

## АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.43:631.417.7

doi: 10.31774/2712-9357-2022-12-1-177-194

### Динамика структурного состояния и ферментативной активности чернозема обыкновенного карбонатного при применении биологически активных препаратов

Марина Николаевна Дубинина<sup>1</sup>, Владимир Анатольевич Лыхман<sup>2</sup>,  
Ольга Степановна Безуглова<sup>3</sup>, Ольга Ивановна Наими<sup>4</sup>,  
Елена Александровна Полиенко<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup>Федеральный Ростовский аграрный научный центр, Рассвет,  
Российская Федерация

<sup>1</sup>dubinina-marina@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4305-635X>

<sup>2</sup>lykvladimir@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3855-0070>

<sup>3</sup>lola314@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4180-4008>

<sup>4</sup>o.naimi@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8742-9528>

<sup>5</sup>samonichewa@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7553-9412>

**Аннотация.** Цель: изучение влияния индивидуального и совместного внесения гуминового препарата Лигногумат и микробиологического удобрения Байкал-ЭМ на структурное состояние и ферментативную активность чернозема обыкновенного. **Материалы и методы.** Исследованы образцы почв методом сухого просеивания для расчета коэффициента структурности, методом мокрого просеивания для определения количества водопрочных агрегатов; проведен анализ динамики почвенного гумуса; исследована динамика каталазной и инвертазной активности. **Результаты.** Динамика гумуса в течение периода исследования во всех вариантах имеет схожую картину, однако окончание периода вегетации 2011 г. демонстрирует статистически достоверное увеличение количества гумуса на 0,25 % при совместном внесении в почву гуминового препарата и концентрата микроорганизмов, в этом же варианте в тот же период отмечено увеличение активности каталазы до 29 мл O<sub>2</sub>/(г·мин) по сравнению с 20 мл O<sub>2</sub>/(г·мин) на контроле. Внесение микроорганизмов выявило также корреляцию гумуса с инвертазной активностью: вариант 4 продемонстрировал увеличение этого показателя до статистически достоверных 18 мг глюкозы/(г·24 ч) при отсутствии значительной разницы в динамике в других вариантах. Структурные характеристики почвы проявили наибольшую отзывчивость к обработкам Лигногуматом и Байкалом-ЭМ, внесение их в почву привело к увеличению коэффициента структурности до 2,75 по сравнению с 1,6–1,7 в контрольном варианте и при внесении Лигногумата по листу. Содержание водопрочных агрегатов в контрольном варианте и при фоллиарной обработке на протяжении всего эксперимента находилось в диапазоне 70–75 %, в то время как обработка почвы препаратами привела к увеличению водопрочности структуры до 90 %. **Выводы.** Чернозем оказался отзывчив к внесению Лигногумата, особенно в сочетании с Байкалом-ЭМ, непосредственно в почву, что связано со стимулированием собственной почвенной микрофлоры вносимым концентратом микроорганизмов.

**Ключевые слова:** чернозем обыкновенный, Лигногумат, гуминовый препарат, микробиологическое удобрение, содержание водопрочных агрегатов, коэффициент структурности, каталаза, инвертаза, гумус

**Для цитирования:** Динамика структурного состояния и ферментативной актив-



ности чернозема обыкновенного карбонатного при применении биологически активных препаратов / М. Н. Дубинина, В. А. Лыхман, О. С. Безуглова, О. И. Найми, Е. А. Полиенко // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 1. С. 177–194. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-1-177-194>.

## AGROPHYSICS

Original article

### **Dynamics of the structural state and enzymatic activity of ordinary carbonate chernozem when using biologically active preparations**

**Marina N. Dubinina<sup>1</sup>, Vladimir A. Lykhman<sup>2</sup>, Olga S. Bezuglova<sup>3</sup>,  
Olga I. Naimi<sup>4</sup>, Elena A. Polienko<sup>5</sup>**

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup>Federal Rostov Agricultural Research Centre, Rassvet, Russian Federation

<sup>1</sup>dubinina-marina@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4305-635X>

<sup>2</sup>lykvladimir@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3855-0070>

<sup>3</sup>lola314@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4180-4008>

<sup>4</sup>o.naimi@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8742-9528>

<sup>5</sup>samonichewa@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7553-9412>

**Abstract.** The **purpose** is to study the influence of individual and joint application of humic preparation Lignohumate and microbiological fertilizer Baikal-EM on the structural state and enzymatic activity of ordinary chernozem. **Materials and methods.** Soil samples were investigated by the method of dry sieving to calculate the structural coefficient, by the method of wet sieving to determine the number of water-stable aggregates; the analysis of the dynamics of soil humus was carried out; the dynamics of catalase and invertase activity has been studied. **Results.** The dynamics of humus during the study period has a similar picture in all variants, however, the end of the growing season in 2011 demonstrated a statistically significant increase in the amount of humus by 0.25 % when a humic preparation and a concentrate of microorganisms are simultaneously applied into soil, in the same variant in the same period, an increase in catalase activity was noted up to 29 ml O<sub>2</sub>/(g · min) compared to 20 ml O<sub>2</sub>/(g · min) in the control. The application of microorganisms also revealed a correlation between humus and invertase activity: option 4 showed an increase in this indicator to a statistically significant 18 mg glucose/(g · 24 h) in the absence of a significant difference in dynamics in other options. The structural characteristics of soil showed the greatest response to treatment with Lignohumate and Baikal-EM, their application led to the increase in the structure coefficient up to 2.75 compared to 1.6–1.7 in the control variant and with the application of Lignohumate on the leaf. The content of water-stable aggregates in the control variant and with foliar treatment throughout the entire experiment was in the range of 70–75 %, while soil treatment with preparations led to the increase in water resistance of the structure to 90 %. **Conclusions.** Chernozem turned out to have response to the Lignohumate, application especially in combination with Baikal-EM, directly into soil, which is associated with the stimulation of its own soil microflora by the applied concentrate of microorganisms.

**Keywords:** ordinary chernozem, Lignohumate, humic preparation, microbiological fertilizer content of water-resistant aggregates, structural coefficient, catalase, invertase, humus

**For citation:** Dubinina M. N., Lykhman V. A., Bezuglova O. S., Naimi O. I., Polienko E. A. Dynamics of the structural state and enzymatic activity of ordinary carbonate chernozem when using biologically active preparations. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2022;12(1):177–194. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-1-177-194>.

**Введение.** Современные методы ведения и наращивание темпов сельскохозяйственного производства во многом зависят от применения синтетических средств химизации, сложной техники и агрегатов, что зачастую приводит к ухудшению качества окружающей среды и проявлению эффекта деградации продуктивных почв. Для преодоления этих негативных последствий внедряются и адаптируются новые технологии и препараты, позволяющие сохранить и восстановить плодородие почвы как основного компонента программы продовольственной безопасности [1, 2].

Почва как источник элементов минерального питания для растений, накопитель влаги, среда обитания для микробиологических сообществ, осуществляющих газообмен и круговорот органического вещества, крайне чувствительна к изменению своих структурных свойств, которые находятся в тесной взаимосвязи со всеми внутренними и внешними почвенными процессами. Жизнедеятельность большинства почвенных микроорганизмов приурочена к почвенным агрегатам, сохраняющим водопрочность и стабильность своей структуры за счет минеральных и органических связей [3]. Многие биохимические процессы протекают на биогеохимических границах раздела, а именно на поверхности почвенных агрегатов, в объеме пор, в жидкой и газовой фазе, заполняющей их [4].

В этой связи очень важным является изучение почвенной структуры как диагностической характеристики для прогнозирования внутрипочвенных процессов, потенциала почвенного плодородия, возможности сохранения запасов влаги [5].

Интенсивное применение средств механизации для обработки почвы при ведении земледелия приводит к тому, что нарушается ее естественное сложение и плотность, водо- и газообмен, изменяется устойчивость к эрозионным процессам [6]. Минимизирование обработки почвы способствует увеличению количества макроагрегатов, биодоступного углерода и развитию микробной биомассы, метаболическому разнообразию, содействует

развитию способности выполнять функции почвенной экосистемы [7]. Однако и в условиях ведения интенсивного механизированного земледелия и применения средств химизации можно уменьшить скорость деградиационных процессов в почве и свести их потенциальный вред к минимуму [8].

Одним из выходов из этой проблемы является использование потенциала собственно почвенной микрофлоры, а также искусственное внесение эффективных органических и биологических агентов – биостимуляторов, подпитывающих и стимулирующих развитие ризосферы и катализирующих ферментативную активность, а соответственно, и рост растений. Также немаловажным становится наличие у биопрепаратов за счет их специфического состава водостойких клеящих свойств, при этом реализуется механизм искусственного структурообразования [9, 10]. Применение биостимуляторов на основе гуминовых кислот хорошо зарекомендовало себя для увеличения продуктивности культур, устойчивости их к неблагоприятным погодным условиям и повышенным дозам пестицидов. Ряд исследователей отмечают положительное влияние этих препаратов на агрофизические и микробиологические свойства почвы: улучшается качество агрономически ценной структуры, увеличивается доля водопрочных агрегатов, отмечается рост аммонификаторов и аминокислототрофных групп микроорганизмов [11–13]. Несмотря на неоднозначность результатов использования биостимуляторов, производство, ассортимент и рынок их применения ежегодно увеличиваются, что, учитывая экологичность этих препаратов, позволяет считать их универсальным средством для решения многих задач агропромышленного производства [14, 15].

**Материалы и методы исследования.** Полевой опыт был заложен осенью 2009 г. и продолжался до 2012 г. на территории опытного хозяйства в Мясниковском районе Ростовской области. Опытный участок расположен на черноземе карбонатном. Полевой опыт заложен в 6-кратной повторности по схеме (таблица 1). Размер делянок – 25 м<sup>2</sup>.

**Таблица 1 – Схема опыта**

**Table 1 – Experiment scheme**

Вариант / Option	Лигногумат, л/га / Ligno- humate, l/ha	Байкал-ЭМ, л/га / Baikal- EM, l/ha
1) фон (жидкое комплексное удобрение (ЖКУ) NP 10:34) / 1) background (liquid complex fertilizer (LCF) NP 10:34)	–	–
2) фон + Лигногумат (обработка по листу) / 2) background + Lignohumate (leaf treatment)	0,75	–
3) фон + Лигногумат (обработка почвы) / 3) background + Lignohumate (tillage)	1,0	–
4) фон + Лигногумат (обработка почвы) + Байкал-ЭМ (обработка почвы) / 4) background + Lignohumate (tillage) + Байкал-ЭМ (tillage)	1,0	3,0
5) фон + Байкал-ЭМ (обработка почвы) / 5) background + Baikal-EM (tillage)	–	3,0

Фон – жидкое комплексное азотно-фосфорное безнитратное удобрение марки NP 10:34 с повышенным содержанием питательных веществ (ЖКУ).

В ходе опыта были применены следующие биологически активные препараты:

- стимулятор роста Лигногумат – высокоэффективный препарат на основе гуминовых соединений, получаемых из отходов целлюлозно-бумажной промышленности. Общее содержание солей гуминовых веществ в сухом веществе Лигногумата не менее 90 %. Препарат содержит гуматы калия, натрия, кальция, комплекс микро- и макроэлементов в хелатной форме;

- микробиологическое удобрение Байкал-ЭМ – созданный по специальной технологии (ЭМ-технологии) жидкий концентрат эффективных микроорганизмов, состоящий из популяций с разными экологическими стратегиями: молочнокислых бактерий, сахаромицетов и пурпурных несерных бактерий. Данный препарат поддерживает и стимулирует естественную почвенную микрофлору, активизирует мобилизацию фосфора, микробную азотфиксацию и фотосинтез.

На опытном участке возделывались зерновые культуры: 2009, 2010 гг. – озимая пшеница, 2012 г. – яровой ячмень.

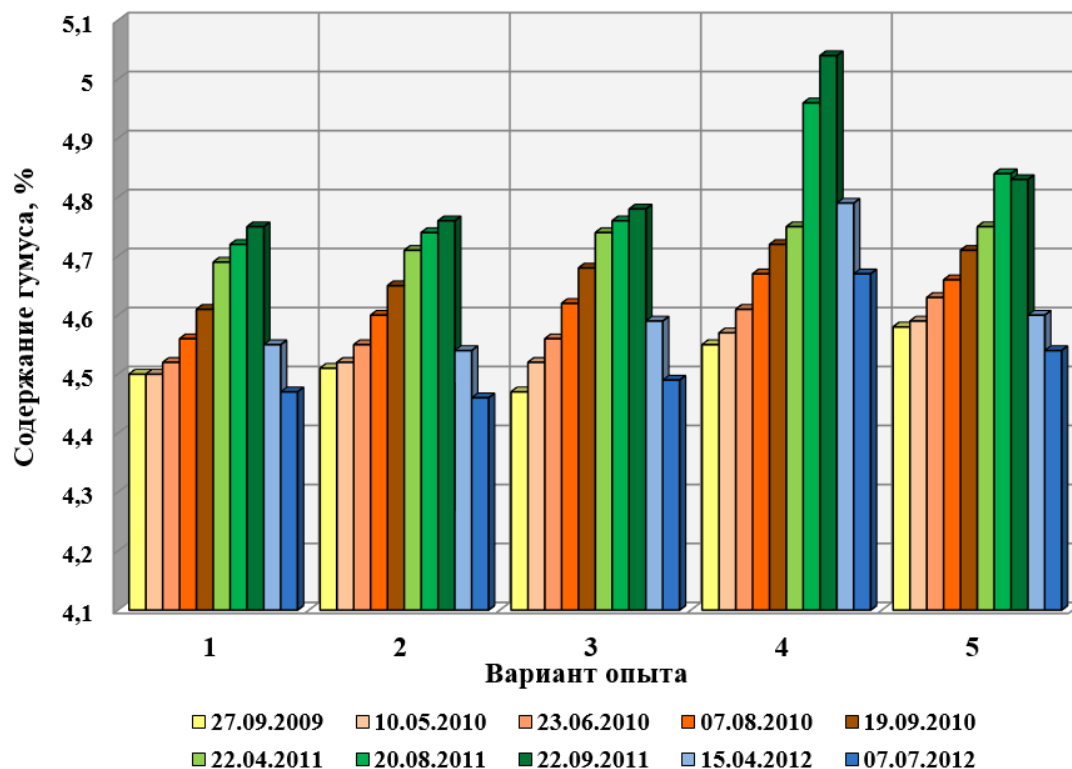
Обработка растений и почвы растворами данных препаратов проводилась из расчета 300 л/га рабочего раствора. Обработка почвы проводилась путем внесения на поверхность перед посевом озимой пшеницы в первой декаде сентября 2009 и 2010 гг., перед посевом ярового ячменя в марте 2012 г. Вегетирующие растения обрабатывались путем опрыскивания в фазе кущения и колошения: озимая пшеница – апрель и июнь 2010 и 2011 гг., яровой ячмень – апрель и июнь 2012 г.

Наблюдения велись в динамике. Отбор образцов производили из пахотного горизонта в течение периода вегетации озимой пшеницы: перед внесением удобрений (27.09.2009, 19.09.2010, 22.09.2011), после внесения удобрений (фаза всходов) (10.05.2010, 22.04.2011), в фазе колошения (23.06.2010) и после уборки урожая (07.08.2010, 20.08.2011); в период вегетации ярового ячменя – в фазе всходов (15.04.2012) и фазе колошения (07.07.2012).

Отбор почвенных проб по ГОСТ 28186-89. Содержание гумуса по ГОСТ 26213-91 по методу Тюрина. В почвенных образцах определена также ферментативная активность – каталаза газометрическим методом А. Ш. Галстяна и инвертаза модифицированным колориметрическим методом Ф. Х. Хазиева. Для определения состояния почвенной структуры использовали сухое и мокрое просеивание по методу Н. И. Савинова и определение водопрочности почвенных агрегатов методом П. И. Андрианова в модификации Н. А. Качинского. Статистическая и графическая обработка данных проведена с помощью методов математической статистики и программы MS Excel.

**Результаты и обсуждение.** Содержание гумуса связано со всеми почвенными характеристиками, особенно с биологической активностью, органические соединения почвы трансформируются не только при актив-

зации собственной почвенной микрофлоры, но и при внешнем ее стимулировании внесением различных активных препаратов. Рисунок 1 наглядно демонстрирует, что в почве при внесении биологического препарата Байкал-ЭМ с добавлением Лигногумата и без его добавления содержание гумуса выше, чем в фоновом варианте, в котором процессы формирования и деструкции гумуса проходят без их дополнительного инициирования.



1) фон; 2) фон + Лигногумат (обработка растений); 3) фон + Лигногумат (обработка почвы); 4) фон + Лигногумат (обработка почвы) + Байкал-ЭМ (обработка почвы); 5) фон + Байкал-ЭМ (обработка почвы)

1) background; 2) background + Lignohumate (plants treatment); 3) background + Lignohumate (tillage); 4) background + Lignohumate (tillage) + Baikal-EM (tillage); 5) background + Baikal-EM (tillage)

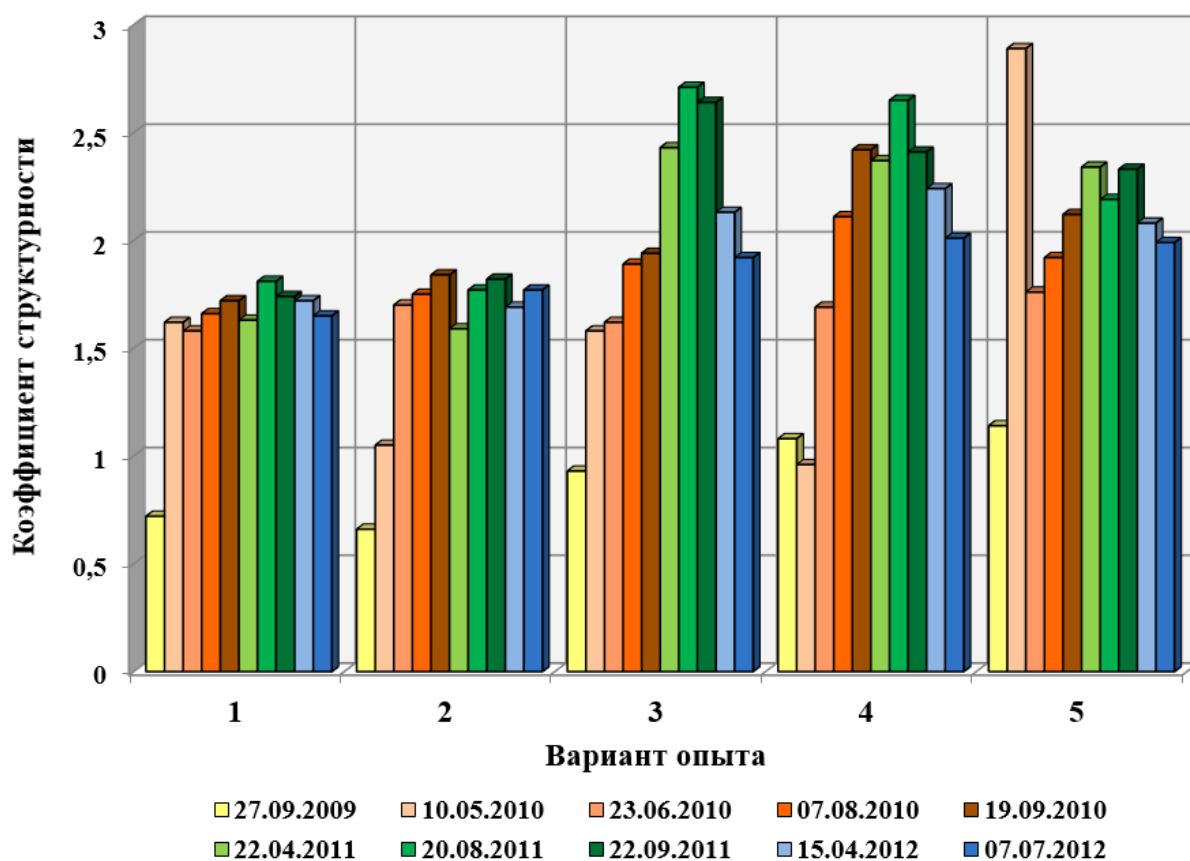
**Рисунок 1 – Динамика содержания гумуса по вариантам опыта**

**Figure 1 – Dynamics of the humus content by the experiment options**

Динамика увеличения и снижения количества гумуса в почве и разная скорость этих процессов связаны с различными по продолжительности вегетационными периодами возделываемых культур. Так, при возделывании озимой пшеницы увеличение содержания гумуса происходит плавно, и только внесение микробиологически активного препарата непосред-

ственно в почву в вариантах 4 и 5 делает это увеличение статистически достоверным (увеличение на 0,25 % в варианте 4 по сравнению с другими вариантами в том же периоде).

Структура почвы как важный агрофизический показатель плодородия может быть охарактеризована такими критериями, как коэффициент структурности (отношение количества агрономически ценных агрегатов к агрономически неценным) и содержание водопрочных агрегатов. Эти показатели напрямую связаны со степенью гумусированности почвы. Так, изменение коэффициента структурности по вариантам опыта показано на рисунке 2.



1) фон; 2) фон + Лигногумат (обработка растений); 3) фон + Лигногумат (обработка почвы); 4) фон + Лигногумат (обработка почвы) + Байкал-ЭМ (обработка почвы); 5) фон + Байкал-ЭМ (обработка почвы)

1) background; 2) background + Lignohumate (plant treatment); 3) background + Lignohumate (tillage); 4) background + Lignohumate (tillage) + Baikal-EM (tillage); 5) background + Baikal-EM (tillage)

**Рисунок 2 – Динамика коэффициента структурности по вариантам опыта**

**Figure 2 – Dynamics of the structural coefficient by experiment options**



Наблюдается постепенный рост числа агрономически ценных агрегатов. В вариантах с внесением биопрепаратов непосредственно в почву этот процесс идет интенсивнее, особенно наглядно это показала динамика значений коэффициента структурности в период от начала эксперимента в 2009 г. до уборки урожая в 2011 г. при возделывании озимой пшеницы, выявлено увеличение коэффициента структурности до 2,75 по сравнению с 1,6–1,7 в контрольном варианте и при внесении Лигногумата по листу. Эти результаты свидетельствуют, что применение биологически активных препаратов благоприятно сказывается на структурности почвы.

Обработка Лигногуматом посевов по листу не внесла существенных изменений в структурное состояние чернозема, однако фолиарная обработка гораздо более благоприятно сказывается именно на качественных характеристиках самих вегетирующих растений.

Другим важнейшим показателем состояния почвенной структуры является количество водопрочных агрегатов. Устойчивость агрегатов к воздействию дождевых капель и водных потоков – это показатель, описывающий влияние размера агрегатов на эродируемость междурядий и паровых пашен на полузасушливых почвах [16].

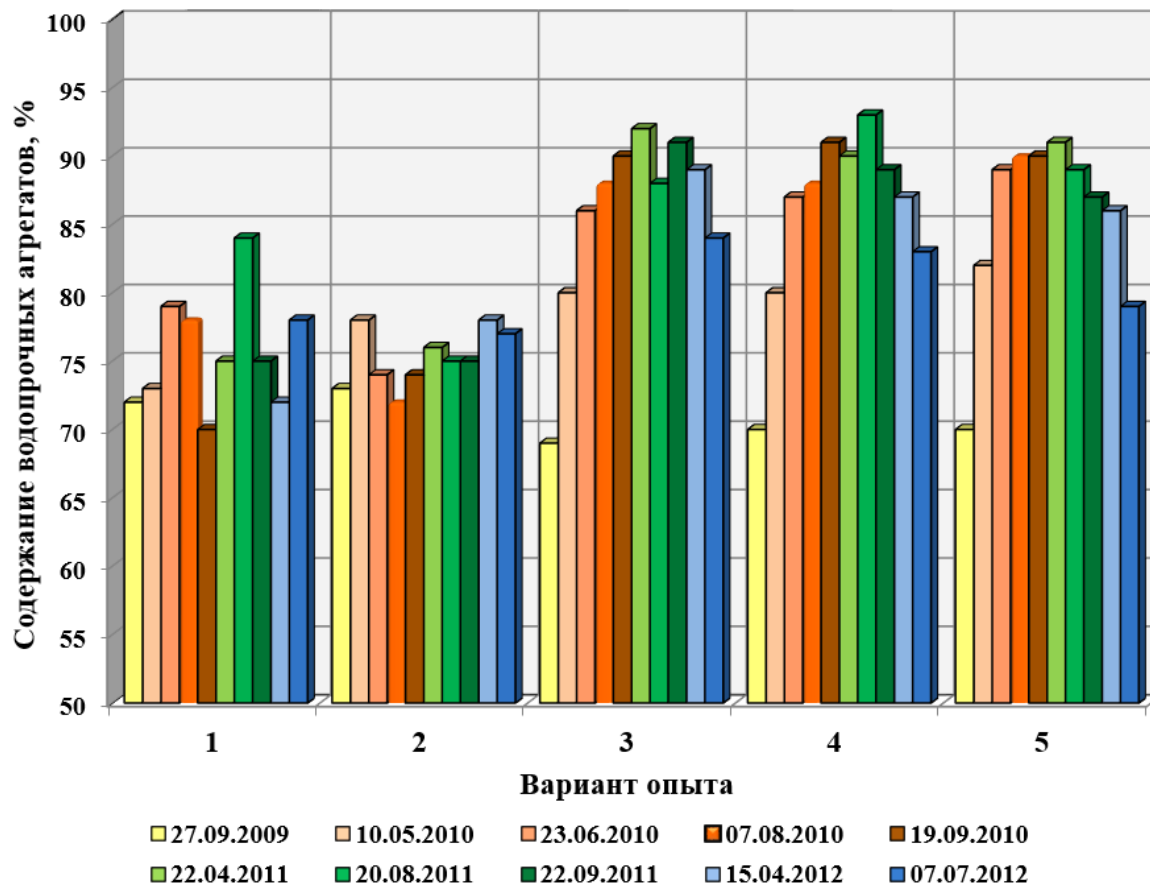
По методу Савинова его определяют, применяя метод мокрого просеивания. В летние месяцы вегетационного периода 2009–2010 гг. в данном регионе Ростовской области температура воздуха составляла плюс 30–35 °С, атмосферная влажность держалась ниже 30 %. Эти условия и крайне низкое количество осадков обеспечили наступление сильной засухи, которая в сочетании с ветром отрицательно влияла на состояние почвы. По результатам сухого просеивания данная тенденция заметна слабо, а вот содержание водопрочных агрегатов показало более четко выраженный тренд ухудшения структурности почвы. Из данных рисунка 3 видно, что в этот период водопрочная характеристика почвы фонового варианта подвержена максимальным изменениям, однако в дальнейшем эта тенден-

ция сглаживается, происходит увеличение водопрочности агрегатов. По результатам исследования также видна несущественная разница между фоновым вариантом и вариантом с фолиарной обработкой растений. Содержание водопрочных агрегатов в контрольном варианте и при фолиарной обработке на протяжении всего эксперимента находилось в диапазоне 70–75 %. Однако внесение биологически активных препаратов непосредственно в почву (варианты 3–5) позволяет сохранить водопрочные агрегаты и даже увеличить их содержание до 90 %, что в очередной раз подтверждает антистрессовое действие этих препаратов. Относительная стабильность высоких значений показателей водопрочности почвы свидетельствует об эффективности воздействия их на микробиотическую активность в прикорневом слое. Таким образом, внесение данных препаратов в почву позволяет оценить ее структурные характеристики как отличные по шкале Долгова – Бахтина.

В последствии влияние активных веществ на прикорневую биоту снижается, и значения структурных характеристик почвы стремятся к своему естественному уровню (фон).

Данное явление обусловлено тем, что растения выделяют в прикорневую зону почвы некоторое количество органических соединений, общее же их количество, поступающее в почву из растения путем экзосмоса, доходит до 5 % от сухого веса ассимилированной массы. При этом разные растения выделяют в почву определенные типы веществ. Так, например, в выделениях бобовых растений обнаруживаются аминокислоты, у злаков и прочих небобовых растений преобладают углеводы и органические кислоты. Помимо указанных выделений, растения непрерывно сбрасывают с поверхности корней отмершие клетки эпидермиса и корневые волоски, которые также являются субстратом для питания микроорганизмов. Корни создают в непосредственной близости от себя зону, наиболее благоприятную для развития биоты [7, 10, 11]. Внесение биологически активных пре-

паратов, в особенности обогащенных микробиологическими сообществами, оказывает дополнительное каталитическое действие на естественную почвенную микрофлору.



1) фон; 2) фон + Лигногумат (обработка растений); 3) фон + Лигногумат (обработка почвы); 4) фон + Лигногумат (обработка почвы) + Байкал-ЭМ (обработка почвы); 5) фон + Байкал-ЭМ (обработка почвы)

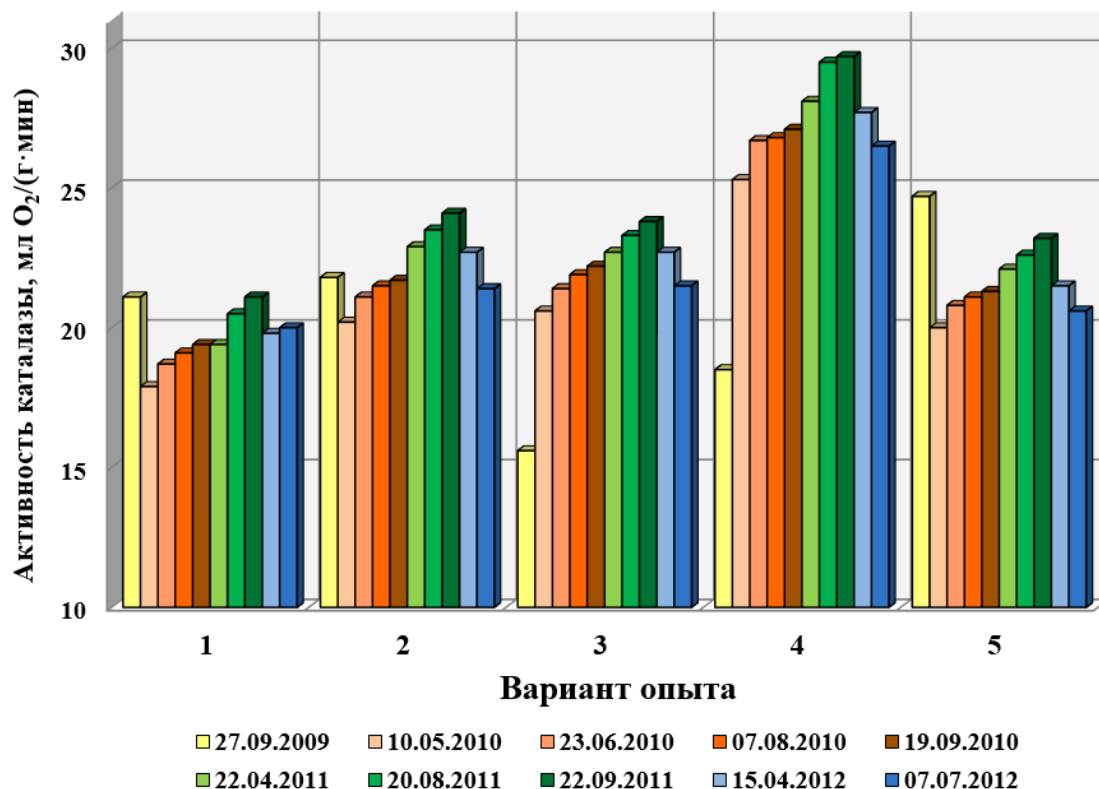
1) background; 2) background + Lignohumate (plant treatment); 3) background + Lignohumate (tillage); 4) background + Lignohumate (tillage) + Baikal-EM (tillage); 5) background + Baikal-EM (tillage)

**Рисунок 3 – Динамика содержания водопрочных агрегатов по вариантам опыта**

**Figure 3 – Dynamics of the content of water-stable aggregate by experiment options**

Результаты определения активности каталазы (рисунок 4) показали, что этот фермент наиболее сильно подвержен влиянию внесения в почву сразу двух разноплановых по своему воздействию биологических препаратов, причем достоверность их действия подтверждается статистически в ва-

рианте 4, отмечено увеличение активности каталазы до 29 мл  $O_2$ /(г·мин) по сравнению с 20 мл  $O_2$ /(г·мин) на контроле, в остальных вариантах влияние статистически незначимо. Некоторое увеличение активности каталазы по сравнению с фоном имеется, тем не менее о положительном влиянии индивидуального внесения Лигногумата и Байкала-ЭМ на активность каталазы можно говорить только как о тенденции.



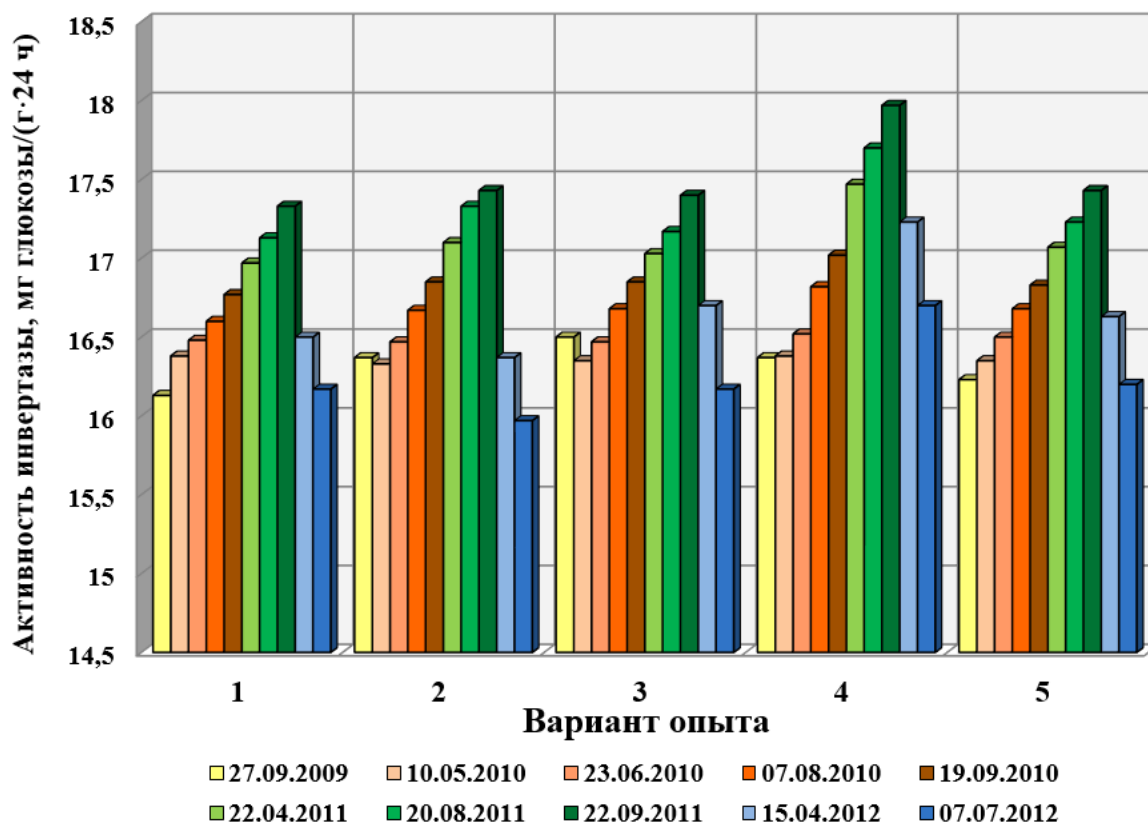
1) фон; 2) фон + Лигногумат (обработка растений); 3) фон + Лигногумат (обработка почвы); 4) фон + Лигногумат (обработка почвы) + Байкал-ЭМ (обработка почвы); 5) фон + Байкал-ЭМ (обработка почвы)

1) background; 2) background + Lignohumate (plant treatment); 3) background + Lignohumate (tillage); 4) background + Lignohumate (tillage) + Baikal-EM (tillage); 5) background + Baikal-EM (tillage)

**Рисунок 4 – Динамика активности каталазы по вариантам опыта**  
**Figure 4 – Dynamics of catalase activity by experiment options**

Общий характер изменения активности инвертазы сохраняется и здесь, хотя при оценке последствий влияния биологически активных препаратов эта динамика по сравнению с каталазой менее информативна.

На рисунке 5 представлена динамика инвертазной активности в течение всего периода наблюдений.



1) фон; 2) фон + Лигногумат (обработка растений); 3) фон + Лигногумат (обработка почвы); 4) фон + Лигногумат (обработка почвы) + Байкал-ЭМ (обработка почвы); 5) фон + Байкал-ЭМ (обработка почвы)

1) background; 2) background + Lignohumate (plant treatment); 3) background + Lignohumate (tillage); 4) background + Lignohumate (tillage) + Baikal-EM (tillage); 5) background + Baikal-EM (tillage)

**Рисунок 5 – Динамика активности инвертазы по вариантам опыта**

**Figure 5 – Dynamics of invertase activity by the experiment options**

В фоновом варианте внесение ЖКУ инициировало активность инвертазы, что достоверно подтверждается результатами исследований в периоды вегетации озимой пшеницы. Этот показатель продемонстрировал динамическую стабильность при взаимодействии почвы с компонентами биологических препаратов, и только внесение гуматов в комплексе с микробиологическим препаратом привело к статистически значимому увеличению инвертазной активности: вариант 4 продемонстрировал увеличение этого показателя до статистически достоверных 18 мг глюкозы/(г·24 ч) при отсутствии значительной разницы в динамике в других вариантах.

Прекращение применения ЖКУ в период возделывания ярового яч-

меня привело к снижению активности инвертазы, однако комплекс биологически активных веществ не позволил этому показателю вернуться к значениям фонового варианта на момент начала эксперимента.

**Выводы.** Содержание гумуса в черноземе обыкновенном карбонатном в конце периода вегетации озимой пшеницы в 2011 г. увеличилось на статистически значимую величину в 0,25 % при внесении Лигногумата как самостоятельно, так и в смеси с микробиологическим препаратом Байкал-ЭМ непосредственно в почву. Это обусловлено комплексом благоприятных обстоятельств: повышение урожайности сопровождается увеличением поступления пожнивных остатков, усиление биологической активности за счет применения биологического препарата Байкал-ЭМ стимулирует их трансформацию, наличие гуминовых веществ, входящих в Лигногумат, способствует гумификации.

Подобные положительные эффекты следует отметить и при рассмотрении структурных характеристик почвы, Лигногумат и Байкал-ЭМ проявили схожие механизмы, которые усилили друг друга при совместном внесении обоих препаратов. Так, динамика коэффициента структурности характеризовалась стабильным ростом во время вегетации озимой пшеницы и не была подвержена существенным сезонным влияниям. Снижение же этого показателя при возделывании ярового ячменя связано с прекращением внесения удобрений и препаратов, фактически наблюдалось только последствие препаратов. Сказалась и более высокая интенсивность вегетационных процессов яровой культуры. Похожие тенденции прослеживаются и при исследовании содержания в почве водопрочных агрегатов. Способность обоих препаратов проявлять клеящие свойства и тем самым стабилизировать водопрочную структуру проявилась в снижении деградиционных процессов.

Ферментативная активность чернозема обыкновенного проявила различную отзывчивость на фолиарную и почвенную обработку биологи-

чески активными веществами. Инвертаза продемонстрировала инертность к действию биологических препаратов, и только их совместное применение вызвало небольшое увеличение активности этого фермента. Каталаза оказалась более информативной в качестве индикатора процессов, происходящих в почве при внесении биологически активных веществ. Активность каталазы значительно более выражена в варианте сочетанного применения Лигногумата и Байкала-ЭМ по сравнению с фоном и остальными вариантами.

По итогам проведенных исследований обработка Лигногуматом вегетирующих растений не вносит сколько-нибудь статистически значимых изменений в структурное и ферментативное состояние чернозема. Наиболее эффективным и благоприятным с агрофизической точки зрения оказывается совместное внесение биологических препаратов непосредственно в почву, когда действие вносимых молочнокислых бактерий препарата Байкал-ЭМ усиливается гуминовыми веществами Лигногумата.

### **Список источников**

1. Shivilata L., Satyanarayana T. Actinobacteria in agricultural and environmental sustainability // *Agro-Environmental Sustainability*. Cham: Springer, 2017. P. 173–218. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-49724-2\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-49724-2_9).
2. Chapter 9 – Future perspective in organic farming fertilization: Management and product / J. D. Flores-Félix, E. Menéndez, R. Rivas, M. de la Encarnación Velázquez // *Organic Farming. Global Perspectives and Methods*. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. 2019. P. 269–315. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813272-2.00010-0>.
3. Soil aggregate microbial communities: Towards understanding microbiome interactions at biologically relevant scales / R. L. Wilpiseski, J. A. Aufrecht, S. T. Retterer, M. B. Sullivan, D. E. Graham, E. M. Pierce, O. D. Zablocki, A. V. Palumbo, D. A. Elias // *Applied and Environmental Microbiology*. 2019. Vol. 85, № 14. <https://doi.org/10.1128/AEM.00324-19>.
4. Chemical properties and processes / H. P. Blume, G. W. Brümmer, H. Fleige, R. Horn, E. Kandeler, I. Kögel-Knabner, R. Kretzschmar, K. Stahr, B. M. Wilke // *Scheffer/Schachtschabel Soil Science*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2016. P. 123–174. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-30942-7\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-642-30942-7_5).
5. Soil structure as an indicator of soil functions: A review / E. Rabot, M. Wiesmeier, S. Schluter, H. J. Vogel // *Geoderma*. 2018. Vol. 314. P. 122–137. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.11.009>.
6. Lamandé M., Schjønning P. Soil mechanical stresses in high wheel load agricultural field traffic: A case study // *Soil Res*. 2018. 56. P. 129–135. <https://doi.org/10.1071/SR17117>.
7. The importance of plants to development and maintenance of soil structure, micro-

bial communities and ecosystem functions / F. M. Vezzani, C. Anderson, E. Meenken, R. Gillespie, M. Peterson, M. H. Beare // *Soil Tillage Res.* 2018. Vol. 175. P. 139–149. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.09.002>.

8. Long-term no-till as a means to maintain soil surface structure in an agroecosystem transformed into irrigation / E. Pareja-Sánchez, D. Plaza-Bonilla, M. C. Ramos, J. Larnpurlanes, J. Alvaro-Fuentes, C. Cantero-Martinez // *Soil Tillage Res.* 2017. Vol. 174. P. 221–230. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.07.012>.

9. Microbes: A sustainable approach for enhancing nutrient availability in agricultural soils / A. Sahu, S. Bhattacharjya, A. Mandal, J. K. Thakur, N. Atoliya, N. Sahu, M. C. Manna, A. K. Patra // *Role of Rhizospheric Microbes in Soil*. Singapore: Springer, 2018. P. 47–75. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-0044-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-13-0044-8_2).

10. Rhizospheric organic acids as biostimulants: Monitoring feedbacks on soil microorganisms and biochemical properties / S. Macias-Benitez, A. M. Garcia-Martinez, P. C. Jimenez, J. M. Gonzalez, M. T. Moral, J. P. Rubio // *Front. Plant Sci.* 2020. 11. 633. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00633>.

11. Effect of humic preparation on winter wheat productivity and rhizosphere microbial community under herbicide-induced stress / O. S. Bezuglova, A. V. Gorovtsov, E. A. Polienko, V. E. Zinchenko, A. V. Grinko, V. A. Lykhman, M. N. Dubinina, A. Demidov // *Journal of Soils and Sediments.* 2019. 19. P. 2665–2675. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-02240-z>.

12. Influence of humic preparations on the content of carbohydrates in structural units and their water resistance / V. A. Lykhman, A. I. Klimenko, M. N. Dubinina, O. I. Naimi, E. A. Polienko // *E3S Web Conf.* Vol. 210. Innovative Technologies in Science and Education (ITSE-2020). 2020. Article number: 04005. 12 p. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021004005>.

13. Влияние на агрегатный состав чернозема обработки посевов баковой смесью гуминового препарата и гербицида / В. А. Лыхман, А. И. Клименко, М. Н. Дубинина, Е. А. Полиенко, О. И. Наими // *Земледелие.* 2020. № 8. С. 3–7. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10801.

14. Calvo P., Nelson L., Kloepper J. W. Agricultural uses of plant biostimulants // *Plant and Soil.* 2014. 383. P. 3–41. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>.

15. Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: formulations and practical perspectives (1998–2013) / Y. Bashan, L. E. de-Bashan, S. R. Prabhu, J. P. Hernandez // *Plant and Soil.* 2014. 378. P. 1–33. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1956-x>.

16. Vaezi A. R., Eslami S. F., Keesstra S. Interrill erodibility in relation to aggregate size class in a semi-arid soil under simulated rainfalls // *Catena.* 2018. 167. P. 385–398. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.05.003>.

## References

1. Shivilata L., Satyanarayana T., 2017. Actinobacteria in agricultural and environmental sustainability. *Agro-Environmental Sustainability*. Cham, Springer, pp. 173-218, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-49724-2\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-49724-2_9).

2. Flores-Félix J.D., Menéndez E., Rivas R., Encarnación Velázquez M., 2019. Chapter 9 – Future perspective in organic farming fertilization: Management and product. *Organic Farming. Global Perspectives and Methods*. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, pp. 269-315, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813272-2.00010-0>.

3. Wilpiseski R.L., Aufrecht J.A., Retterer S.T., Sullivan M.B., Graham D.E., Pierce E.M., Zablocki O.D., Palumbo A.V., Elias D.A., 2019. Soil aggregate microbial communities: Towards understanding microbiome interactions at biologically relevant scales. *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 85, no. 14, <https://doi.org/10.1128/AEM.00324-19>.

4. Blume H.P.K., Brümmer G.W., Fleige H., Horn R., Kandeler E., Kögel-Knabner I.,



Kretzschmar R., Stahr K., Wilke B.M., 2016. Chemical properties and processes. Scheffer/Schachtschabel Soil Science. Berlin, Heidelberg, Springer, pp. 123-174, [https://doi.org/10.1007/978-3-642-30942-7\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-642-30942-7_5).

5. Rabot E., Wiesmeier M., Schluter S., Vogel H.J., 2018. Soil structure as an indicator of soil functions: A review. *Geoderma*, vol. 314, pp. 122-137, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.11.009>.

6. Lamandé M., Schjønning P., 2018. Soil mechanical stresses in high wheel load agricultural field traffic: A case study. *Soil Res.*, 56, pp. 129-135, <https://doi.org/10.1071/SR17117>.

7. Vezzani F.M., Anderson C., Meenken E., Gillespie R., Peterson M., Beare M.H., 2018. The importance of plants to development and maintenance of soil structure, microbial communities and ecosystem functions. *Soil Tillage Res.*, vol. 175, pp. 139-149, <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.09.002>.

8. Pareja-Sánchez E., Plaza-Bonilla D., Ramos M.C., Larnpurlanes J., Alvaro-Fuentes J., Cantero-Martínez C., 2017. Long-term no-till as a means to maintain soil surface structure in an agroecosystem transformed into irrigation. *Soil Tillage Res.*, vol. 174, pp. 221-230, <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.07.012>.

9. Sahu A., Bhattacharjya S., Mandal A., Thakur J.K., Atoliya N., Sahu N., Manna M.C., Patra A.K., 2018. Microbes: A sustainable approach for enhancing nutrient availability in agricultural soils. *Role of Rhizospheric Microbes in Soil*. Singapore, Springer, pp. 47-75, [https://doi.org/10.1007/978-981-13-0044-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-13-0044-8_2).

10. Macias-Benitez S., Garcia-Martinez A.M., Jimenez P.C., Gonzalez J.M., Moral M.T., Rubio J.P., 2020. Rhizospheric organic acids as biostimulants: Monitoring feedbacks on soil microorganisms and biochemical properties. *Front. Plant Sci.*, 11, 633, <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00633>.

11. Bezuglova O.S., Gorovtsov A.V., Polienko E.A., Zinchenko V.E., Grinko A.V., Lykhman V.A., Dubinina M.N., Demidov A., 2019. Effect of humic preparation on winter wheat productivity and rhizosphere microbial community under herbicide-induced stress. *Journal of Soils and Sediments*, 19, pp. 2665-2675, <https://doi.org/10.1007/s11368-018-02240-z>.

12. Lykhman V.A., Klimenko A.I., Dubinina M.N., Naimi O.I., Polienko E.A., 2020. Influence of humic preparations on the content of carbohydrates in structural units and their water resistance. *E3S Web Conf. Vol. 210. Innovative Technologies in Science and Education (ITSE-2020)*, article number: 04005, 12 p., <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021004005>.

13. Lykhman V.A., Klimenko A.I., Dubinina M.N., Polienko E.A., Naimi O.I., 2020. *Vliyanie na agregatnyy sostav chernozema obrabotki posevov bakovoy smes'yu guminovogo preparata i gerbitsida* [The influence of treating crops with the tank mixture of the humic preparation and the herbicide on the aggregate composition of chernozem]. *Zemledelie* [Farming], no. 8, pp. 3-7, DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10801. (In Russian).

14. Calvo P., Nelson L., Kloepper J.W., 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383, pp. 3-41, <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>.

15. Bashan Y., Bashan L.E., Prabhu S.R., Hernandez J.P., 2014. Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: formulations and practical perspectives (1998–2013). *Plant and Soil*, 378, pp. 1-33, <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1956-x>.

16. Vaezi A.R., Eslami S.F., Keesstra S., 2018. Interrill erodibility in relation to aggregate size class in a semi-arid soil under simulated rainfalls. *Catena*, 167, pp. 385-398, <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.05.003>.

---

#### **Информация об авторах**

**М. Н. Дубинина** – научный сотрудник;

**В. А. Лыхман** – старший научный сотрудник, кандидат биологических наук;

**О. С. Безуглова** – главный научный сотрудник, доктор биологических наук, профессор;  
**О. И. Наими** – старший научный сотрудник, кандидат биологических наук;  
**Е. А. Полиенко** – ведущий научный сотрудник, кандидат биологических наук.

***Information about the authors***

**M. N. Dubinina** – Researcher;  
**V. A. Lykhman** – Senior Researcher, Candidate of Biological Sciences;  
**O. S. Bezuglova** – Chief Researcher, Doctor of Biological Sciences, Professor;  
**O. I. Naimi** – Senior Researcher, Candidate of Biological Sciences;  
**E. A. Polienko** – Leading Researcher, Candidate of Biological Sciences.

*Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.*

*Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*The authors declare no conflicts of interests.*

*Статья поступила в редакцию 12.10.2021; одобрена после рецензирования 25.11.2021; принята к публикации 21.12.2021.*

*The article was submitted 12.10.2021; approved after reviewing 25.11.2021; accepted for publication 21.12.2021.*