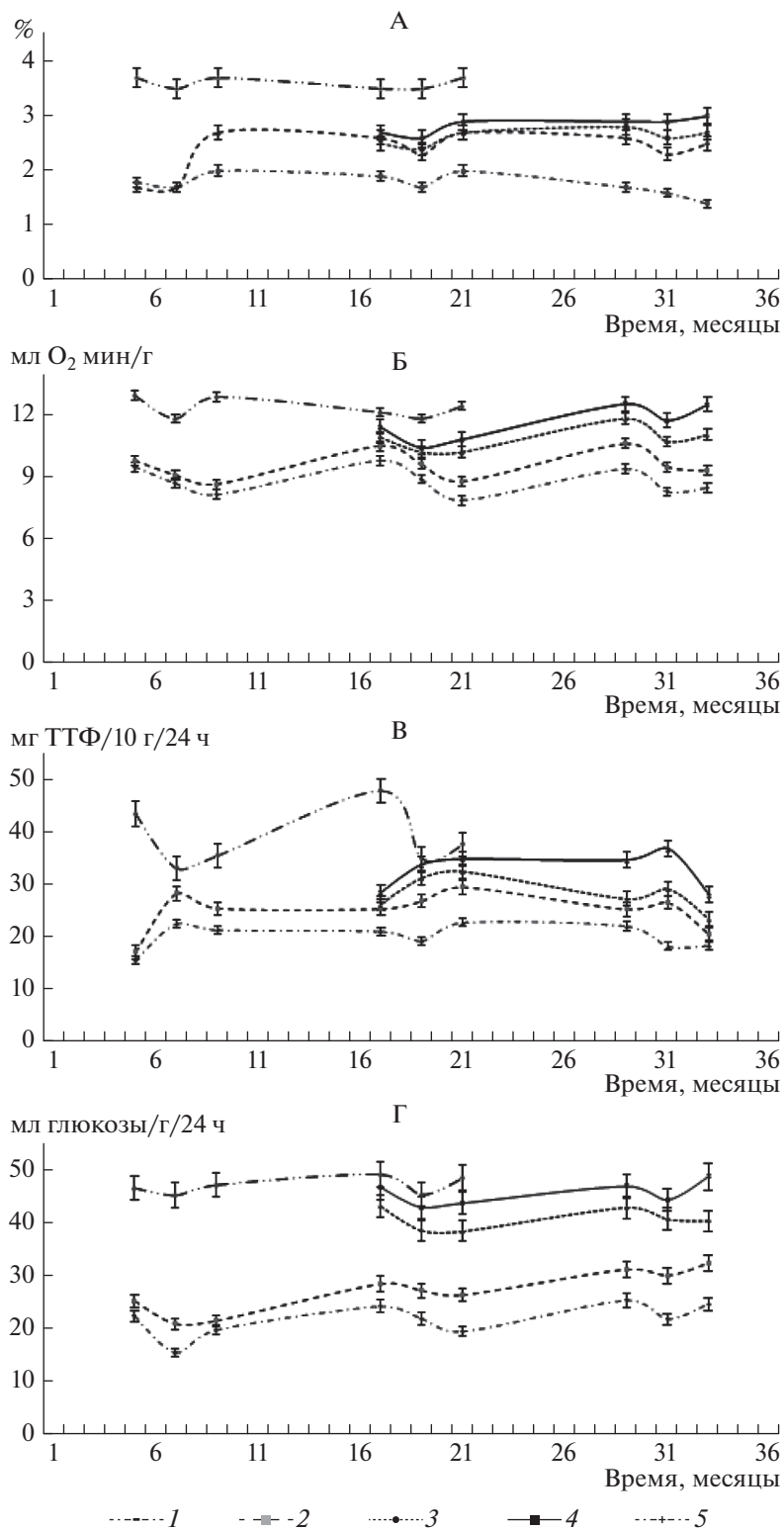
Рис. 1. Динамика температуры (А) и влажности (Б) почв (слой 0–10 см) исследуемых участков (1 – пашня, 2 – залежь), 2016–2018 гг.

на участке молодой залежи, разница в содержании органического углерода в почвах между ним и степным участком на девятый месяц исследования составила 28% ( $p < 0.05$ ). Отмечена положительная корреляция содержания органического углерода и фитомассы ( $r = 0.89$ ). На второй год исследований содержание органического углерода в почве на участке молодой залежи достоверно не отличалось от почвы другой залежи ботанического сада возрастом 30 лет. Разница с участком старовозрастной залежи 75 лет составила минус 8% ( $p < 0.05$ ). После увеличения содержания органического углерода в первый год залежного режима его количество со временем залежного режима значительно не менялось. В исследуемые годы выявлена зависимость содержания органического углерода на постагрогенных участках от сезона исследования. В засушливый период (июль), когда при высыхании почвы затихают все биологические процессы, значения исследуемого показателя уменьшаются на всех участках на 11–15% ( $p < 0.05$ ).

Наименее отзывчивым и в то же время стабильным диагностическим показателем изменения биологических свойств постагрогенных почв на начальной стадии сукцессии оказалась активность каталазы. Если оценивать изученные опытные почвенные участки по степени обеспеченности каталазой по шкале Звягинцева [12], то участок пашни характеризуется средней обогащенностью. Исследуемый участок молодой залежи в первый год залежного режима относится к среднеобогатенным, а в весенний период двух последующих лет исследований к высокообогатенным. Участки положительного контроля можно отнести к высокообогатенным исследуемым ферментом. Активность каталазы, по результатам проведенных ранее работ [9, 10, 22], не проявила себя как информативный показатель для оценки различий между черноземами разного землепользования. В настоящем исследовании достоверное различие значений активности каталазы в почвах между участком молодой залежи и пахотным участком



**Рис. 2.** Растительность залежного участка в течение трех лет исследований после прекращения обработки почвы.



**Рис. 3.** Изменение содержания общего органического углерода (А), активности каталазы (Б), дегидрогеназ (В) и инвертазы (Г) постагрогенных черноземов (слой 0–10 см) в 2016–2018 гг. (1–5 номер участка, см. в табл. 1).

было отмечено в первый год (сентябрь 2016 г.) залежного режима и составило 9% ( $p < 0.05$ ). Увеличение активности каталазы в этот период обусловлено высокой температурой и наличием большого объема растительности на участке молодой залежи, которая оказывает влияние на активность ферментов [20]. Исследуемый фермент имеет обратную зависимость от влажности почв ( $r = -0.82$ ) и прямую от температуры ( $r = -0.93$ ), поэтому наибольшие различия активности каталазы между участком молодой залежи и пашни во все годы исследования наблюдали в июле, что связано с низким содержанием влаги в почве и высокой температурой. Повышение активности каталазы в почве между участком молодой залежи и пашней сохранялось в течение всего периода исследований. Через 19 месяцев залежного режима (июль 2017 г.) разница составила уже 11% ( $p < 0.05$ ) (рис. 3Б). Достоверной разницы активности каталазы на участке молодой залежи и залежью 30 лет в этот период обнаружено не было, что связано с примерно равным объемом фитомассы на данных участках. Максимальная разница активности каталазы между участком молодой залежи и пахотным участком отмечена на 31-й месяц залежного режима (июль 2018 г.) и составила 17% ( $p < 0.05$ ).

Активности инвертазы и дегидрогеназ оказались более отзывчивыми диагностическими показателями изменения биологических свойств постагрогенных почв на начальной стадии восстановительного процесса (рис. 5, 6). Отмечено увеличение активности данных ферментов в черноземе уже в первый год залежного режима (июль 2016 г.). Участки пашни и молодой залежи в течение всего периода исследований характеризуются высоким уровнем активности дегидрогеназ по шкале Звягинцева [12]. Участки положительного контроля (старовозрастные залежи и целина) можно отнести к категории высокообогащенных исследуемым ферментом. По сравнению с пашней активность дегидрогеназ на изучаемом участке через 7 мес. залежного режима больше на 20% ( $p < 0.05$ ), но на 15% ( $p < 0.05$ ) меньше, чем в почве на участке целинной степи (рис. 3В). Повышение активности дегидрогеназ связано с увеличением биомассы и активности микроорганизмов в почве, так как дегидрогеназы активны только в живых клетках [14]. Динамика этого процесса в почве постагрогенного участка сохраняется в течение всего периода исследований. Через 17 мес. (май 2017 г.) залежного режима достоверной разницы активности дегидрогеназ между исследуемым участком молодой залежи и участком залежи возрастом 30 лет не обнаружено, что говорит об интенсивном развитии микробной биомассы благодаря росту сорной растительности и созданию комфортных условий для микроорганизмов. В течение всего залежного периода активность дегидрогеназ имеет положительную достоверную корреляцию с содержанием органического вещества

( $r = 0.70$ ) и с содержанием микробной биомассы ( $r = 0.87$ ).

В первый год залежного режима достоверная разница активности инвертазы между участками молодой залежи и пашни составила 10% ( $p < 0.05$ ) (рис. 3Г). Повышение активности инвертазы на участке молодой залежи сохраняется в течение всего периода исследования и максимальная разница с участком пашни отмечена через 21 мес. залежного режима (сентябрь 2017 г.), составляя 27% ( $p < 0.05$ ). Почва целинного участка “Персиановская степь”, согласно шкале Звягинцева [12], характеризуется богатой степенью обогащения инвертазой, остальные постагрогенные черноземы – средней обогащенностью. Несмотря на повышение активности инвертазы на участке молодой залежи в течение трех лет исследования, разница между исследуемым участком и участком залежи 30 лет велика и составляет 27–34% ( $p < 0.05$ ). Активность инвертазы в почве молодой залежи имеет положительную корреляцию со сроком постагрогенного режима ( $r = 0.99$ ). Также отмечена положительная корреляция исследуемого фермента с содержанием органического углерода ( $r = 0.83$ ), отрицательная – с микробной биомассой ( $r = -0.70$ ). Микробная биомасса на третий год исследований почвах закономерно увеличивается – от среднего на пашне ( $155 \pm 22$  мг С/кг почвы) до высокого уровня ( $257 \pm 20$  мг С/кг почвы) на молодой залежи и очень высокого уровня на старовозрастных залежах ( $409 \pm 41$  мг С/кг почвы). Чтобы выявить различия в уровне биогенности и биологической активности во все годы исследования между эталонным участком степи, исследуемым участком молодой залежи и пахотным участком определили интегральный показатель биологической активности (ИПБС) исследуемой почвы (рис. 4). Интегральный показатель рассчитали по значениям активности почвенных ферментов, содержанию органического углерода, активного углерода и микробной массе. Значения ИПБС исследуемого участка с первого года залежного режима на 11% ( $p < 0.05$ ) больше, чем на участке пашни. На третий год ИПБС исследуемого участка увеличился на 14% ( $p < 0.05$ ). Было выявлено, что пахотный участок ботанического сада ЮФУ по значениям ИПБС значительно уступает эталонной почве ООПТ “Персиановская степь”. Разница в значениях составляет более 25%, что свидетельствует о значительной деградации почв при агрогенезе. Аналогичные результаты значений интегрального показателя в черноземах юга России разного землепользования получены ранее [10, 22]. При таком значительном уменьшении значений ИПБС нарушаются все группы экологических функций [14]. Прекращение регулярных обработок почвы приводит к значительной реконструкции эколого-биологического состояния черно-

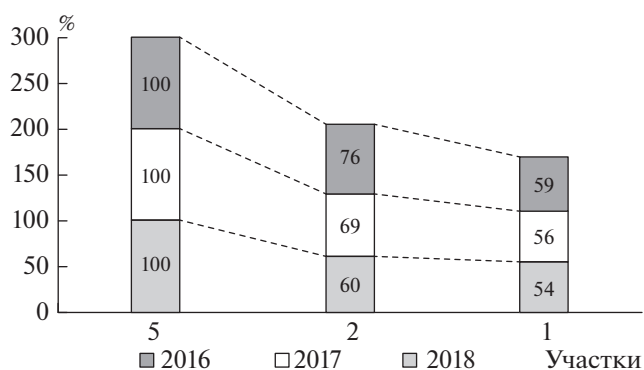


Рис. 4. ИПБС верхнего горизонта почвы залежного участка в сравнении с пашней и степью.

земов. В течение трех лет постагрогенного восстановления значение ИПБС в почве залежного участка повысилось на 31% ( $p < 0.05$ ).

Благодаря изучению биологических процессов постагрогенных почв разного возраста выявлено, что на первые годы залежного режима приходится основной этап восстановления биологической активности постагрогенных почв.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Биологические процессы в постагрогенных черноземах изменяются уже в первые годы залежного режима. В верхнем, наиболее пострадавшем горизонте, содержание органического углерода увеличивается уже в первый год залежного режима. Благодаря бурному росту пионерных растений разница между пашней и участком молодой залежи на девятый месяц составляет 28% ( $p < 0.05$ ) содержания органического углерода. Биологические показатели хорошо проявили себя при оценке экологического состояния и плодородия постагрогенных черноземов. Для активности каталазы достоверная разница между участком молодой залежи и пашней установлена через 9 мес. после прекращения обработки почвы. Активность дегидрогеназ и инвертазы была еще более чувствительными показателями для диагностики восстановительных процессов на постагрогенных участках. Повышение активности исследуемых ферментов было отмечено уже через 7 мес. после прекращения агрогенного воздействия и прогрессирует с течением времени. Биологическая активность антропогенных почв на 41–47% ( $p < 0.05$ ) меньше, чем на целинном участке “Персиановская степь”. ИПБС исследуемого участка в первый год залежного режима на 11% больше ( $p < 0.05$ ), чем на участке пашни. В течение трех лет залежного режима биологическая активность исследуемой почвы увеличилась на 14% ( $p < 0.05$ ).

## ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследование выполнено при государственной поддержке ведущих научных школ Российской Федерации (НШ-3464.2018.11; НШ-2511.2020.11).

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баева Ю.И., Курганова И.Н., Лонес 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.
2. Безуглова О.С., Звягинцева З.В., Горяинова Н.В. Потери гумуса в почвах Ростовской области // Почвоведение. 1995. № 2. С. 175–183.
3. Габбасова И.М., Сулейманов Р.Р., Хабиров И.К., Комиссаров М.А., Гарипов Т.Т., Сидорова Л.В., Асылбаев И.Г., Рафиков Б.В., Яубасаров Р.Б. Оценка состояния агрочерноземов Зауральской степи в условиях использования системы обработки почвы No-Till // Докл. Российской академии сельскохозяйственных наук. 2014. № 6. С. 32–36.
4. Гарбуз С.А., Ярославцева Н.В., Холодов В.А. Ферментативная активность воздушно-сухих и водостойчивых агрегатов почв разного вида использования // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2016. № 82. С. 42–55. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-82-42-55>
5. Гончарова Л.Ю., Безуглова О.С., Вальков В.Ф. Сезонная динамика содержания гумуса и ферментативной активности чернозема обыкновенного карбонатного // Почвоведение. 1990. № 10. С. 86–93.
6. Горобцова О.Н., Улигова Т.С., Темботов Р.Х., Хакунова Е.М. Оценка уровня биологической активности агрогенных и естественных черноземов Кабардино-Балкарии // Почвоведение. 2017. № 5. С. 614–623.
7. Горобцова О.Н., Хежева Ф.В., Улигова Т.С., Темботов Р.Х. Эколого-географические закономерности изменения биологической активности автоморфных почв равнинных и предгорных территорий северного макросклона Центрального Кавказа (в пределах Кабардино-Балкарии) // Почвоведение. 2015. № 3. С. 347–359.
8. Гусев Е.М., Джоган Л.Я. Мульчирование как важный элемент стратегии использования ресурсов естественного увлажнения в агроэкосистемах степного Крыма // Почвоведение. 2019. № 3. С. 348–354.
9. Даденко Е.В., Денисова Т.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Оценка применимости показателей ферментативной активности в биодиагностике и мониторинге почв // Поволжский экологический журн. 2013. № 4. С. 385–393.
10. Даденко Е.В., Мясникова М.А., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая активность чернозема обыкновенного при длительном



- использовании под пашню // Почвоведение. 2014. № 6. С. 724–733.  
<https://doi.org/10.7868/S0032180X14060021>
11. *Завалин А.А., Дридигер В.К., Белобров В.П., Юдин С.А.* Азот в черноземах при традиционной технологии обработки и прямом посеве (обзор) // Почвоведение. 2018. № 12. С. 1506–1516.
  12. *Звягинцев Д.Г.* Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей // Почвоведение. 1978. № 6. С. 48–54.
  13. Итоги Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 г. Т. 3: Земельные ресурсы и их использование. Федеральная служба гос. статистики. М.: ИИЦ “Статистика России”, 2018. 307 с.
  14. *Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В.* Методы диагностики наземных экосистем. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2016. 356 с.
  15. *Казеев К.Ш., Минникова Т.В., Мокриков Г.В., Мясникова М.А., Колесников С.И.* Оценка воздействия прямого посева на физические свойства черноземов Ростовской области // Агрофизика. 2019. № 2. С. 15–24.  
<https://doi.org/10.25695/AGRPH.2019.02.03>
  16. *Карелин Д.В., Горячкин С.В., Кудиков А.В., Лопес де Гереню В.О., Лунин В.Н., Долгих А.В., Люри Д.И.* Изменение запасов углерода и эмиссии CO<sub>2</sub> в ходе постагрогенной сукцессии растительности на серых почвах в Европейской части России // Почвоведение. 2017. № 5. С. 580–594.
  17. *Кечайкина И.О.* Постагрогенная трансформация органического вещества дерново-подзолистых почв // Почвоведение. 2011. № 10. С. 1178–1192.
  18. *Козут Б.М., Артемьева З.С., Кириллова Н.П., Яшин М.А., Сошникова Е.И.* Компонентный состав органического вещества воздушно-сухих и водостойчивых макроагрегатов типичного чернозема в условиях контрастного землепользования // Почвоведение. 2019. № 2. С. 161–170.
  19. *Кудяров В.Н.* Почвенно-биохимические аспекты состояния земледелия в Российской Федерации // Почвоведение. 2019. № 1. С. 109–121.
  20. *Лариков А.А., Казеев К.Ш.* Изменение ферментативной активности чернозема обыкновенного Ботанического сада ЮФУ при выращивании сельскохозяйственных культур // Изв. вузов. Сев.-Кав. регион. 2009. № 6. С. 52–54.
  21. *Люри Д.И., Карелин Д.В., Кудиков А.В., Горячкин С.В.* Изменение почвенного дыхания в ходе постагрогенной сукцессии на песчаных почвах в южной тайге // Почвоведение. 2013. № 9. С. 1060–1072.
  22. *Мясникова М.А., Казеев К.Ш., Ермолаева О.Ю., Черникова М.П., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Козунь Ю.С.* Биологические свойства разновозрастных постагрогенных черноземов Ростовской области // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 18. № 2(2). 2016. С. 452–456.
  23. *Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Розанова М.С.* Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов // Почвоведение. 2004. № 8. С. 918–926.
  24. *Русанов А.М., Булгакова М.А.* Экология естественного восстановления деградированных черноземов // Проблемы агрохимии и экологии. 2018. № 3. С. 65–69.
  25. *Русанов А.М., Тесля А.В.* Изменение основных свойств степных черноземов как результат их постагрогенной трансформации // Вестник Оренбургского государственного университета. 2012. № 6(142). С. 98–102.
  26. *Русанов А.М., Тесля А.В., Саягфарова А.М.* Восстановление гумусного состояния степных черноземов под многолетней залежью // Вестник Оренбургского государственного университета. 2011. № 12(131). С. 132–134.
  27. *Семенов В.М., Лебедева Т.Н., Паутова Н.Б.* Дисперсное органическое вещество в необрабатываемых и пахотных почвах // Почвоведение. 2019. № 4. С. 440–450.
  28. *Телеснина В.М., Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Овсепян Л.А., Личко В.И., Ермолаев А.М., Мирин Д.М.* Динамика свойств почв и состава растительности в ходе постагрогенного развития в разных биоклиматических зонах // Почвоведение. 2017. № 12. С. 1514–1534.
  29. *Трушков А.В., Одабабян М.Ю., Казеев К.Ш., Колесников С.И.* Изменение содержания органического вещества в постагрогенных почвах Ростовской области // Проблемы агрохимии и экологии. 2019. № 1. С. 53–57.  
<https://doi.org/10.26178/AE.2019.94.88.009>
  30. *Хазиев Ф.Х., Гулько А.Е.* Ферментативная активность почв агроценозов и перспективы ее изучения // Почвоведение. 1991. № 8. С. 88–103.
  31. *Холодов В.А., Ярославцева Н.В., Фарходов Ю.Р., Белобров В.П., Юдин С.А., Айдиев А.Я., Лазарев В.И., Фрид А.С.* Изменение соотношения фракций агрегатов в гумусовых горизонтах черноземов в различных условиях землепользования // Почвоведение. 2019. № 2. С. 184–193.
  32. *Щур А.В., Виноградов Д.В., Валько В.П.* Влияние различных уровней агроэкологических нагрузок на биохимические характеристики почвы // Юг России: экология, развитие. 2016. Т. 11. № 4. С. 139–148.
  33. *Acosta-Martinez V., Tabatabai M.A.* Enzyme activities in a limed agricultural soil // Biology and Fertility of Soils. 2000. V. 31(1). P. 85–91.  
<https://doi.org/10.1007/s003740050>
  34. *Bai Z., Caspari T., Gonzalez M.R., Batjes N.H., Mäder P., Bünemann E.K., Goede R., Brussaard L., Xud M., Ferreira S.C.S., Reintam E., Fang H., Mihelič R., Glavan M., Tóthi Z.* Effects of agricultural management practices on soil quality: A review of long-term experiments for Europe and China // Agriculture, Ecosystems and Environment. 2018. V. 265. P. 1–7.  
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.05.028>
  35. *Bandick A.K., Dick R.P.* Field management effects on soil enzyme activities // Soil Biology and Biochemistry. 1999. V. 31. P. 1471–1479.  
[https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(99\)00051-6](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00051-6)

36. Bronick C.J., Lal R. Soil structure and management. A review // *Geoderma*. 2005. V. 124. P. 3–22. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.03.005>
37. Bünemann E.K., Bongiorno G., Bai Z., Creamer R.E., De Deyn G., Goede R., Fleskens L., Geissen V., Kuyper T.W., Mäder P., Pulleman M., Sukkel W., van Groenigen J.W., Brussaard L. Soil quality – A critical review // *Soil Biology and Biochemistry*. 2018. V. 120. P. 105–125. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>
38. Burns R.G., DeForest Jared L., Jürgen M., Sinsabaugh R.L., Stromberger M.E., Wallenstein M.D., Weintraub M.N., Zoppini A. Soil enzymes in a changing environment: Current knowledge and future directions // *Soil Biology and Biochemistry*. 2013. V. 58. P. 216–234. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>
39. Kalinina O., Giani L., Goryachkin S.V., Lyuri D.I. Post-agrogenic development of vegetation, soils, and carbon stocks under self-restoration in different climatic zones of European Russia // *Catena*. 2015. V. 129. P. 18–29. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.02.016>
40. Papp R., Marinari S., Moscatelli M.C., van der Heijden M.G.A., Wittwer R., Campiglia E., Radicetti E., Mancinelli R., Fradgley N., Pearce B., Bergkvist G., Finckh M.R. Short-term changes in soil biochemical properties as affected by subsidiary crop cultivation in four European pedo-climatic zones // *Soil and Tillage Research*. 2018. V. 180. P. 126–136. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.02.019>
41. Raiesi F., Salek-Gilani S. The potential activity of soil extracellular enzymes as an indicator for ecological restoration of rangeland soils after agricultural abandonment // *Applied Soil Ecology*. 2018. V. 126. P. 140–147. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.02.022>
42. Rao M.A., Scelza R., Acevedo F., Diez M.C., Gianfreda L. Enzymes as useful tools for environmental purposes // *Chemosphere*. 2014. V. 107. P. 145–162. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.12.059>
43. Schwilch G., Bernet L., Fleskens L., Giannakis E., Leventon J., Marañón T., Mills J., Short C., Stolte J., van Delden H., Verzandvoort S. Operationalizing ecosystem services for the mitigation of soil threats: a proposed framework // *Ecological Indicators*. 2016. V. 67. P. 586–597. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.03.016>
44. Soane B.D., Ball B.C., Arvidsson J., Basch G., Moreno F., Roger-Estrade J. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment // *Soil and Tillage Research*. 2012. V. 118. P. 66–87. <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.10.015>
45. Xiao W., Chen X., Jing X., Zhu B. A meta-analysis of soil extracellular enzyme activities in response to global change // *Soil Biology and Biochemistry*. 2018. V. 123. P. 21–32. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.05.001>

## Postagrogenic Change of Enzyme Activity and Organic Carbon in Chernozem during the First 3 Years of Layland Regime

K. Sh. Kazeev<sup>1,\*</sup>, A. V. Trushkov<sup>1</sup>, M. Yu. Odabashyan<sup>1</sup>, and S. I. Kolesnikov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Southern Federal University, Rostov-on-Don, 344006 Russia*

\**e-mail: kamil\_kazeev@mail.ru*

Comprehensive studies of the biological status of ordinary chernozem (Haplic Chernozem (Loamic)) were carried out in the early years of the layland regime in comparison with its arable analogue, old layland and the reference virgin steppe soil. They included a field experiment on transferring the old arable plot with the ordinary chernozems in Botanical Garden of the Southern Federal University to layland. In this experiment, organic carbon and the activity of two classes of enzymes, oxidoreductases (catalases and dehydrogenases) and hydrolases ( $\beta$ -fructofuranosidase) were compared for land-use variants. The organic carbon content in the soil of the young layland increased already in the first year; it did not change significantly in subsequent years of plant cover restoration, and varied depending on the observation period during the growing season. The activity of the enzymes also increases in the first year of the layland regime and continued to recover throughout the time after the cessation of agricultural use. The catalase activity in the young layland soil was by 9% higher ( $p < 0.05$ ) than in the first year of research, the activity of dehydrogenases increased by 20% ( $p < 0.05$ ), and  $\beta$ -fructofuranosidase by 10% ( $p < 0.05$ ). However, the enzymatic activity was significantly lower than in the case of old layland and, especially, of the reference soil in the virgin steppe.

*Keywords:* agrogenic impact, plant restoration, bioindication, organic matter, biological activity