

Александр Анатольевич Белоусов<sup>1✉</sup>, Елена Николаевна Белоусова<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

<sup>1</sup>svoboda57130@mail.ru

<sup>2</sup>svobodalist571301858@mail.ru

## ОЦЕНКА ИНВЕРТАЗНОЙ АКТИВНОСТИ АГРОЧЕРНОЗЕМА ПРИ ПРИМЕНЕНИИ РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ

Цель исследования – изучить динамику инвертазной активности агрочерноземов и ее зависимость от свойств почв и агроэкологических условий агроландшафта при использовании отвального и поверхностных способов обработки в условиях Красноярской лесостепи. Наблюдения проводились в посевах производственного опыта, заложенного в СПК «Шилинское» в Красноярской лесостепи (56°37' с.ш. и 93°12' в.д). Методическим приемом, используемым в работе, являлось применение множественного корреляционного анализа с привлечением бета-коэффициента, позволяющим оценить вклад каждого изучаемого фактора. Почва опытного участка – чернозем выщелоченный многогумусный среднесиловый легкогоглинистый на красно-бурой глине. Полевые наблюдения проведены в следующих вариантах: 1 – зяблевая вспашка (отвальная); 2 – поверхностное дискование; 3 – прямой посев. В почве изучаемых вариантов опыта выявлен слабый («бедный») уровень инвертазной активности агрочернозема, что свидетельствует о дефиците дисахаридов в исследуемой почве. Характер пространственного варьирования биохимического гидролиза углеводов характеризовался высокими значениями. Значения активности инвертазы статистически значимо определялись временной динамикой гидротермических условий, причем характер этого влияния часто имел обратную зависимость: в прохладные отрезки вегетационных периодов уровень активности инвертазы повышался. Динамика инвертазной активности в условиях применения отвального плуга определялась трансформацией органических соединений, переходящих в водную вытяжку. При использовании минимальной и нулевой технологии обработки агрочернозема выявлено значимое воздействие фактора «температура» на ход инвертазной активности. В подсеменном слое почвы данных вариантов значимую роль в биохимической активности превращения углеводов выполняет подвижная фракция легкоминерализуемого органического вещества.

**Ключевые слова:** ферментативная активность почвы, инвертаза, безотвальные технологии обработки почвы

**Для цитирования:** Белоусов А.А., Белоусова Е.Н. Оценка инвертазной активности агрочернозема при применении ресурсосберегающих технологий обработки // Вестник КрасГАУ. 2025. № 6. С. 79–93. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-6-79-93.

Alexander Anatolyevich Belousov<sup>1✉</sup>, Elena Nikolaevna Belousova<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

<sup>1</sup>svoboda57130@mail.ru

<sup>2</sup>svobodalist571301858@mail.ru

## ASSESSMENT OF THE INVERTASE ACTIVITY OF AGROCHERNOZEM WHEN USING RESOURCE-SAVING PROCESSING TECHNOLOGIES

*The aim of the study is to investigate the dynamics of invertase activity of agrochernoze­ms and its dependence on soil properties and agroecological conditions of the agrolandscape using moldboard and surface tillage methods in the conditions of the Krasnoyarsk forest-steppe. Observations were carried out in crops of a production experiment laid out in the SPK Shilinskoye in the Krasnoyarsk forest-steppe (56°37' N and 93°12' E). The methodological approach used in the work was the use of multiple correlation analysis using the beta coefficient, which allows assessing the contribution of each studied factor. The soil of the experimental plot is leached high-humus chernozem, medium-deep, light clayey on red-brown clay. Field observations were carried out in the following variants: 1 – autumn plowing (moldboard); 2 – surface disking; 3 – direct seeding. In the soil of the studied experimental variants, a weak (poor) level of invertase activity of agrocherno­zem was revealed, which indicates a deficiency of disaccharides in the studied soil. The nature of spatial variation of biochemical hydrolysis of carbohydrates was characterized by high values. The values of invertase activity were statistically significantly determined by the temporal dynamics of hydrothermal conditions, and the nature of this influence often had an inverse relationship: in cool segments of the vegetation periods, the level of invertase activity increased. The dynamics of invertase activity under conditions of using a moldboard plow was determined by the transformation of organic compounds passing into the aqueous extract. When using minimum and zero technology of tillage of agrocherno­zem, a significant effect of the "temperature" factor on the course of invertase activity was revealed. In the sub-seed layer of the soil of these variants, a significant role in the biochemical activity of carbohydrate conversion is played by the mobile fraction of easily mineralized organic matter.*

**Keywords:** soil enzymatic activity, invertase, waste-free tillage technologies of soil cultivation

**For citation:** Belousov AA, Belousova EN. Assessment of the invertase activity of agrocherno­zem when using resource-saving processing technologies. *Bulletin of KSAU*. 2025;(6):79-93. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-6-79-93.

**Введение.** Технологии минимальной и нулевой почвозащитной обработки почвы относятся к числу особых и важных способов ресурсо-энергосбережения в земледелии. Их применение обеспечивает непосредственно в технологическом процессе производства продукции защиту почв как главного природного ресурса, снижение затрат труда и топлива, снижение энергоемкости и металлоемкости производства. Уменьшение негативного влияния механического рыхления на почву – важная проблема, стоящая перед земледельцем. Почвообрабатывающие орудия, разрыхляя верхний слой почвы, в зависимости от степени интенсивности воздействия изменяют практически все ее свойства. Поэтому для научно обоснованных рекомендаций применения новых систем обработки почвы очень важно расширять их всесторонние научные исследования [1].

В настоящее время мало изученным остается вопрос о влиянии минимизации обработки почвы на параметры биологической активности. Установление закономерностей ее дисперсии в агроландшафтах при длительном применении различных систем обработки почвы – необходимая

предпосылка оптимизации ее экологического состояния, обоснования рациональных технологий возделывания сельскохозяйственных культур [2–4]. Известно, что почвенные ферменты быстрее реагируют даже на несущественные флуктуации в педоценозе и отражают трансформации, происходящие в состоянии агропочв. Таким образом, диагностика почв по данным ферментативной активности в сравнении с микробиологическими показателями, к которым, например, относится численность микроорганизмов в почве, имеет значимые преимущества [5]. Особенно актуальными эти вопросы становятся в связи с экологизацией земледелия и внедрением нулевых обработок почвы, способных, по мнению ряда отечественных и зарубежных ученых, остановить потери основного органического вещества почвы – гумуса [6].

Агротехнические воздействия, изменяя свойства почвы, оказывают различное влияние на процессы проявления активности ферментов. Она неразрывно связана с теми агроэкологическими условиями, которые формируются в агроценозе в течение вегетационного сезона. Зная эти условия, можно в определенной степени

влиять на уровень активности различных ферментов, а, следовательно, и на элементы почвенного плодородия [7]. Задача состоит в том, чтобы фиксировать изменения, которые происходят в ферментативном комплексе при сельскохозяйственном использовании почв для выяснения роли ферментов с разной устойчивостью и локализацией в почвенном метаболизме и в целом в экологической стабильности биогеоценозов. Активность почвенных ферментов затрагивает важнейшие периодически повторяющиеся превращения в биогеохимическом цикле углерода, азота, фосфора, серы и других органогенных элементов и окислительно-восстановительные процессы. Накопленный в литературе экспериментальный материал однозначно иллюстрирует, что ферментативная активность отражает напряженность и направленность процессов биохимических превращений, протекающих в почве [8].

Стадия ферментативного превращения углеводов в почве представляет собой важнейшее звено круговорота углерода в природе. Ферментативное превращение углеводов обеспечивает передвижение поступающего в почву в огромных количествах органического материала и накопленной в нем энергии, а также аккумуляцию его в почве в форме гумуса, так как при этом образуются предгумусовые компоненты. Фермент, представляющий наибольший интерес в общем углеводородном обмене в почве, – активность инвертазы (сахаразы), так как имеет широкое распределение сахарозы во всех биологических организмах, являющимся потенциальным источником накопления ее в почве [9, 10].

Инвертаза участвует в расщеплении дисахаридов, она играет важную роль в формировании предгумусовой фракции из разлагающейся растительной и микробной массы. Активность инвертазы свидетельствует не только об интенсивности разложения углеводов в почве, но и о начале глубоких изменений ее свойств [11]. С точки зрения адаптивно-ландшафтного земледелия важно, что инвертазная активность является одним из наиболее стабильных показателей, раскрывающим достоверные корреляционные связи с агроэкологическими факторами. Так, например, имеются сведения о снижении активности ферментов углеводного обмена при распашке целинных почв [12]. Различные попытки оптимизации агроэкологических воздействий приводят к разнохарактерным изменениям уровня их активности. В связи со сложностью интерпретации данных энзиматической

активности в агроландшафтах, многофакторности, определяющей уровень и направленность их ферментного потенциала, возникает необходимость изучения вклада различных структурных элементов среды в параметры активности. Работ, посвященных исследованию обозначенной проблемы, недостаточно [13]. В условиях Красноярского региона, исследованиями ферментативной активности при агрогенном воздействии занимались [14–19]. Специфика условий почвообразования и особенности гидротермического режима вегетационных сезонов могут оказывать существенное влияние на характер динамики энзиматической активности, а, следовательно, на процессы биохимических превращений, протекающих в почве агроландшафтов. В связи с коротким периодом биологической активности, знание уровня активности фермента инвертазы позволит прогнозировать, как направленность условий для гумусообразования, так и процессов, связанных с микробиологической трансформацией органических соединений в минеральные. Таким образом, научно-исследовательская проблема – недостаток информации о том, как изменяется ферментативный пул почвы при смене и долгосрочном использовании ресурсосберегающих технологий обработки агрочерноземов. Эти сведения необходимы в связи с тем, что ферменты отражают напряженность реакций и циклов превращения элементов минерального питания.

**Цель исследования** – изучить динамику инвертазной активности агрочерноземов и ее зависимость от свойств почв и агроэкологических условий агроландшафта при использовании отвального и поверхностных способов обработки в условиях Красноярской лесостепи.

**Задачи:** оценить уровень и динамику инвертазной активности в сопряжении со свойствами агрочернозема, метеорологическими условиями на фоне разных приемов обработки; определить степень влияния исследуемых факторов на направленность процессов трансформации дисахаридов.

**Объекты и методы.** Полевые наблюдения проведены в СПК «Шилинское» в условиях производственного опыта в следующих вариантах: 1 – зяблевая вспашка (отвальная); 2 – поверхностное дискование; 3 – прямой посев.

*Зяблевая вспашка* проводилась в осенний период 2012 г. на глубину 20–22 см. Посев яровой пшеницы в 2013–2015 гг. проводился комбинированным агрегатом – стерневой сеялкой

СС-6 с одновременным припосевным внесением нитроаммофоски.

Поверхностное дискование почвы реализовывали при помощи СКС-3,2. Обработка почвы проводилась дисковыми горизонтальными сошниками посевного комплекса на глубину 4–5 см.

Делянки, где применялся *прямой посев*, обрабатывали баковой смесью из гербицидов «Топик» и «Ковбой», фунгицида «Альто Супер» и инсектицида «Карате». Использовали комбинированный агрегат СС-6 без предварительной подготовки почвы с механическим высевом семян.

Влияние ресурсосберегающих способов обработки почвы на продуктивность зерновых культур проводилось в течение семи-восьми лет.

Объект исследований – чернозем выщелоченный среднегумусный среднемощный силь-

носмый легкоголистый на красно-бурой глине, который характеризовался средним содержанием гумуса (5,9 %), нейтральной реакцией ( $pH_{H_2O} = 6,8$ ), высокой суммой поглощенных оснований (от 60 до 62 ммоль/100 г почвы). В производственных посевах отбирали почвенные пробы из слоев 0–5 и 5–20 см методом змейки в сроки, приуроченные к фазам онтогенеза полевых культур. Число учетных единиц в пределах делянки – 15 индивидуальных почвенных проб.

Согласно регламенту всемирной метеорологической организации (ВМО), климатическую норму учитывали за 30-летний период (1981–2010 гг.). Динамика метеорологических показателей, сформировавшихся на территории стационара, представлена в таблице 1.

Таблица 1

**Основные метеорологические показатели вегетационных сезонов**  
**The main meteorological indicators of the growing seasons**

| Год                                             | Месяц |      |      |        |          | Сумма за период<br>$\sum t > 10^{\circ}\text{C}$ |
|-------------------------------------------------|-------|------|------|--------|----------|--------------------------------------------------|
|                                                 | май   | июнь | июль | август | сентябрь |                                                  |
| Средняя температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$ |       |      |      |        |          |                                                  |
| 2013                                            | 7,2   | 15,0 | 18,6 | 16,5   | 6,5      | 1537                                             |
| 2014                                            | 6,8   | 16,0 | 19,2 | 15,9   | 6,5      | 1568                                             |
| 2015                                            | 10,9  | 17,0 | 19,9 | 16,5   | 7,9      | 1638                                             |
| Норма (1981–2010 гг.)                           | 9,5   | 17,5 | 19,1 | 16,4   | 8,9      | 1809                                             |
| Осадки, мм                                      |       |      |      |        |          |                                                  |
| 2013                                            | 103,8 | 60,2 | 50,5 | 93,9   | 58,7     | 367                                              |
| 2014                                            | 53,5  | 50,4 | 89,4 | 74,9   | 32,4     | 300                                              |
| 2015                                            | 30,9  | 32,6 | 68,5 | 62,9   | 75,4     | 270                                              |
| Норма (1981–2010 гг.)                           | 40    | 52   | 69   | 81     | 39       | 216                                              |
| ГТК                                             |       |      |      |        |          |                                                  |
| 2013                                            | 4,6   | 1,3  | 0,9  | 1,8    | 3,0      | 2,3                                              |
| 2014                                            | 2,5   | 1,0  | 1,5  | 1,5    | 1,6      | 1,9                                              |
| 2015                                            | 0,9   | 1,0  | 1,2  | 1,6    | 2,8      | 1,3                                              |
| Норма (1981–2010 гг.)                           | 1,3   | 1,0  | 1,2  | 1,6    | 1,4      | 1,3                                              |

Отличительными особенностями периода активной вегетации в 2013 г. были следующие. Температура воздуха оценивалась в среднем ниже нормы. Количество осадков превышало средние многолетние значения. Сезон 2014 г. выделялся большим накоплением тепла и соответствовал норме. Количество осадков неоднородно распределялось по сезону. На протяжении большинства месяцев теплого периода 2014 г. увлажнение было несколько выше нормы, но ниже, чем в предыдущий сезон. Погодные условия вегетационного периода 2015 г. в целом были более благоприятными для про-

дукционного процесса сельскохозяйственных культур. Фиксировалось значимое превышение среднемесячных температур относительно нормы. Количество выпавших осадков соответствовало средним многолетним значениям, за исключением июня, когда их значения были меньше нормы.

Химические и физико-химические показатели получены общепринятыми методами. В подготовленных образцах определяли органический углерод по Тюрину ( $C_{орг}$ ), подвижные гумусовые вещества экстрагировали последовательной обработкой навески почвы (5 г) дистиллированной

водой в соотношении 1 : 5 и 0.1 н NaOH в соотношении 1 : 20. Содержание углерода водорастворимого органического вещества ( $C_{H_2O}$ ) определяли по Тюрину, щелочнорастворимого углерода ( $C_{0.1NaOH}$ ) – по И.В. Тюрину в модификации В.В. Пономаревой, Т.А. Плотниковой [20], углерод микробной биомассы устанавливали путем пересчета скорости субстрат-индуцированного дыхания по формуле:  $C_{мб}$  (мкг С/г) = (мкл  $CO_2$ /г почвы/час) · 40,04 + 0,37 [21], структурный состав и содержание агрономически ценных фракций (АЦФ) почвы учитывали при естественной влажности по методу Н.И. Саввинова, плотность сложения ( $d_v$ ) – буровым методом по Н.А. Качинскому [22]. Инвертазную активность почвы определяли по А.Ш. Галстяну [23].

Статистический анализ данных проводили с использованием пакета программ MS Excel: для оценки зависимости между количественными показателями использовали критерий корреляции Пирсона; для сравнения средних по вариантам обработки почвы применяли t-тест на уровне значимости  $p < 0,05$ . Множественные уравнения регрессии получены с учетом пред-

варительного отбора (отсеивания) факторов для включения их в математическую модель. Исходили из правила о невозможности включать в модель факторы, тесно связанные друг с другом. Значения  $\beta$ -коэффициента показывали степень и направленность влияния вариации фактора  $x_i$  на вариацию результативного признака  $y$ , при отвлечении от сопутствующей вариации других факторов, входящих в уравнение, показатель  $\beta^2$  – долю влияния каждого фактора в отдельности на вариацию  $y$  (динамику активности инвертазы).

**Результаты и их обсуждение.** Многие десятилетия исследователей волнует проблема изменчивости и динамичности почвы. При организации исследований и интерпретации результатов возникает необходимость учета изменчивости почвенных свойств и почвы в целом. Оценивая статистические параметры динамики инвертазной активности в вариантах опыта при использовании отвальной вспашки в сезоне 2013 года, выделим наиболее важные и интересные моменты (табл. 2).

Таблица 2

**Статистические параметры активности и динамики инвертазы,  $t_{05} = 2,0$  (2013 г.)**  
**Statistical parameters of invertase activity and dynamics,  $t_{05} = 2,0$  (2013)**

| Варианты                 | Слой, см | Сроки       | $X \pm ts_x$ | S   | V, % | $t_\Phi$        |
|--------------------------|----------|-------------|--------------|-----|------|-----------------|
| Отвальная вспашка        | 0–5      | Май (1)     | 14,0±1,2     | 0,6 | 15,7 | $t_1t_2$ (7,6)  |
|                          |          | Июнь (2)    | 7,1±1,5      | 0,7 | 38   | $t_1t_3$ (7,8)  |
|                          |          | Октябрь (3) | 6,4±1,7      | 0,8 | 47   | $t_2t_3$ (0,6)  |
|                          | 5–20     | Май (1)     | 14,0±0,9     | 0,4 | 12   | $t_1t_2$ (9,6)  |
|                          |          | Июнь (2)    | 6,0±1,6      | 0,7 | 48   | $t_1t_3$ (14,5) |
|                          |          | Октябрь (3) | 5,1±1        | 0,5 | 35   | $t_2t_3$ (0,9)  |
| Поверхностное дискование | 0–5      | Май (1)     | 15,7±3,1     | 1,5 | 36   | $t_1t_2$ (2,9)  |
|                          |          | Июнь (2)    | 11,1±1,2     | 0,6 | 20   | $t_1t_3$ (–2,1) |
|                          |          | Октябрь (3) | 19,0±1,1     | 0,5 | 10   | $t_2t_3$ (–2,1) |
|                          | 5–20     | Май (1)     | 13,9±1,7     | 0,8 | 23   | $t_1t_2$ (6,5)  |
|                          |          | Июнь (2)    | 6,6±1,6      | 0,7 | 44   | $t_1t_3$ (–2,1) |
|                          |          | Октябрь (3) | 16,8         | 0,4 | 11   | $t_2t_3$ (–2,1) |
| Прямой посев             | 0–5      | Май (1)     | Нет          | –   | –    | Не опред.       |
|                          |          | Июнь (2)    | –            | –   | –    |                 |
|                          |          | Октябрь (3) | –            | –   | –    |                 |
|                          | 5–20     | Май (1)     | Нет          | –   | –    | Не опред.       |
|                          |          | Июнь (2)    | –            | –   | –    |                 |
|                          |          | Октябрь     | –            | –   | –    |                 |

Здесь и далее: жирным шрифтом выделены достоверные различия.

Максимальная активность инвертазы была зафиксирована в мае, как в слое 0–5 так и 5–20 см. В период уборки, в начале октября,

происходило существенное снижение биохимического потенциала разложения углеводов. Существенной информацией здесь является раз-

личия в уровне варьирования по месяцам. В начале вегетационного сезона степень изменчивости была средней в обоих исследуемых слоях (12–15 %). В июле, и далее, к октябрю, колеблемость значений существенно возрастала до значений 35–48 %. На наш взгляд, значи-

мая вариация в летне-осенний периоды могла быть связана с возможным варьированием поступающего органического вещества в составе корневых систем яровой пшеницы. Эти предположения подтверждаются данными корреляционного анализа (рис. 1).

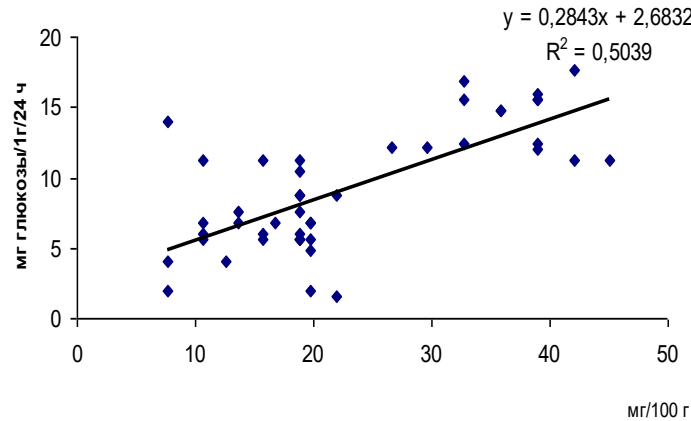


Рис. 1. Зависимость активности инвертазы и содержания водорастворимого органического вещества в условиях отвальной вспашки в слое 0–5 см, n = 45 (2013 г.)  
Dependence of invertase activity and the content of water-soluble organic matter under conditions of dump plowing in a layer of 0–5 cm, n = 45 (2013)

Выраженная в нашем опыте повышенная пестрота инвертазной активности агрочернозема является предметом дальнейшего изучения и может быть использована при поиске других зависимостей. При анализе вариабельности значений активности инвертазы в условиях минимальной обработки пик варьирования приходился на начало лета, а к осени происходило существенное снижение. Напротив, уровень

биохимических процессов, гидролизующих углеводы, к осени повышался на статистически значимую величину. Зависимость активности инвертазы от подвижного водорастворимого органического вещества была менее существенна, чем при отвальной вспашке (рис. 2).

Далее обратимся к анализу сезонного ритма активности инвертазы в сезоне 2014 г. (табл. 3).

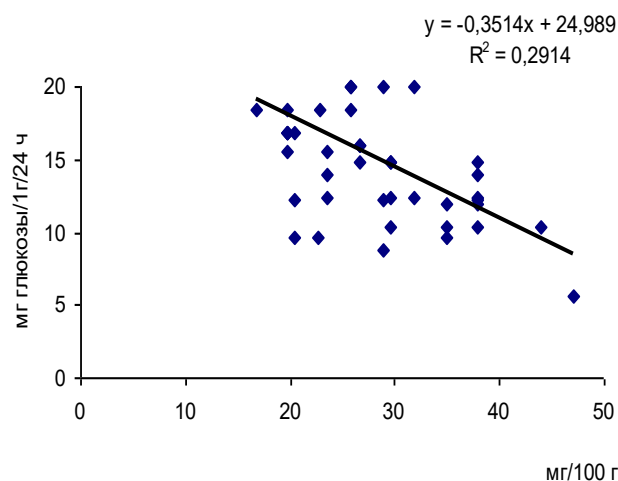


Рис. 2. Зависимость активности инвертазы и содержания водорастворимого органического вещества в условиях минимальной обработки в слое 0–5 см, n = 45 (2013 г.)  
Dependence of invertase activity and the content of water-soluble organic matter under conditions of dump plowing in a layer of 0–5 cm, n = 45 (2013)

Статистические параметры активности и динамики инвертазы,  $t_{05} = 2,0$  (2014 г.)  
 Statistical parameters of invertase activity and dynamics,  $t_{05} = 2,0$  (2014)

| Вариант                  | Слой, см | Сроки        | $X \pm ts_x$   | S    | V, % | $t_\phi$         |
|--------------------------|----------|--------------|----------------|------|------|------------------|
| Отвальная вспашка        | 0–5      | Июнь (1)     | $11,0 \pm 1,9$ | 0,9  | 31   | $t_1 t_2 (3,1)$  |
|                          |          | Июль (2)     | $7,2 \pm 1,2$  | 0,8  | 44   | $t_1 t_3 (0,8)$  |
|                          |          | Сентябрь (3) | $10,0 \pm 1,5$ | 0,7  | 28   | $t_2 t_3 (2,6)$  |
|                          | 5–20     | Июнь (1)     | $10,6 \pm 2,8$ | 1,3  | 48   | $t_1 t_2 (2,0)$  |
|                          |          | Июль (2)     | $7,7 \pm 2,3$  | 0,6  | 30   | $t_1 t_3 (2,0)$  |
|                          |          | Сентябрь (3) | $7,4 \pm 1,8$  | 0,8  | 45   | $t_2 t_3 (0,3)$  |
| Поверхностное дискование | 0–5      | Июнь (1)     | $3,3 \pm 2,2$  | 0,4  | 49   | $t_1 t_2 (3,8)$  |
|                          |          | Июль (2)     | $6,2 \pm 1,6$  | 0,7  | 46   | $t_1 t_3 (3,9)$  |
|                          |          | Сентябрь (3) | $6,0 \pm 1,1$  | 0,5  | 33   | $t_2 t_3 (0,2)$  |
|                          | 5–20     | Июнь (1)     | $2,0 \pm 0,02$ | 0,01 | 2    | $t_1 t_2 (3,9)$  |
|                          |          | Июль (2)     | $5,4 \pm 1,8$  | 0,8  | 61   | $t_1 t_3 (3,9)$  |
|                          |          | Сентябрь (3) | $4,6 \pm 1,6$  | 0,8  | 63   | $t_2 t_3 (3,3)$  |
| Прямой посев             | 0–5      | Июнь (1)     | $6,3 \pm 1,5$  | 0,7  | 44   | $t_1 t_2 (-0,8)$ |
|                          |          | Июль (2)     | $7,2 \pm 1,6$  | 0,8  | 40   | $t_1 t_3 (-4,3)$ |
|                          |          | Сентябрь (3) | $11,8 \pm 2,2$ | 1    | 35   | $t_2 t_3 (-3,5)$ |
|                          | 5–20     | Июнь (1)     | $6,6 \pm 1,9$  | 0,9  | 51   | $t_1 t_2 (-3,0)$ |
|                          |          | Июль (2)     | $9,7 \pm 1,2$  | 0,6  | 23   | $t_1 t_3 (0,4)$  |
|                          |          | Сентябрь (3) | $7,1 \pm 1,5$  | 0,7  | 38   | $t_2 t_3 (-2,8)$ |

Так же, как и годом ранее, в первый период наблюдений, на отвальной вспашке в слое 0–5 см динамика была более выраженной, чем в последующие периоды: от первого ко второму сроку наблюдений происходил достоверный спад активности. В сравнении с июньским сроком прошлого года, инвертазная активность возрастала.

В условиях применения минимальной обработки выявлена очень слабая инвертазная активность в июне. Далее, к середине лета и осени, биохимическая активность возрастала, хотя и соответствовала слабому уровню. Все изменения динамики активности были статистически значимы. Интересно отметить, что при отказе от механического перемешивания почвы (прямой посев), в сравнении с минимальной, в слое 0–5 и 5–20 см происходило существенное увеличение активности инвертазы. Особенно значимо это было выражено для сентябрьского периода наблюдений. По уровню варьирования, вариант

с прямым посевом, также отличался более низкими значениями вариации в сравнении с почвой, обрабатываемой минимально.

В 2015 г. наименьшей колеблемостью инвертазной активности характеризовалась почва, обрабатываемая отвальным плугом. По-видимому, здесь формировались однородные условия для проявления гидролиза углеводов в течение всего периода вегетации яровой пшеницы. При применении минимальной технологии динамические изменения были выражены сильнее в слое 5–20 см с максимумом в июле, так же, как и в слое 0–5 см. Это свидетельствовало о зависимости активности инвертазы от температурного фактора, в сравнении с двумя другими сравниваемыми вариантами. Использование нулевой технологии вызывало максимальную изменчивость динамики инвертазной активности. Причем нарастание активности наблюдалось к осеннему периоду (табл. 4).

Статистические параметры активности и динамики инвертазы,  $t_{05} = 2,0$  (2015 г.)  
 Statistical parameters of invertase activity and dynamics,  $t_{05} = 2,0$  (2015)

| Варианты                 | Слой, см | Сроки        | $X \pm t_{sx}$ | V, % | $t_{\Phi}$       |
|--------------------------|----------|--------------|----------------|------|------------------|
| Отвальная вспашка        | 0–5      | Июнь (1)     | $16,5 \pm 1,2$ | 24,5 | $t_1 t_2$ (3,7)  |
|                          |          | Июль (2)     | $12,5 \pm 0,9$ | 10,8 | $t_1 t_3$ (1,9)  |
|                          |          | Сентябрь (3) | $14,2 \pm 1,1$ | 21,0 | $t_2 t_3$ (1,9)  |
|                          | 5–20     | Июнь (1)     | $12,8 \pm 0,6$ | 16,1 | $t_1 t_2$ (0,8)  |
|                          |          | Июль (2)     | $12,4 \pm 0,7$ | 9,6  | $t_1 t_3$ (0,4)  |
|                          |          | Сентябрь (3) | $12,2 \pm 1,2$ | 8,8  | $t_2 t_3$ (1,2)  |
| Поверхностное дискование | 0–5      | Июнь (1)     | $11,9 \pm 1,0$ | 9,3  | $t_1 t_2$ (3,2)  |
|                          |          | Июль (2)     | $14,4 \pm 0,9$ | 17,8 | $t_1 t_3$ (1,1)  |
|                          |          | Сентябрь (3) | $13,2 \pm 0,8$ | 18,7 | $t_2 t_3$ (1,9)  |
|                          | 5–20     | Июнь (1)     | $9,4 \pm 0,8$  | 25,6 | $t_1 t_2$ (4,4)  |
|                          |          | Июль (2)     | $12,7 \pm 1,4$ | 13,3 | $t_1 t_3$ (4,0)  |
|                          |          | Сентябрь (3) | $9,9 \pm 1,6$  | 23,5 | $t_2 t_3$ (0,4)  |
| Прямой посев             | 0–5      | Июнь (1)     | $6,4 \pm 0,6$  | 41,0 | $t_1 t_2$ (3,3)  |
|                          |          | Июль (2)     | $3,6 \pm 0,3$  | 62,8 | $t_1 t_3$ (9,4)  |
|                          |          | Сентябрь (3) | $10,4 \pm 0,8$ | 18,3 | $t_2 t_3$ (4,9)  |
|                          | 5–20     | Июнь (1)     | $5,6 \pm 1,0$  | 45,0 | $t_1 t_2$ (4,8)  |
|                          |          | Июль (2)     | $2,2 \pm 0,8$  | 58,7 | $t_1 t_3$ (11,8) |
|                          |          | Сентябрь (3) | $6,3 \pm 0,9$  | 5,8  | $t_2 t_3$ (1,1)  |

Таким образом, обобщая обсуждаемые параметры динамики инвертазной активности, можно выделить следующие факты. В сезоне 2013 г. в целом уровень инвертазной активности был выше, чем в 2014 г., а в 2015 г. активность была существенно выше предыдущего периода вегетации. За обсуждаемые годы исследований уровень активности инвертазы во всех вариантах опыта оценивался как «бедный» вследствие укороченного периода с оптимальными условиями для жизнедеятельности микроорганизмов. Полученные нами данные согласуются с результатами длительных экспериментов [24]. По данным авторов, процессы разложения растительных остатков и образование гумусовых веществ в почвах Красноярской лесостепи протекают в течение короткого времени, и этот период приходится на июль-август. Кроме того, одним из факторов, обусловившим слабую инвертазную активность являлся химический состав растительного материала зерновых культур, поступавшего в почву в период исследований. Широкое отношение C : N и преобладание в составе растительных тканей трудногидроли-

зуемых компонентов: целлюлозы, лигнина, фенольных соединений сопровождается депрессией активности протекающих биологических процессов в почве. Как следствие – дефицит дисахаридов, как субстрата для проявления активности инвертазы.

Выявленные различия динамики инвертазной активности являются результатом влияния комплекса факторов – гидротермических, химических и агрофизических свойств исследуемой почвы. Именно поэтому системный анализ ферментативной активности, то есть в связи с другими компонентами и свойствами почвы, а также теми метеорологическими факторами, которые участвовали в формировании данной почвы, дает возможность вскрывать и понимать механизмы создания определенного ферментативного уровня почвы, осуществления ферментативных процессов. Матрицы парных коэффициентов корреляции позволили установить зависимости между изученными в данной работе переменными (факторами) в слоях 0–5 (табл. 5) и 5–20 см (табл. 6).

Матрица парных коэффициентов корреляции в агрочерноземе между динамикой инвертазной активности, свойствами почв и гидротермическими условиями (0–5 см), n = 45  
 Matrix of paired correlation coefficients in agrochernozem between the dynamics of invertase activity, soil properties and hydrothermal conditions (0–5 cm), n = 45

|                          | Инвертаза      | C <sub>H2O</sub> | C <sub>NaOH</sub> | Смб   | $\frac{Смб}{Сорг}$ | Сорг  | T     | W     | Осадки | АЦФ   | dv   |
|--------------------------|----------------|------------------|-------------------|-------|--------------------|-------|-------|-------|--------|-------|------|
| Отвальная обработка      |                |                  |                   |       |                    |       |       |       |        |       |      |
| Инвертаза                | 1,00           | –                | –                 | –     | –                  | –     | –     | –     | –      | –     | –    |
| C <sub>H2O</sub>         | <b>0,83***</b> | 1,00             | –                 | –     | –                  | –     | –     | –     | –      | –     | –    |
| C <sub>NaOH</sub>        | 0,44           | 0,25             | 1,00              | –     | –                  | –     | –     | –     | –      | –     | –    |
| Смб                      | –0,34          | –0,27            | 0,57              | 1,00  | –                  | –     | –     | –     | –      | –     | –    |
| Смб/Сорг                 | –0,21          | –0,19            | 0,35              | 0,49  | 1,00               | –     | –     | –     | –      | –     | –    |
| Сорг                     | 0,32           | 0,48             | –0,50             | –0,77 | –0,13              | 1,00  | –     | –     | –      | –     | –    |
| T                        | –0,09          | –0,23            | 0,14              | 0,37  | –0,11              | –0,73 | 1,00  | –     | –      | –     | –    |
| W                        | –0,41          | –0,24            | –0,24             | –0,13 | 0,31               | 0,40  | –0,81 | 1,00  | –      | –     | –    |
| Осадки                   | –0,24          | –0,03            | –0,27             | 0,19  | 0,55               | 0,15  | 0,07  | 0,11  | 1,00   | –     | –    |
| АЦФ                      | 0,41           | 0,38             | –0,03             | –0,21 | –0,29              | –0,01 | 0,29  | –0,32 | 0,11   | 1,00  | –    |
| d <sub>v</sub>           | 0,05           | 0,01             | –0,02             | –0,05 | –0,76              | –0,31 | 0,45  | –0,57 | –0,64  | –0,11 | 1,00 |
| Поверхностное дискование |                |                  |                   |       |                    |       |       |       |        |       |      |
| Инвертаза                | 1,00           | –                | –                 | –     | –                  | –     | –     | –     | –      | –     | –    |
| C <sub>H2O</sub>         | –0,31          | 1,00             | –                 | –     | –                  | –     | –     | –     | –      | –     | –    |
| C <sub>NaOH</sub>        | –0,10          | 0,27             | 1,00              | –     | –                  | –     | –     | –     | –      | –     | –    |
| Смб                      | <b>–0,65</b>   | 0,08             | 0,59              | 1,00  | –                  | –     | –     | –     | –      | –     | –    |
| Смб/Сорг                 | 0,32           | –0,72            | 0,24              | 0,12  | 1,00               | –     | –     | –     | –      | –     | –    |
| Сорг                     | <b>0,52</b>    | 0,43             | –0,17             | –0,60 | –0,50              | 1,00  | –     | –     | –      | –     | –    |
| T                        | <b>–0,60</b>   | –0,05            | –0,52             | 0,23  | –0,50              | –0,20 | 1,00  | –     | –      | –     | –    |
| W                        | 0,41           | 0,56             | 0,40              | –0,15 | –0,02              | 0,47  | –0,72 | 1,00  | –      | –     | –    |
| Осадки                   | 0,09           | 0,55             | 0,03              | –0,30 | –0,58              | 0,69  | 0,07  | 0,34  | 1,00   | –     | –    |
| АЦФ                      | –0,39          | –0,06            | –0,60             | –0,06 | –0,03              | –0,25 | 0,32  | –0,19 | –0,37  | 1,00  | –    |
| d <sub>v</sub>           | <b>–0,50</b>   | –0,07            | –0,45             | 0,18  | –0,29              | –0,13 | 0,68  | –0,68 | –0,32  | 0,44  | 1,00 |
| Прямой посев             |                |                  |                   |       |                    |       |       |       |        |       |      |
| Инвертаза                | 1,00           | –                | –                 | –     | –                  | –     | –     | –     | –      | –     | –    |
| C <sub>H2O</sub>         | <b>0,68</b>    | 1,00             | –                 | –     | –                  | –     | –     | –     | –      | –     | –    |
| C <sub>NaOH</sub>        | <b>0,61</b>    | 0,49             | 1,00              | –     | –                  | –     | –     | –     | –      | –     | –    |
| Смб                      | –0,17          | –0,07            | –0,30             | 1,00  | –                  | –     | –     | –     | –      | –     | –    |
| Смб/Сорг                 | –0,26          | –0,21            | –0,37             | 0,95  | 1,00               | –     | –     | –     | –      | –     | –    |
| Сорг                     | 0,43           | 0,61             | 0,34              | –0,08 | –0,37              | 1,00  | –     | –     | –      | –     | –    |
| T                        | <b>–0,78</b>   | –0,35            | –0,20             | –0,24 | –0,24              | –0,07 | 1,00  | –     | –      | –     | –    |
| W                        | 0,42           | 0,13             | 0,03              | 0,21  | 0,11               | 0,30  | –0,64 | 1,00  | –      | –     | –    |
| Осадки                   | 0,15           | 0,61             | 0,41              | 0,11  | –0,08              | 0,61  | 0,07  | 0,17  | 1,00   | –     | –    |
| АЦФ                      | <b>–0,80</b>   | –0,73            | –0,48             | 0,37  | 0,52               | –0,72 | 0,53  | –0,42 | –0,41  | 1,00  | –    |
| d <sub>v</sub>           | –0,12          | 0,09             | 0,37              | –0,51 | –0,41              | –0,20 | 0,33  | –0,41 | 0,39   | –0,04 | 1,00 |

Примечание: T – температура, °C; W – осадки, мм; жирным шрифтом выделены достоверные зависимости.

Таблица 6

Матрица парных коэффициентов корреляции в агрочерноземе между динамикой инвертазной активности, свойствами почв и гидротермическими условиями (5–20 см), n = 45  
 Matrix of paired correlation coefficients in agrochernozem between the dynamics of invertase activity, soil properties and hydrothermal conditions (5–20 cm), n = 45

|                                   | Инвертаза    | C <sub>H2O</sub> | C <sub>NaOH</sub> | C <sub>мб</sub> | $\frac{C_{мб}}{C_{орг}}$ | C <sub>орг</sub> | T*    | W**   | Осадки | АЦФ   | dv   |
|-----------------------------------|--------------|------------------|-------------------|-----------------|--------------------------|------------------|-------|-------|--------|-------|------|
| Отвальная обработка               |              |                  |                   |                 |                          |                  |       |       |        |       |      |
| Инвертаза                         | 1,00         | –                | –                 | –               | –                        | –                | –     | –     | –      | –     | –    |
| C <sub>H2O</sub>                  | <b>0,66</b>  | 1,00             | –                 | –               | –                        | –                | –     | –     | –      | –     | –    |
| C <sub>NaOH</sub>                 | 0,44         | 0,15             | 1,00              | –               | –                        | –                | –     | –     | –      | –     | –    |
| C <sub>мб</sub>                   | 0,16         | 0,31             | 0,58              | 1,00            | –                        | –                | –     | –     | –      | –     | –    |
| C <sub>мб</sub> /C <sub>орг</sub> | <b>0,53</b>  | 0,82             | 0,32              | 0,59            | 1,00                     | –                | –     | –     | –      | –     | –    |
| C <sub>орг</sub>                  | –0,14        | –0,02            | –0,15             | –0,69           | –0,33                    | 1,00             | –     | –     | –      | –     | –    |
| T                                 | 0,06         | 0,16             | –0,12             | 0,53            | 0,33                     | –0,78            | 1,00  | –     | –      | –     | –    |
| W                                 | –0,26        | –0,32            | 0,27              | –0,33           | –0,45                    | 0,72             | –0,91 | 1,00  | –      | –     | –    |
| Осадки                            | –0,15        | 0,32             | –0,19             | 0,14            | 0,48                     | 0,20             | 0,07  | –0,12 | 1,00   | –     | –    |
| АЦФ                               | 0,14         | 0,53             | –0,12             | 0,45            | 0,34                     | –0,18            | 0,25  | –0,24 | 0,35   | 1,00  | –    |
| dv                                | 0,20         | –0,17            | –0,37             | –0,16           | –0,30                    | –0,43            | 0,56  | –0,58 | –0,47  | –0,03 | 1,00 |
| Поверхностное дискование          |              |                  |                   |                 |                          |                  |       |       |        |       |      |
| Инвертаза                         | 1,00         | –                | –                 | –               | –                        | –                | –     | –     | –      | –     | –    |
| C <sub>H2O</sub>                  | <b>–0,76</b> | 1,00             | –                 | –               | –                        | –                | –     | –     | –      | –     | –    |
| C <sub>NaOH</sub>                 | <b>–0,66</b> | 0,37             | 1,00              | –               | –                        | –                | –     | –     | –      | –     | –    |
| C <sub>мб</sub>                   | –0,34        | 0,79             | –0,21             | 1,00            | –                        | –                | –     | –     | –      | –     | –    |
| C <sub>мб</sub> /C <sub>орг</sub> | 0,38         | –0,05            | –0,44             | 0,37            | 1,00                     | –                | –     | –     | –      | –     | –    |
| C <sub>орг</sub>                  | 0,49         | –0,36            | –0,93             | 0,15            | 0,43                     | 1,00             | –     | –     | –      | –     | –    |
| T                                 | <b>–0,55</b> | 0,51             | 0,01              | 0,38            | –0,21                    | 0,01             | 1,00  | –     | –      | –     | –    |
| W                                 | 0,28         | –0,26            | –0,26             | –0,06           | 0,03                     | 0,37             | –0,70 | 1,00  | –      | –     | –    |
| Осадки                            | –0,01        | –0,16            | –0,51             | 0,19            | 0,33                     | 0,74             | 0,07  | 0,37  | 1,00   | –     | –    |
| АЦФ                               | 0,07         | –0,26            | –0,06             | –0,35           | –0,24                    | –0,04            | 0,58  | –0,79 | –0,16  | 1,00  | –    |
| dv                                | <b>–0,49</b> | 0,30             | 0,48              | –0,19           | –0,53                    | –0,41            | 0,61  | –0,60 | –0,41  | 0,49  | 1,00 |
| Прямой посев                      |              |                  |                   |                 |                          |                  |       |       |        |       |      |
| Инвертаза                         | 1,00         | –                | –                 | –               | –                        | –                | –     | –     | –      | –     | –    |
| C <sub>H2O</sub>                  | <b>0,75</b>  | 1,00             | –                 | –               | –                        | –                | –     | –     | –      | –     | –    |
| C <sub>NaOH</sub>                 | 0,43         | 0,50             | 1,00              | –               | –                        | –                | –     | –     | –      | –     | –    |
| C <sub>мб</sub>                   | –0,06        | 0,06             | –0,57             | 1,00            | –                        | –                | –     | –     | –      | –     | –    |
| C <sub>мб</sub> /C <sub>орг</sub> | –0,19        | –0,09            | –0,74             | 0,97            | 1,00                     | –                | –     | –     | –      | –     | –    |
| C <sub>орг</sub>                  | 0,49         | 0,48             | 0,80              | –0,17           | –0,42                    | 1,00             | –     | –     | –      | –     | –    |
| T                                 | <b>–0,53</b> | –0,58            | 0,09              | –0,51           | –0,45                    | –0,04            | 1,00  | –     | –      | –     | –    |
| W                                 | 0,33         | 0,28             | 0,05              | 0,05            | 0,01                     | 0,14             | –0,67 | 1,00  | –      | –     | –    |
| Осадки                            | 0,15         | 0,37             | 0,56              | –0,17           | –0,30                    | 0,61             | 0,07  | 0,24  | 1,00   | –     | –    |
| АЦФ                               | <b>–0,51</b> | –0,81            | –0,54             | –0,13           | 0,04                     | –0,55            | 0,60  | –0,24 | –0,40  | 1,00  | –    |
| dv                                | –0,38        | –0,32            | 0,02              | –0,05           | 0,01                     | –0,20            | –0,22 | 0,44  | –0,06  | –0,04 | 1,00 |

Для учета степени их влияния был использован множественный регрессионный анализ с применением показателя –  $\beta$ -коэффициента. В уравнения включены компоненты, опреде-

ливающие ход динамики инвертазной активности агрочернозема в вегетационных сезонах 2013–2015 гг. (табл. 7).

**Зависимость динамики инвертазной активности от исследуемых факторов, n = 45**  
**Dependence of the dynamics of invertase activity on the studied factors, n = 45**

| Способ обработки почвы   | Слой, см | Уравнение регрессии                                                                                                                          |
|--------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Отвальная                | 0-5      | $y = -5,50 + 0,28 (C_{H_2O}) + 0,01 (C_{NaOH}) + 0,051 (AЦФ)$<br>$\beta^2 =$ <b>48,0</b> 7,7      2,4<br>$R = 0,87; R^2 = 0,76; p < 0,00045$ |
|                          | 5-20     | $y = -3,654 + 0,286 (C_{H_2O}) - 0,011 (C_{NaOH})$<br>$\beta^2 =$ <b>36,8</b> 12,0<br>$R = 0,74; R^2 = 0,55; p < 0,002$                      |
| Поверхностное дискование | 0-5      | $y = 19,767 - 0,023 (C_{мб}) - 0,338 (T)$<br>$\beta^2 =$ <b>28,1</b> <b>22,6</b><br>$R = 0,80; R^2 = 0,64; p < 0,0005$                       |
|                          | 5-20     | $y = 37,051 - 0,049 (C_{NaOH}) - 0,366 (T)$<br>$\beta^2 =$ <b>43,6</b> <b>30,2</b><br>$R = 0,86; R^2 = 0,74; p < 0,00004$                    |
| Прямой посев             | 0-5      | $y = 8,252 - 0,23 (T) + 0,03 (AЦФ)$<br>$\beta^2 =$ <b>39,7</b> 3,6<br>$R = 0,55; R^2 = 0,3; p < 0,05$                                        |
|                          | 5-20     | $y = -0,104 + 0,183 (C_{H_2O}) + 0,001 (C_{опг})$<br>$\beta^2 =$ <b>44,9</b> 2,6<br>$R = 0,76; R^2 = 0,58; p < 0,001$                        |

*Примечание:*  $y$  – динамика инвертазной активности, мг глюкозы / 1 г / сут;  $\beta^2$  – доля влияния каждого фактора в отдельности на вариацию  $y$ , %;  $R$  – коэффициент множественной корреляции;  $R^2$  – коэффициент множественной детерминации;  $p$  – уровень значимости; жирным выделено статистически достоверное влияние.

Как видим, при применении отвальной обработки динамика инвертазной активности определялась трансформацией органических соединений переходящих в водную вытяжку. По-видимому, вспашка с оборотом пласта формировала оптимальную аэрацию корнеобитаемого слоя, с равномерным распределением растительного материала, способствуя крошению почвенной массы и преобладанию отдельностей диаметром 2–1 мм [25]. Как следствие, физическая защищенность субстрата ослабевала, способствуя его большей доступности для ферментов. Отсюда следует, что использование отвальной обработки существенно влияло на процессы высвобождения водорастворимого органического вещества, которое, в свою очередь, являлось доступным субстратом для инвертазы. Однако, в силу незначительной доли  $C_{H_2O}$  в почве, его быстрой минерализации, а также способности быстро трансформироваться, отклик инвертазы на этот субстрат может быть кратковременным. Поэтому с точки зрения биологизации земледелия инте-

ресно было оценить влияние минимальных обработок почвы на динамику активности инвертазы через оценку доли влияния факторов, формирующихся при этих технологиях.

Замена плуга на дисковые орудия выявила значимое воздействие фактора «температура» на ход инвертазной активности. По данным [26], под покровом мульчи температура почвы снижается в интервале 1–3 °С, а в периоды с высокими среднесуточными температурами данное условие может предопределять скорость ферментативных реакций. Учитывая, что оптимальным уровнем для проявления инвертазной активности считается диапазон 18–22 °С, вероятно понижение температуры и увеличение влажности почвы под слоем мульчирующего материала способствовало усилению гидролиза дисахаридов. При этом в слое 0–5 см происходил активный лизис микробных клеток под влиянием гидротермического «стресса», способствуя усилению влияния углеводного содержимого микроорганизмов на активность инвертазы. Более

того, поверхностный слой почвы в течение вегетационного сезона подвержен влиянию различных экологических факторов. По-мнению [27], микроорганизмы в таких условиях могут переходить на экономный режим функционирования, снижать свою ферментпродуцирующую активность и разлагать потенциально доступные органические вещества.

В нижележащем, 5–20 см слое достоверное влияние на гидролиз углеводсодержащих соединений оказывали новообразованные гумусовые соединения и температура. Таким образом, при использовании поверхностного дискования термические условия являются весьма существенным фактором активности инвертазы. Также, несомненно, подтверждается положительная роль минимизации обработки агрочернозема в формировании пула подвижного органического вещества и его влиянии на биохимическую активность почвы. По полученным нами данным, в подсеменном слое наблюдалось увеличение отдельностей размером 10–7, 7–5, 5–3 мм, что повышало защищенность органических соединений и пространственную недостижимость углеводов для микроорганизмов и ферментов в данном слое.

Отсутствие механического воздействия на почву (прямой посев) в течение восьми-десяти лет обнаружило увеличение доли вклада фактора «температура» на инвертазной активности. Вероятно, микроклимат в надсеменном слое почвы был менее благоприятен для разложения растительных остатков, чем внутри почвы. Очевидно, формирование слоя мульчи при долговременной нулевой обработке и обогащение

0–5 см слоя почвы кислородом активизировало почвенную микрофлору и индуцировало синтез инвертазы в слое 5–20 см за счет поступающих водорастворимых органических соединений.

**Заключение.** Уровень инвертазной активности агрочернозема во всех вариантах опыта оценивается как бедный. Динамика активности инвертазы была выражена на всех вариантах обработки и оценивалась статистически значимыми величинами. Способ обработки почвы оказал разнонаправленное влияние на степень гидролиза углеводов. Динамика инвертазной активности в условиях применения отвального плуга определялась трансформацией органических соединений переходящих в водную вытяжку. При использовании минимальной и нулевой технологии обработки агрочернозема выявлено значимое воздействие фактора «температура» на ход инвертазной активности. В подсеменном слое почвы данных вариантов значимую роль в биохимической активности превращения углеводов выполняет подвижная фракция легкоминерализуемого органического вещества. Рекомендации производству: слабый уровень инвертазной активности свидетельствует о необходимости введения в севообороты сельскохозяйственных предприятий полевые культуры, способствующие накоплению легкоминерализуемых органических соединений, в том числе легкодоступных углеводов в почве (бобовые, крестоцветные). При возделывании зерновых культур для повышения активности инвертазы рекомендуется использовать бесплужные приемы обработки почвы, формирующие мульчирующий слой.

#### Список источников

1. Дридигер В.К., Иванов А.Л., Кулинцев В.В., и др. Чернозем обыкновенный. Прямой посев, Ставропольский край. Опыт, две ротации: монография. Ставрополь: Сервисшкола, 2024. 356 с. EDN: PUQIMB.
2. Зинченко М.К., Зинченко С.И. Ферментативная активность серой лесной почвы при различных приемах основной обработки // Достижение науки и техники АПК. 2021. № 4. С.17–21. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10402.
3. Зинченко М.К., Зинченко С.И., Автономова И.Н. Влияние технологий основной обработки на ферментативную активность серой лесной почвы Верхневолжья // Владимирский земледелец. 2023. № 4. С. 24–28. DOI: 10.24412/2225-2584-2023-4106-24-28.
4. Ильбулова Г.Р., Суюндуков Я.Т., Семенова И.Н., и др. Влияние ресурсосберегающей технологии No-till на агрофизические и биологические свойства чернозема обыкновенного Башкирского Зауралья // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, № 4. С. 66–71. DOI: 10.53859/02352451\_2022\_36\_4\_66.

5. Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В. Влияние технологии No-Till на эколого-биологическое состояние почв. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федер. ун-та, 2017. 140 с. EDN: YNVWXXO.
6. Марковская Г.К. Влияние минимализации обработки почвы на ферментативную активность чернозема обыкновенного в лесостепи Среднего Поволжья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 5 (67). С. 195–197. EDN: ZSMKSL.
7. Хазиев Ф.Х. Экологические связи ферментативной активности почв // Экобиотех. 2018. Т. 1, № 2. С. 80–92. DOI: 10.31163/2618-964X-2018-1-2-80-92.
8. Хазиев Ф.Х. Функциональная роль ферментов в почвенных процессах // Вестник Академии наук РБ. 2015. Т. 20, № 2 (78). С. 14–24. EDN: UCKRTV.
9. Ильбулова Г.Р., Суюндуков Я.Т., Сафин Х.М., и др. Оценка ферментативной активности почв Зауралья республики Башкортостан при различных системах обработки почв // Экологический Вестник Северного Кавказа. 2021. Т. 17, № 1. С. 19–24. EDN: SIBJLQ.
10. Минникова Т.В., Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., и др. Влияние сельскохозяйственных культур на ферментативную активность черноземов Ростовской области при использовании различных агротехнологий // Агрохимия. 2020. № 10. С. 20–27. DOI: 10.31857/S0002188120100051.
11. Даденко Е.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Ростов-на-Дону. Методы определения ферментативной активности почв. Таганрог: Изд-во Южного федерального университета, 2021. 176 с. EDN: VWJVKG.
12. Безменко А.А. Оптимизация основной обработки серой лесной почвы под яровую пшеницу в условиях Владимирского ополья: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 2014. 19 с.
13. Товстик Е.В., Олькова А.С. Оценка влияния факторов абиотической природы на ферментативную активность почвы // Экобиотех. 2021. Том 4, № 2. С. 128–134. DOI: 10.31163/2618-964X-2021-4-2-128-134.
14. Попова Э.П. Биологическая активность почв Красноярской лесостепи: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Красноярск, 1969. 30 с.
15. Полонская Д.Е. Микробиологический мониторинг состояния экосистем земледельческой части Красноярского края: автореф. дисс. д-ра биол. наук. Красноярск, 2002. 31 с. EDN: QDQCYD.
16. Фомина Н.В. Микробиологическая диагностика почв лесных питомников Красноярского края. Красноярск: Краснояр. гос. аграр. ун-т. 2008. 144 с. EDN: QKREGB.
17. Белоусов А.А. Ферментативная активность чернозема обыкновенного в звеньях севооборота и целине // Вестник КрасГАУ. 2001. № 7. С. 93–100. EDN: HTHPGG.
18. Белоусов А.А., Белоусова Е.Н. Сезонная динамика водорастворимого органического вещества чернозема выщелоченного в условиях почвозащитных технологий // Вестник КрасГАУ. 2017. № 9 (132). С. 134–139. EDN: ZITVOR.
19. Белоусова Е.Н., Белоусов А.А. Влияние почвозащитных технологий на содержание подвижного органического вещества и ферментативную активность почвы // Агрохимия. 2022. № 5. С. 30–37. DOI: 10.31857/S0002188122040044. EDN: NHUWOQ.
20. Воробьева Л.А. Теория и практика химического анализа почв. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
21. Anderson J.P.E., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biology and Biochemistry. 1978. Vol. 10, № 3, P. 215–221.
22. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв: учебное пособие. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
23. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.
24. Бугаков П.С., Чупрова В.В., Шугалей Л.С., и др. Итоги изучения режимов почв Красноярской лесостепи / В сб. Специфика почвообразования в Сибири. Новосибирск, Наука, 1979. С. 257–267.
25. Белоусова Е.Н. Влияние почвозащитных технологий на плотность и твердость чернозема выщелоченного // Вестник КрасГАУ. 2015. № 1 (110). С. 3–9. EDN: UXKECZ.
26. Шарков И.Н., Данилова А.А., Колбин С.А., и др. Особенности минерализации почвенного азота при минимизации зяблевой обработки выщелоченного чернозема в Западной Сибири // Агрохимия. 2007. № 6. С. 14–21. EDN: IAQCDP.
27. Семенов В.М., Тулина А.С. Сравнительная характеристика минерализуемого пула органического вещества в почвах природных и сельскохозяйственных экосистем // Агрохимия. 2011. № 12. С. 53–63. EDN: NCNLKN.

## References

1. Dridiger VK, Ivanov AL, Kulintsev VV, et al. *Chernozem obyknovennyi. Priamoi posev, Stavropol'skii krai. Opyt, dve rotatsii*: monografiia. Stavropol; 2024. 356 p. (In Russ.). EDN: PUQIMB.
2. Zinchenko MK, Zinchenko SI. Enzymatic activity of gray forest soil under various basic processing methods. *Achievement of science and technology of the agroindustrial complex*. 2021;4:17-21. (In Russ.). DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10402.
3. Zinchenko MK, Zinchenko SI, Avtonomova IN. Impact of basic cultivation on enzyme activity of grey forest soil in the Upper Volga Region. *Vladimir agricolist*. 2023;4:24-28. (In Russ.). DOI: 10.24412/2225-2584-2023-4106-24-28.
4. Ilbulova GR, Suyundukov YaT, Semenova IN, et al. The influence of resource-saving No-till technology on the agrophysical and biological properties of common black earth of the Bashkir Trans-Urals. *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. 2022;36(4):66-71. (In Russ.). DOI: 10.53859/02352451\_2022\_36\_4\_66.
5. Mokrikov GV, Kazeev KSh, Akimenko IuV. Vliianie tekhnologii No-Till na ekologo-biologicheskoe sostoianie pochv. Rostov-on-Don; 2017. 140 p. (In Russ.). EDN: YNVWXX.
6. Markovskaya GK. The effect of minimizing tillage on the enzymatic activity of common chernozem in the forest-steppe of the Middle Volga region. *Proceedings of the Orenburg State Agrarian University*. 2017;5:195-197. (In Russ.). EDN: ZSMKSL.
7. Khaziev FH. Ecological connections of soil enzymatic activity. *Ecobiotech*. 2018;1(2):80-92. (In Russ.). DOI: 10.31163/2618-964X-2018-1-2-80-92.
8. Khaziev FH. The functional role of enzymes in soil processes. *Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Belarus*. 2015; 20(2):14-24. (In Russ.). EDN: UCKRTV.
9. Ilbulova GR, Suyundukov YaT, Safin HM, et al. Evaluation of enzymatic activity of soils of the Trans-Urals republic of bashkortostan under different systems of soil management. *Ecological Bulletin of the North Caucasus*. 2021;17(1):19-24. EDN: SIBJLQ.
10. Minnikova TV, Mokrikov GV, Kazeev KSh, et al. Influence of Agricultural Crops on the Enzymatic Activity of Chernozems of the Rostov Region Using Various Agrotechnologies. *Agrochemistry*. 2020;(10):20-27. DOI: 10.31857/S0002188120100051.
11. Dadenko EV, Kazeev KSh, Kolesnikov SI. *Metody opredeleniia fermentativnoi aktivnosti pochv*. Rostov-on-Don; Taganrog; 2021. (In Russ.). EDN: VWJVKG.
12. Bezmenko AA. Optimizatsiia osnovnoi obrabotki seroi lesnoi pochvy pod iarovuiu pshenitsu v usloviakh Vladimirovskogo opol'ia [abstract dissertation]. Moscow; 2014. 19 p. (In Russ.).
13. Tovstik EV, Olkova AS. Assessment of the influence of abiotic factors on the enzymatic activity of the soil. *Ecobiotech*. 2021;4(2):128-134. (In Russ.). DOI: 10.31163/2618-964X-2021-4-2-128-134.
14. Popova EP. Biologicheskaya aktivnost' pochv Krasnoyarskoy lesostepi [abstract dissertation]. Krasnoyarsk; 1969. 30 p. (In Russ.).
15. Polonskaya DE. Mikrobiologicheskii monitoring sostoianiya ekosistem zemledel'cheskoy chasti Krasnoyarskogo kraia [abstract dissertation]. Krasnoyarsk; 2002. 31 p. (In Russ.). EDN: QDQCYD.
16. Fomina NV. Mikrobiologicheskaya diagnostika pochv lesnykh pitomnikov Krasnoyarskogo kraia. Krasnoyarsk; 2008. 144 p. (In Russ.). EDN: QKREGB.
17. Belousov AA. Enzymatic activity of common chernozem in the links of crop rotation and grain. *Bulletin of KSAU*. 2001;(7):93-100. (In Russ.). EDN: HTHPGG.
18. Belousov AA, Belousova EN. Seasonal dynamics of water-soluble organic substance of the chernozom leached in the conditions of soil-protective technologies. *Bulletin of KSAU*. 2017;(9):134-139. (In Russ.). EDN: ZITVOR.
19. Belousova EN, Belousov AA. The influence of soil protection technologies on the content of mobile organic matter and the enzymatic activity of the soil. *Agrochemistry*. 2022;(5):30-37. (In Russ.). DOI: 10.31857/S0002188122040044. EDN: NHUWOQ.
20. Vorob'eva LA. *Teoriya i praktika himicheskogo analiza pochv*. Moscow: GEOS; 2006. 400 p. (In Russ.).

21. Anderson JPE, Domsch KH. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 1978;10(3):215-221. (In Russ.).
22. Vadyunina AF, Korchagina ZA. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoistv pochv: uchebnoe posobie.*, Moscow: Agropromizdat; 1986. 416 p. (In Russ.).
23. Khaziev FK. *Metody pochvennoi enzimologii*. Moscow: Nauka; 2005. 252 p. (In Russ.).
24. Bugakov PS, Chuprova VV, Shugalei LS, et al. Itogi izucheniya rezhimov pochv Krasnoyarskoy lesostepi. In: *Spetsifika pochvoobrazovaniya v Sibiri*. Novosibirsk: Nauka; 1979. P. 257–267. (In Russ.).
25. Belousova EN. The influence of soil protection technologies on the density and hardness of leached chernozem. *Bulletin of KSAU*. 2015;(1):3-9. (In Russ.). EDN: UXKECZ.
26. Sharkov IN, Danilova AA, Kolbin SA, et al. Features of soil nitrogen mineralization while minimizing finch treatment of leached chernozem in Western Siberia. *Agrochemistry*. 2007;(6):14-21. (In Russ.). EDN: IAQCDP.
27. Semenov VM. Comparative characteristics of the mineralized pool of organic matter in the soils of natural and agricultural ecosystems. *Agrochemistry*. 2011;(12):53-63. (In Russ.). EDN: NCNLKN.

Статья принята к публикации 22.05.2025 / The article accepted for publication 22.05.2025.

Информация об авторах:

**Александр Анатольевич Белоусов**<sup>1</sup>, доцент кафедры почвоведения и агрохимии, кандидат биологических наук, доцент

**Елена Николаевна Белоусова**<sup>2</sup>, доцент кафедры почвоведения и агрохимии, кандидат биологических наук, доцент

Information about the authors:

**Alexander Anatolyevich Belousov**<sup>1</sup>, Associate Professor at the Department of Soil Science and Agrochemistry, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

**Elena Nikolaevna Belousova**<sup>2</sup>, Associate Professor at the Department of Soil Science and Agrochemistry, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

