

УДК 631.4

## **ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ ВОЗДУШНО-СУХИХ И ВОДОУСТОЙЧИВЫХ АГРЕГАТОВ ПОЧВ РАЗНОГО ВИДА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

© 2016 г. С. А. Гарбуз, Н. В. Ярославцева, В. А. Холодов

*Почвенный институт им. В.В. Докучаева,  
119017, Россия, Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 2  
e-mail: st\_garbus@mail.ru*

Изучены уровни ферментативной (пероксидазной, полифенолоксидазной и каталазной) активности в воздушно-сухих структурных отдельностях 1–2 мм и выделенных из них водоустойчивых агрегатов. В работе использованы образцы дерново-подзолистой почвы (под лесом и в пахотном варианте) и типичных черноземов многолетних полевых опытов: бессменный черный пар с 1964 г., залежь с 1998 г. после бессменного черного пара с 1964 г., ежегоднокосимая степь. Пероксидазная и полифенолоксидазная активности имели примерно одинаковый уровень и высокую изменчивость от 5 до 22 и от 2 до 30 ммоль/(г ч) соответственно, каталазная активность была ниже от 2 до 7 ммоль/(г ч). В большинстве случаев ферментативная активность в водоустойчивых агрегатах была выше по сравнению с сухими структурными отдельностями. Пероксидазную активность в водоустойчивых агрегатах можно рассматривать как индикатор смещения равновесия в процессах круговорота органического вещества в почвах. В дерново-подзолистых почвах полифенолоксидазная активность была сосредоточена в водоустойчивых агрегатах, а в черноземах она более равномерно распределена между структурными отдельностями. Каталаза в отличие от ферментов углеродного цикла (пероксидазы и полифенолоксидазы) не отражала ни типовую принадлежность почв, ни особенности их использования. **добавить область исследования (Курск) и гран. состав**

*Ключевые слова:* пероксидазная активность, полифенолоксидазная активность, каталазная активность, органическое вещество почв, водоустойчивые агрегаты, многолетние полевые опыты, дерново-подзолистые почвы, типичные черноземы.

DOI: 10.19047/0136-1694-2016-82-42-56

### **ВВЕДЕНИЕ**

Структуру почвы можно определить как распределение почвенных структурных отдельностей по размерам при доминирова-

нии агрономически ценных агрегатов (0.25–10 мм). Одним из главных качеств структуры (агрегата) является водоустойчивость (Шеин, Милановский, 2003; Шеин, 2005).

Структура верхних гумусовых горизонтов во многом определяет такие важнейшие свойства, как устойчивость почвы к действию неблагоприятных факторов окружающей среды и ее потенциальное плодородие (Почвоведение, 1988; Шеин, 2005; Elliot, 1986). В связи с этим, изучение структуры почв имеет значение с точки зрения регулирования глобальных циклов углерода (Plante et al., 2002), охраны окружающей среды, воспроизводства почвенного плодородия, оптимизации режима гумуса в пахотных почвах (Кёршенс, 1992; Почвоведение, 1988; Шеин, 2005; Elliot, 1986; Sinsabaugh, 2010). Исходя из этого, изучение почвенной структуры актуально в настоящее время.

Формирование структурных отдельностей верхнего гумусового горизонта почвы во многом определяется процессами трансформации органического вещества, которые во многом взаимосвязаны с ферментативной активностью почв.

Почвенные ферменты – неотъемлемая часть жизни почвы, они играют важную роль в круговороте углерода, гумусообразовании, процессах самоочищения почвы (Хазиев, 1982, 2005; Хазиев, Гулько, 1990, 1991).

В свободной форме (в почвенном растворе) ферменты существуют недолго, они или связываются с твердой фазой почвы (обычно с гуминовыми веществами или глинистыми минералами), или дезактивируются (Гулько, Хазиев, 1992; Burns et al., 2013). При этом в иммобилизованном состоянии (особенно в комплексах с гуминовыми веществами) устойчивость ферментов в окружающей среде возрастает, хотя несколько снижается их активность (Хазиев, 1990; Rawson, Murphy, 2000). В связи с этим ферментативная активность может сохраняться в почве дольше, чем существует сообщество ее продуцирующее.

Все вышеперечисленное указывает на то, что определение ферментативной активности почв – необходимый и независимый компонент для описания почвенного микрокосма, которое нельзя заменить ни классическими методами оценки состава и численности сообществ (например, выращиванием на питательных средах

(Звягинцев, 1991), ни современными методами учета разнообразия с помощью полимеразной цепной реакции (Андронов и др., 2012).

Известна взаимосвязь между ферментативной активностью почв, системы ее обработки и химической защиты с ее потенциальным плодородием (Acosta-Martinez, 2000; Коваленко, Марковская, 2013; Лобков и др., 2013).

Активность ферментов может зависеть от способов обработки почвы и мелиоративных мероприятий, которые изменяют агрофизические свойства. Это актуально для верхних горизонтов, для которых физическая нагрузка особенно велика и где содержание ферментов наибольшее (Хазиев, 2005; Куприевич, 1966; Абрамян 1992). Чем больше нагрузка на почву, тем хуже свойства ее структуры: уменьшается содержание агрономически ценных агрегатов, снижается их водоустойчивость (Шеин, 2005; Когут и др., 2012; Кузнецова и др., 2011, 2014). Как уже отмечалось, ферменты в почве в первую очередь ассоциированы с органическим веществом, что дает право предположить, что наибольшая активность будет наблюдаться в почвенных агрегатах с наибольшим содержанием углерода. Так, наибольшая ферментативная активность отмечена в почвенных агрегатах размером от 1 до 2 мм (Liu et al., 2013). В этих же размерных фракциях агрегатов (1–2 мм) обычно сосредоточены основные запасы почвенного углерода (Six et al., 2004; Когут и др., 2012). Важнейшей характеристикой структуры является ее водоустойчивость (Шеин, 2005), и оценить ее можно по содержанию водоустойчивых агрегатов. В связи с этим встает вопрос, насколько отличаются уровни ферментативной активности в водоустойчивых и неводоустойчивых агрегатах, исходя из разного содержания органического вещества в них, разной устойчивости к размывающему действию воды и др. Следует предположить, что уровни ферментативной активности в рассматриваемых структурных отдельностях будут различаться. Кроме того, если исходить из предположения, что более молодые агрегаты обладают водоустойчивостью, а неводопрочные – это более старые агрегаты (Plante et al., 2002), рассмотрение ферментативной активности в водоустойчивых и неводопрочных агрегатах может отражать внутриагрегатную динамику этого показателя.

Цель работы – оценить ферментативную активность в воздушно-сухих и водоустойчивых агрегатах фракции 1–2 мм, выде-

ленных из дерново-подзолистых почв и типичных черноземов разного вида использования.

В почвах определяли пероксидазную, полифенолоксидазную и каталазную активности. Первые два фермента были выбраны в связи с тем, что они, вероятно, вносят наибольший вклад в гумусообразование. Тогда как каталаза – фермент, наряду с пероксидазой, использующий перекись водорода в качестве субстрата.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

*Отбор почвенных образцов и выделение агрегатов.* В работе использовали дерново-подзолистые почвы и типичные черноземы. Виды использования почв были следующие: дерново-подзолистые почвы – нативная (многолетняя залежь под лесом) и пахотная (севооборот); типичный чернозем – нативная (многолетняя залежь), бессменный чистый пар и семнадцатилетняя залежь после бессменного черного пара.

Образцы дерново-подзолистой среднесуглинистой пахотной почвы (Классификация почв СССР, 1977), Retisols, согласно международной классификации (World reference base, 2014), отбирали на территории Московской области. В пахотном варианте использовали многолетний опыт Центральной опытной станции ВНИИ удобрений им. Д.Н. Прянишникова зернопропашной севооборот. Образцы залежной дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы отбирали в рядом расположенном лесном массиве (ельник с примесью березы, возраст лесного массива примерно 80–100 лет). Расстояние между местами пробоотбора составило около 100 м, обе площадки располагались примерно на одинаковой высоте над уровнем моря.

Образцы типичного чернозема (Классификация и диагностика почв, 1977), согласно международной классификации – Chernozem, отбирали на длительном многолетнем полевом опыте Почвенного института им. В.В. Докучаева на территории Курского НИИ АПП (опыт заложен в 1964 г.). Отобраны следующие варианты: бессменный черный пар с 1964 г. – этот вариант представляет собой участок, на котором почву ежегодно обрабатывают (вспахивают), не засевая и не допуская появления сорняков, таким образом, на этом опытном поле с 1964 г. в почву практически не поступало свежее органическое вещество. Залежь с 1998 г. после

бессменного черного пара с 1964 по 1998 гг. – часть участка вышеописанного многолетнего опыта, который с 1998 г. перестали обрабатывать, отведя под залежь.

Дополнительно, в качестве примера ненарушенного чернозема, отбирали образцы с многолетнего опыта “ежегоднокосимая степь” Центрально-черноземного государственного биосферного заповедника им. В.В. Алехина (ЦЧГБЗ им. В.В. Алехина). Этот участок расположен достаточно близко (около 20 км) от опытных полей Курского НИИ АПП.

Для отбора образцов закладывали площадку опробования радиусом 5 м. В центре с помощью GPS-навигатора определяли координаты, образцы отбирали в пяти точках: в центре и 4 точки в радиусе 5 м от центра со сдвигом на 90° для каждой точки относительно предыдущей (метод конверта). В качестве образца отбирали полный объем, занимаемый почвой, примерно 15×15×25 см, массой около 5 кг, глубина отбора 0–15 см.

Из отобранных образцов, просеиванием на ситах, выделяли образцы воздушно-сухих агрегатов размерной фракции 1–2 мм, из которых выделяли фракцию водоустойчивых. Для получения водоустойчивых агрегатов навеску 1 г воздушно-сухих агрегатов фракции 2–1 мм помещали на сито с диаметром ячеек 1 мм, которое опускали в воду, затем в течение минуты наклонными движениями в горизонтальной плоскости отделяли водоустойчивые агрегаты >1 мм от остальных структурных отдельностей, размер которых уменьшился в результате разрушающего действия воды. Количество водоустойчивых агрегатов определяли по разнице между массой исходной навески и массы частиц <1 мм, прошедших через сито. Полученные водоустойчивые агрегаты 2–1 мм немедленно разрушали растиранием и использовали для определения ферментативной активности.

Фракцию воздушно-сухих агрегатов 1–2 мм перед определением ферментативной активности перетирали и пропускали через сито 0.25 мм.

Стоит отметить, что для варианта бессменный пар не удалось получить водоустойчивые агрегаты, так как к концу просеивания в воде, все агрегаты были разрушены. Очевидно, это связано с отсутствием поступления с 1964 г. свежего органического вещества, отвечающего за водоустойчивость почвенных агрегатов

(Когут и др., 2012), однако данные по ферментативной активности в сухих агрегатах 1–2 мм все же приводятся, так как этот вариант экстремального землепользования представляет высокий научный и практический интерес.

*Определение ферментативной активности.* В основе определения ферментативной активности лежит измерение изменения концентрации в результате ферментативной реакции субстрата или учет образованного продукта реакции, специфичного для данного фермента (Хазиев, 2005). Определяли пероксидазную, полифенолоксидазную и каталазную активность.

Активность пероксидаз определяли методом Карягиной и Михайловской (Хазиев, 2005). В качестве субстрата использовали гидрохинон, который под действием пероксидаз в присутствии кислорода воздуха окисляется до 1–4-*n*-бензохинон. Объем реакционной смеси рассчитывали исходя из навески 1 г сухой почвы. Почву весом 1 г помещали в пластиковую 50 мл пробирку с закручивающейся крышкой, добавляли 10 мл свежеприготовленного 0.1 М гидрохинона и 1 мл 1.5 мМ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Смесь тщательно перемешивали и ставили в термостат на 30 мин при температуре 30°C при постоянном перемешивании. Реакцию останавливали добавлением 10 мл 96%-ного этилового спирта, после чего центрифугировали. Количество образовавшегося парабензохинона измеряли на спектрофотометре Shimadzu UV-1800 при длине волны 450 нм. В качестве контроля использовали автоклавированную почву (121°C, 0.5 атмосферы, 40 мин).

Полифенолоксидазную активность определяли методом Карягиной и Михайловской (Хазиев, 2005), так же как и пероксидазную активность, за исключением того, что в реакционную смесь не вносили пероксид водорода.

Каталазную активность исследовали модифицированным методом Джонсона и Темпле (Хазиев, 2005). Объем реакционной смеси рассчитывали, исходя из пропорции 1 г сухой почвы на 22.5 мл/г почвы, помещали в коническую 125 мл колбу и заливали 20 мл дистиллированной воды. Реакцию начинали добавлением 2.5 мл 8.8 мМ пероксида водорода. Реакцию проводили 30 мин, при постоянном перемешивании, после чего остатки непрореагировавшего H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> стабилизировали добавлением 2.5 мл 3 н. серной кислоты. Количество неизрасходованного пероксида водорода

определяли титрованием 0.5 н. перманганатом калия. В качестве контроля использовали автоклавированную почву.

Активность ферментов выражали в ммоль израсходованного субстрата за 1 ч на 1 г сухой почвы (ммоль/(г ч)).

Статистическую значимость отличий, полученных средних оценивали по *t*-критерию при  $\alpha = 0.05$ .

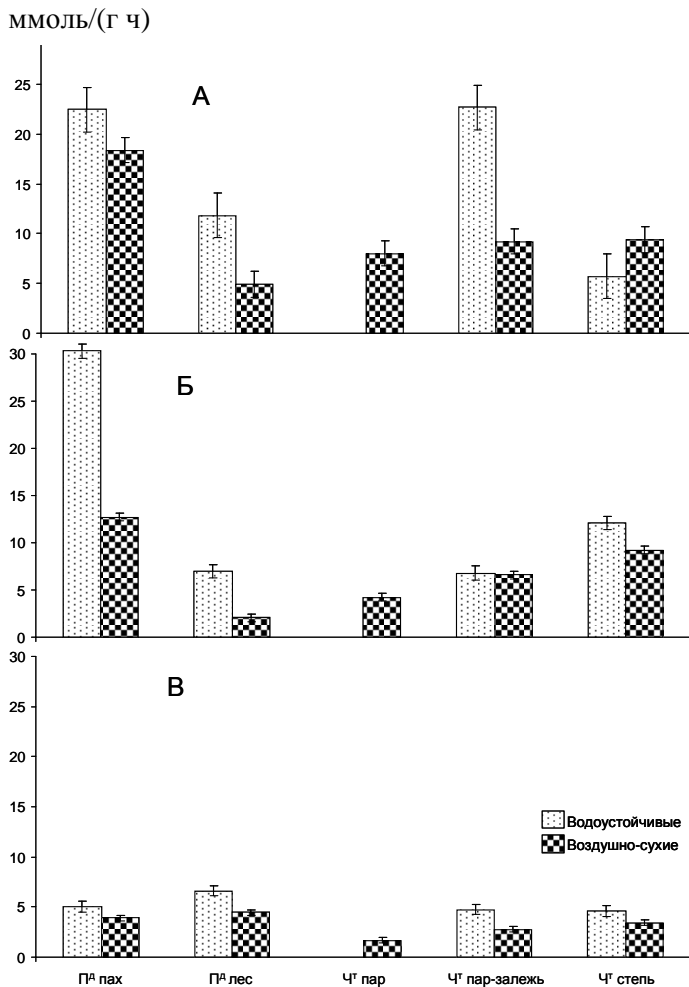
## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Величины ферментативной активности (пероксидазной, полифенолоксидазной, каталазной) в исследованных структурных отдельностях приводятся на рисунке.

В целом, рассматривая уровни ферментативной активности почв, следует отметить, что пероксидазная и полифенолоксидазная активности имеют примерно одинаковый уровень и высокую изменчивость. Они варьировали от 5 до 22 ммоль/(г ч) в первом варианте и от 2 до 30 ммоль/(г ч) во втором; каталазная активность в целом была ниже и изменялась в менее широких пределах от 2 до 7 ммоль/(г ч). Полученные величины были близки к сообщаемым другими авторами (Даденко и др., 2013; Мясникова и др., 2014).

Пероксидазная активность в воздушно-сухих агрегатах нативной дерново-подзолистой почве была несколько ниже по сравнению с агрегатами ненарушенного чернозема под ежегоднокосимой степью. При этом уровни пероксидазной активности в воздушно-сухих структурных отдельностях других вариантов использования типичного чернозема значимо не отличались друг от друга и от варианта чернозем под ежегодно косимой степью. По сравнению с черноземами этот показатель был ниже для дерново-подзолистой почвы под лесом и выше в пахотном варианте. Таким образом, пероксидазная активность в сухих агрегатах черноземов не зависела от вида использования в отличие от дерново-подзолистой почвы, где уровень пероксидазной активности был выше в пахотном варианте по сравнению с ненарушенной почвой.

В отличие от сухих структурных отдельностей пероксидазная активность водоустойчивых агрегатов сильно изменялась по вариантам использования почв. Максимальный уровень отмечен в



**Рис. 1.** Ферментативные активности (А – пероксидазная, Б – полифенолоксидазная, В – каталазная) в воздушно-сухих и водоустойчивых агрегатах 1–2 мм в дерново-подзолистых почвах и типичных черноземах разного вида использования. Дерново-подзолистые почвы: П<sup>I</sup> пах – пахотная, П<sup>I</sup> лес – под лесом; типичные черноземы: Ч<sup>I</sup> пар – бессменный пар с 1964 г., Ч<sup>I</sup> пар-залежь – залежь с 1997 г. после бессменного пара с 1964 г., Ч<sup>I</sup> степь – ежегоднокосимая степь.



дерново-подзолистой пахотной почве и типичном черноземе под залежью после пара. Минимальной пероксидазная активность была в водоустойчивых агрегатах чернозема под ежегоднокосимой степью.

Уровни пероксидажной активности в большинстве случаев превосходили этот показатель в воздушно-сухих агрегатах. Исключением был вариант типичного чернозема под ежегоднокосимой степью, где пероксидазная активность воздушно-сухих агрегатов была несколько больше по сравнению с водоустойчивыми агрегатами. Возможно, это отражает равновесие в процессах поступления, разложения и трансформации органического вещества, которое имеет место в ежегоднокосимой степи. При равновесии указанных процессов, когда окислительная деструкция невелика, не может образовываться много органических пероксидных соединений, которые являются мишенью для пероксидазы. При этом для образования указанных соединений необходим кислород, так что резонно предположить, что этот процесс сопряжен с потерей агрегатами водоустойчивости. Такие процессы в типичном черноземе выражены незначительно, что и объясняет наблюдаемую особенность этой почвы.

Можно отметить, что в водоустойчивых агрегатах пероксидазная активность больше в почвах, в которых процессы преобразования органического вещества не находятся в равновесии. Так, она максимальна в пахотной дерново-подзолистой почве, где на фоне обработки происходит постоянное отчуждение и разложение значительной части органического вещества. Также максимум пероксидажной активности наблюдается в типичном черноземе в залежи с 1997 г. после бессеменного пара с 1964 г. В данном случае активно идут процессы восстановления запасов органического вещества, равновесие углерода в почве смещено, только в положительную сторону.

Таким образом, пероксидажную активность в водоустойчивых агрегатах можно рассматривать как индикатор отсутствия равновесия в процессах круговорота органического вещества в почвах.

Минимумы и максимумы полифенолоксидазной активности сухих агрегатов наблюдали в дерново-подзолистой почве. Она

была максимальна в пахотном варианте и минимальна в ненарушенной почве (Даденко и др., 2013).

Сухие структурные отдельности черноземов по уровню полифенолоксидазной активности образовывали возрастающий ряд: пар < залежь после пара < ежегоднокосимая степь.

Показатель для полифенолоксидазы в водоустойчивых агрегатах в целом превышал активность сухих агрегатов, однако в варианте типичный чернозем залежь после пара разница в показателях была статистически не значима. Обращает на себя внимание большая разница в уровне полифенолоксидазной активности между водоустойчивыми и сухими агрегатами дерново-подзолистой почвы по сравнению с черноземами. В пахотной дерново-подзолистой почве разница между полифенолоксидазной активностью водоустойчивых и сухих агрегатов больше двух, в лесной почве – более трех. При этом в типичном черноземе в варианте залежь после пара нет разницы между полифенолоксидазной активностью водоустойчивых и сухих агрегатов, а в варианте ежегоднокосимая степь рассматриваемый показатель в водоустойчивых агрегатах выше только на 1/3. Вероятно, в дерново-подзолистых почвах полифенолоксидазная активность сосредоточена в водоустойчивых агрегатах, а в черноземах она распределена более равномерно между структурными отдельностями.

Каталазная активность сухих структурных отдельностей во всех рассмотренных вариантах была достаточно небольшой, в дерново-подзолистых почвах они значимо не отличались, а в черноземах не было обнаружено разницы между вариантами залежь после пара и ежегоднокосимая степь, при этом в варианте бесспорный пар активность фермента была минимальна. В целом все рассматриваемые показатели близки друг к другу 2–4 ммоль/(г ч).

Каталазная активность водоустойчивых агрегатов во всех вариантах была больше по сравнению с сухими отдельностями. Однако, как и в случае сухих агрегатов, величины активности изменялись незначительно от варианта к варианту: от 5 до 7 ммоль/(г ч). Вероятно, наблюдаемые взаимосвязи объясняются экологическим назначением каталазы – дезактивировать пероксид водорода, попадающий в почву в результате биологической деятельности. В рассматриваемом случае образцы перед изучением были высушены до воздушно-сухого состояния, в связи с этим в

почвах накапливалось мало  $H_2O_2$ , соответственно уровень каталазы был низкий. Таким образом, в рассматриваемых стандартизованных (не подверженных сезонной динамике) условиях каталаза в отличие от пероксидазы и полифенолоксидазы не отражает ни типовую принадлежность почв, ни особенностей их использования.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для оценки активности ферментов углеродного цикла (пероксидазы и полифенолоксидазы) наиболее информативным является использование водоустойчивых агрегатов по сравнению с воздушно-сухими структурными отдельностями. Вероятно, это объясняется тесной связью между циклом углерода и структурой гумусовых горизонтов почвы. Основные недеструктивные процессы трансформации органического вещества происходят в водоустойчивых агрегатах, которые, как считается, обогащены свежим органическим веществом, следовательно, в этих агрегатах наиболее активны ферменты углеродного цикла, что и было продемонстрировано настоящим исследованием.

**Благодарность.** Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект РНФ № 14-26-00079.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамян С.А.* Изменение ферментативной активности почвы под влиянием естественных и антропогенных факторов // Почвоведение. 1992. № 7. С. 70–82.
2. *Андронов Е.Е., Петрова С.Н., Пинаев А.Г., Першина Е.В., Рахимгалиева С.Ж., Ахмеденов К.М., Горобец А.В., Сергалиев Н.Х.* [Изучение структуры микробного сообщества почв разной степени засоленности с использованием T-RFLP и ПЦР с детекцией в реальном времени](#) // Почвоведение. 2012. № 2. С. 173–183.
3. *Гулько А.Е., Хазиев Ф.Х.* Фенолоксидазы почв: продуцирование, иммобилизация, активность // Почвоведение. 1992. № 11.
4. *Даденко Е.В., Прудникова М.А., Казеев К.Ш., Колесников С.И.* [Применение показателей ферментативной активности при оценке состояния почв под сельскохозяйственными угодьями](#) // Изв. Самарского научного центра РАН. 2013. Т. 15. №3 (4). С. 1274–1277.
5. *Звягинцев Д.Г.* Методы почвенной микробиологии и биохимии. М., 1991.

6. *Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М.* Биология почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. 445 с.
7. *Кёршенс М.* Значение содержания гумуса для плодородия почв и круговорота азота // Почвоведение. 1992. № 10. С. 122–131.
8. [Классификация и диагностика почв СССР](#). М.: Колос, 1977. 223 с.
9. *Коваленко М.В., Марковская Г.К.* [Влияние способов основной обработки почвы на её ферментативную активность](#) // Вестник Казанского гос. аграрного ун-та. 2013. Т. 8. № 1 (27). С. 108–111.
10. *Козут Б.М., Сысуев С.А., Холодов В.А.* [Водопрочность и лабильные гумусовые вещества типичного чернозема при разном землепользовании](#) // Почвоведение. 2012. № 5. С. 555–562.
11. *Кузнецова И. В., Азовцева Н. А., Бондарев А. Г.* [Нормативы изменения физических свойств почв степной, сухостепной, полупустынной зон европейской территории России](#) // Бюл. Почв. ин-та. 2011. Вып. 67. С. 3–19.
12. *Кузнецова И.В., Уткаева В.Ф., Бондарев А.Г.* [Нормативы изменения физических свойств пахотных черноземов степной зоны Европейской России в условиях интенсивного сельскохозяйственного использования](#) // Почвоведение. 2014. № 1. С. 71–81.
13. *Купревич В.Ф., Щербакова Т.А.* Почвенная энзимология. Минск: Наука и техника, 1966.
14. *Лобков В.Т., Новикова А.С., Забродкин А.А.* [Плодородие темно-серой лесной почвы при применении различных способов обработки почвы](#), Зерновое хозяйство России. 2013. № 2. С. 27–31.
15. *Мясникова М.А., Черникова М.П., Казеев К.Ш., Ермолаева О.Ю., Колесников С.И., Козунь Ю.С., Акименко Ю.В., Яровая Е.В.* Биологические особенности черноземов залежей ботанического сада ЮФУ // Научный журнал КубГАУ. 2014. №104(10).
16. Почвоведение. Почвы и почвообразование / Под ред. Ковды В.А., Розанова Б.Г. М.: Высшая школа, 1988. Ч. 1. 400 с.
17. *Хазиев Ф.Х.* Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005.
18. *Хазиев Ф.Х.* Системно экологический анализ ферментативной активности почв. М.: Наука, 1982. 204 с.
19. *Хазиев Ф.Х., Гулько А.Е.* Некоторые свойства гумус-пероксидазного комплекса // Почвоведение. 1990. № 2.
20. *Хазиев Ф.Х., Гулько А.Е.* Ферментативная активность почв агроценозов и перспективы ее изучения // Почвоведение. 1991. № 8.
21. *Шеин Е.В.* [Курс физики почв](#). М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. 432 с.
22. *Шеин Е.В., Милановский Е.Ю.* [Роль и значение органического вещества в образовании и устойчивости почвенных агрегатов](#) // Почвоведение. 2003. №1. С. 53–61.
23. *Acosta-Martínez V., Tabatabai M.A.* [Enzyme activities in a limed agricultural soil](#) // *Biol. Ferti. Soils*. 2000. V. 31. Iss. 1. P. 85–91

24. Burns R.G., DeForest J.L., Marxsen J., 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 Biol. Biochem. 2013. V. 58. P. 216–234
25. Elliott E.T. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils // Soil Sci. Soc. Am. J. 1986. V. 50 P. 627–633.
26. Liu Y.R., Li X., Shen Q.R., Xu Y.C. [Enzyme Activity in Water-Stable Soil Aggregates as Affected by Long-Term Application of Organic Manure and Chemical Fertiliser](#) // Pedosphere. 2013. V. 23(1). P. 111–119.
27. Plante A.F., Feng Y., McGill W.B. [A modeling approach to quantifying soil macroaggregate dynamics](#) // Can. J. Soil Sci. 2002. V. 82. P. 181–190.
28. Rawson A., Murphy B. The Greenhouse Effect, Climate Change and native vegetation. Background paper No 7. Native vegetation Advisory Council NSW Department of Land and Water Conservation. 2000.
29. Nannipieri P., Giagnoni L., Renella G., Puglisi E., Ceccanti B., Masciandaro G., Fornasier F., Moscatelli M. C., Marinari S. [Soil enzymology: classical and molecular approaches](#) // Biol. Fertil. Soils. 2012. V. 448(7). P. 743–762. DOI 10.1007/s00374-012-0723-0.
30. Sinsabaugh R.L. [Phenol oxidase, peroxidase and organic matter dynamics of soil](#) // Soil Biol. Biochem. 2010. V. 42. P. 391–404.
31. Six J., Bossuyt H., Degryze S., Denef K. [A history of research on the link between \(micro\)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics](#) // Soil and Tillage Research. 2004. V. 79 P. 7–31.
32. [World reference base for soil resources 2014](#). A framework for international classification, correlation and communication, World Soil Resource Report 106. FAO. Rome, 2014. 181 p.

## **FERMENTATIVE ACTIVITY OF AIR-DRY AND WATER RESISTENT SOIL AGGREGATES WITH THEIR VARYING USE**

**S. A. Garbuz, N. V. Yaroslavtsev, V. A. Kholodov**

*V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 119017 Moscow, Pyzhevskii 7, bld. 2  
e-mail: [st\\_garbuz@mail.ru](mailto:st_garbuz@mail.ru)*

Under study were the levels of fermentative (peroxidase, polyphenoloxidase and catalase) activity in air-dry structural particles 1–2 mm thick and water-resistant aggregates extracted from the samples of soddy-podzolic soils (under forest and in crop) and typical chernozems used in long-term field experiments including the resting black fallow since 1964, the barren land after the fallowing since 1998 and annually mowed steppe. Peroxidase and polyphenoloxi-

dase activities display approximately similar level being highly changed from 5 to 22 and 2 to 30 mmol/g respectively, whereas the catalase activity seems to be lower from 2 to 7 mmol/g. In the major cases the fermentative activity in water-resistant soil aggregates is higher as compared to air-dry structural particles. The peroxidase activity in water-resistant aggregates can be considered as an indicator for displacing equilibrium in processes of the organic matter turnover in soils. In soddy-podzolic soils the polyphenoloxidase activity is concentrated in water-resistant aggregates, in chernozems it is evenly distributed between structural particles. As distinct from the ferments of carbon cycle (peroxidase and polyphenoloxidase) the catalase activity doesn't depend on the soil type and its peculiar use.

*Keywords:* peroxidase, polyphenoloxidase and catalase activity, soil organic matter, water-resistant aggregates, long-term field experiments, soddy-podzolic soils, typical chernozems.