



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ РОСТОВСКИЙ
АГРАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР»
(ФГБНУ ФРАНЦ)**

**БЕЗУГЛОВА О.С., ЛЫХМАН В.А.,
ПОЛИЕНКО Е.А., ГОРОВЦОВ А.В.**

ГУМИНОВЫЕ ПРЕПАРАТЫ И СТРУКТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ ЧЕРНОЗЕМНЫХ И КАШТАНОВЫХ ПОЧВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ



**БЕЗУГЛОВА О.С., ЛЫХМАН В.А.,
ПОЛИЕНКО Е.А., ГОРОВЦОВ А.В.**

**ГУМИНОВЫЕ ПРЕПАРАТЫ И
СТРУКТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ
ЧЕРНОЗЕМНЫХ И КАШТАНОВЫХ ПОЧВ
РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

УДК 631.43:631.8
ББК 40.1; 40.3
Г 94

*Печатается по решению Объединенного учёного совета ФГБНУ
ФРАНЦ (протокол № 2 от 25.09.2020)*

Рецензенты:

доктор биологических наук, профессор, зав. кафедрой физики почв
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова
А.Б. Умарова

доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник
Федерального Ростовского аграрного научного центра
И.Н. Ильинская

Авторы: доктор биологических наук *О.С. Безуглова*
кандидат биологических наук *В.А. Лыхман*
кандидат биологических наук *Е.А. Полиенко*
кандидат биологических наук *А.В. Горовцов*

Безуглова, О. С.

Г 94 **Гуминовые препараты и структурное состояние черноземных и каштановых почв Ростовской области:** монография / Безуглова О.С., Лыхман В.А., Полиенко Е.А., Горовцов А.В.; Федеральный Ростовский аграрный научный центр; Издательство ООО «АзовПринт», 2020. – 188 с.
ISBN 978-5-6045262-5-5

В монографии изложены результаты многолетних исследований по изучению влияния биологически активных веществ на структурно-агрегатное состояние черноземов и тёмно-каштановой почвы и урожайность сельскохозяйственных культур. Книга предназначена для научных работников, специалистов сельского хозяйства, студентов вузов.

УДК 631.43:631.8
ББК 40.1; 40.3

ISBN 978-5-6045262-5-5

© Федеральный Ростовский аграрный научный центр, 2020
© Безуглова О.С., Лыхман В.А., Полиенко Е.А., Горовцов А.В., 2020
© Оформление. Макет. Издательство ООО «АзовПринт», 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 СТРУКТУРА КАК ФАКТОР ПЛОДОРОДИЯ	9
1.1 Понятие о структуре и структурообразовании	9
1.2 Влияние структурного состояния почвы на ее плодородие	17
1.3 Влияние минеральных удобрений на структуру почвы	23
1.4 Роль гумусовых веществ в структурообразовании	28
1.5 Связь структурного состояния почвы с микробиологической активностью	39
1.6 Влияние корневых систем растений на структурное состояние почв	47
2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ	59
2.1 Почвенно-климатические условия Ростовской области	59
2.2 Объект исследования	64
2.2.1 <i>Характеристика почвы</i>	64
2.2.2 <i>Организация исследований</i>	67
2.2.3 <i>Гуминовые препараты</i>	71
2.2.4 <i>Биологические особенности возделываемых культур</i>	81
2.3 Методы исследования	87
3. ПРИМЕНЕНИЕ ГУМИНОВЫХ ПРЕПАРАТОВ В УСЛОВИЯХ ПОЛЕВОГО ОПЫТА	91
3.1 Влияние гуминовых препаратов на структурное состояние почвы	91
3.2 Оценка влияния гуминовых препаратов на распределение фракций агрономически ценных агрегатов чернозёма обыкновенного карбонатного в различные сезоны годового цикла	116

3.3 Связь структурного состояния с биологической активностью почвы и влияние на этот показатель гуминовых препаратов.....	128
4. ВЛИЯНИЕ ГУМИНОВЫХ ПРЕПАРАТОВ НА УРОЖАЙНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР.....	146
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	156
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	161

Он [чернозём] напоминает нам арабскую чистокровную лошадь, загнанную, забитую. Дайте ей отдохнуть, восстановите ее силы, и она опять будет никем не обогнанным скакуном. То же и с чернозёмом: восстановите его зернистую структуру, и он опять будет давать несравнимые урожаи.

В.В. Докучаев, Лекции о почвоведении. Третья лекция. Избранные соч., Т.3. М., 1949. С.354

ВВЕДЕНИЕ

Современное ведение сельского хозяйства предполагает применение новейших методик химизации производства, в том числе и точное земледелие, обеспечивающее высокие показатели урожайности. При этом основное внимание уделяется различным методам поддержания в почве расчетного уровня элементов питания и органического вещества. Созданию в почве оптимальных агрофизических свойств, исследованиям влияния нетрадиционных почвоулучшателей (биогумус, вермикомпост, сапропель) на свойства почв, отводится значительно меньше внимания. В то же время эксплуатация почвенного покрова в сельскохозяйственных целях с применением комплекса почвообрабатывающих машинных технологий сопровождается, как правило, деградацией физических свойств: переуплотнением подпахотного и нижней части пахотного горизонтов, а также диспергацией агрономически ценных агрегатов. Сни-

жение количества агрономически ценных агрегатов, их водоустойчивости ведет к трансформации пространственно-функциональной организации почв и, как следствие, ухудшению почвенных режимов – резкой смене периодов недостатка и избытка влаги, снижению доступного кислорода, иному температурному режиму. Смена почвенных режимов, в свою очередь, ведет к трансформации химических и биологических свойств, снижению почвенного плодородия и биологического разнообразия

И с этой точки зрения необходимо отметить определенный резерв за использованием биологически активных веществ, и прежде всего гуминовых препаратов, в результате применения которых происходит значительная активизация почвенной микрофлоры и увеличивается скорость биохимических реакций в системе микроорганизмы ↔ почва ↔ растение. Как следствие оптимизируется дыхание и газовый обмен, разложение и синтез органического вещества, увеличивается запас органического вещества, происходит более быстрая и полная гумификация растительных остатков (Горовая и др., 1995; Якименко, 2016; Демин и др., 2006; Куликова, 2008).

Многолетние исследования подтверждают положительное воздействие гуминовых веществ на агрофизические свойства и конкретно на структурное состояние возделываемой почвы, в том числе водопрочность агрегатов (Владыченский, Лебедева, 1949; Кураченко, 2001; Шеин и др., 2005; Лыхман и др., 2014, 2015). Возможно, что это влияние опосредованное, так как известно стимулирующее действие гуминовых веществ на численность и активность микроорганизмов (Кудрина, 1951; Рыбалкина, 1958; Мирошниченко, 1962; Александрова, 1972; Mosley, 1998; Безуглова, 2001; Тихонов и др., 2010; Безуглова и др., 2015; Горовцов и др., 2015; Изосимов, 2016). В свою очередь бактерии и грибы в процессе

своей жизнедеятельности выделяют различные органические вещества, которые являются для почвенных частиц коагулирующим агентом (Гельцер, 1940).

Необходимо также отметить важнейшую функцию гуминовых веществ, способствующих формированию почвенной органо-минеральной матрицы, обеспечивающей структурную организацию почвы (Зубкова, Карпачевский, 2001; Апарин, 2012). Отметим, что изменение агрофизических показателей, которые сами по себе имеют определенную сезонную динамику и зависят от особенностей ведения земледелия, является одним из признаков трансформации почв, обусловленных антропогенной деятельностью, и слишком часто эти колебания идут со знаком минус, свидетельствующим о деградиционных процессах (Королев, 2008). Именно агрофизическая деградация в настоящее время принимает широкие масштабы и представляет существенную угрозу плодородию почв, нормальному функционированию почвенного покрова и наземных экосистем в целом, что и обуславливает актуальность этого направления исследований.

Стимулирующее действие гуминовых удобрений и препаратов на растения, активизация их резистентности к негативным последствиям абиогенных и биогенных факторов биогеоценоза были отмечены значительным количеством научно-практических работ (Горовая, 1993; Горовая и др., 1995; Перминова, Жилин, 2004). Менее изучена роль гуминовых веществ в процессах формирования структурно-агрегатного состава, которые тесно связаны с микробиологической и ферментативной активностью. Взятые суммарно, в комплексе, вышеперечисленные факторы определяют плодородие почвы и, как следствие, продуктивность фитомассы.

За последние 50 лет проведено большое количество модельных и полевых экспериментов, которые подтвердили эффективность

применения гуминовых соединений, опубликованы монографии, раскрывающие механизмы влияния гуминовых препаратов торфяной природы на продуктивность растительных сообществ (Касимова, Порываева, 2004; Chen, 1990; Clapp et al, 2001). Однако исследований, посвященных влиянию гуминовых препаратов на структурное состояние почв явно недостаточно.

Поэтому основная цель данных исследований заключалась в выяснении влияния биологически активных веществ на структурно-агрегатное состояние черноземов и тёмно-каштановой почвы. Проведенные исследования показали, что гуминовые препараты улучшают такие показатели структурного состояния чернозема обыкновенного карбонатного и других почв Ростовской области, как водопрочность и коэффициент структурности. Изменение этих показателей происходит за счет увеличения в составе фракций доли агрегатов размером от 1 до 0,5 мм, характеризующихся высокой агрономической ценностью в силу своей высокой водопрочности и участия в создании оптимального водно-воздушного режима почвы (Качинский, 1965). Способствует этим изменениям рост биологической активности, определяемый по таким показателям как ферментативная активность и численность микроорганизмов.

Динамика плодородия почвы должна находиться в зависимости от характера структурности почвы, так как она, несомненно, тесно связана с динамикой тех почвенных процессов (водный, воздушный, микробиологический режим почвы), направление которых в той или другой степени регулируется физическим состоянием почвы.

*К.К. Гедройц, Избранные научные труды.
М.: Наука, 1975. С. 559*

1. СТРУКТУРА КАК ФАКТОР ПЛОДОРОДИЯ

1.1 Понятие о структуре и структурообразовании

Присутствие в почве различных агрегатов естествоиспытатели отмечали еще в 18 веке. Так, М.И. Афонин в своем докладе в Императорском Московском университете «Слово о пользе, знании, собирании и расположении чернозему особливо в хлебопашестве» (1771) упоминает об «ореховом» или «лесном чернозёме», характеризуя его как плодородную землю, сочетающую в себе «как жирность, так и теплоту», благодаря чему растения дружно всходят и хорошо растут (стр. 20–21). Один из авторитетных исследователей второй половины 18-го века И.М. Комов писал: чернозём «всегда мягким и сочным бывает, отчего, когда его пашут, то глыбы, плугом подрезанные, блестят и, полежав на воздухе, в мелкие комочки рассыпаются. И так сия земля ни слишком суха и горяча, ни слиш-

ком мокра и студена, но умеренно сочна и тепла бывает; при том, будучи посредственно рыхла, дожди и росы в себя принимает и не скоро из себя испускает, а оттого и питательного соку много в себе содержит...» (Комов, 1788, стр. 140). К концу 19 века этим почвенным феноменом заинтересовались западноевропейские ученые, которые при помощи лизиметрических и лабораторных опытов установили зависимость различных физических свойств почвы от размера её комочков и от содержания пыли (Раманн, 1901).

Сооснователь науки о почве П.А. Костычев (1911) также обращал внимание ученого сообщества на необходимость исследования агрофизических свойств почв. Он отмечал, что после обработки плугом целинных почв, нарушается их структура и, как следствие, снижаются урожаи. При этом он писал, что, если такую почву оставить на год без распашки (перелог), то степная растительность восстанавливает плодородие почвы. Кстати, данный приём широко использовался в хозяйствах того времени, он является предшественником паровой системы земледелия.

Ближе к середине 20 века почвенной структуре в почвоведении стали уделять больше внимания. В данном направлении отметилась целая плеяда известнейших ученых: И.Н. Антипов-Каратаев, П.В. Вершинин, Н.А. Качинский и др. Первостепенное значение агрофизическому состоянию почвы в плодородии отдавал В.Р. Вильямс (1919, 1935, 1952). Он считал, что только благоприятные агрофизические условия позволяют эффективно реализовывать различные методы повышения плодородия, в том числе внесение удобрений. В связи с этим, все агротехнические мероприятия были нацелены на формирование и поддержание почвенной структуры, прежде всего, за счет введения травопольной системы (Бушинский, 1942). При этом, несмотря на все возрастающую популярность данного направления, появлялась информация, что высоким плодородием ха-

рактируются и бесструктурные почвы, если они обладают благоприятным водным и воздушным режимом. К середине 20-го века интерес к травопольной системе стал угасать, что на развитии учения о почвенной структуре и структурообразовании сказалось негативным образом. Тем не менее, к этому моменту уже было доказано, что структурные почвы гораздо устойчивее бесструктурных к заплыванию, дольше сохраняют своё строение, требуют меньших усилий при обработке, они не переуплотняются, устойчивы к дефляции и водной эрозии, что является наглядной демонстрацией взаимосвязи структуры и плодородия почвы. Несмотря на критику травопольной системы и утрату интереса к агрофизике в целом, исследования в данном направлении все же осуществлялись. Так, например, академик В.В. Медведев продолжал эксперименты, применяя метод многофакторных модельных опытов, с использованием математического анализа. Итогом его работы явилась объемная монография, в которой рассмотрены вопросы генезиса, классификации, эволюции структуры почв в географическом аспекте (Медведев, 2008).

По классификации П.В. Вершинина (1953) выделяют микроструктуру, макроструктуру и мегаструктуру. Агрегаты размером меньше 0,25 мм называют микроструктурой, от 0,25 до 10 мм – макроструктурой и более 10 мм – мегаструктурой (глыбистой). Агрономическое значение имеют микро- и макроструктура. Согласно исследованиям В.Р. Вильямса (1950), оптимальные условия для вегетации растительных организмов создаются при величине структурных отдельностей в почве от 1 до 10 мм. Работы современных исследователей содержат информацию, о том, что в почвах, в частности в чернозёмах, у которых при нормальных условиях в верхней части пахотного горизонта преобладают агрегаты от 0,25 до 3 мм, транспирация влаги гораздо меньше, чем при доминировании отдельностей размером 5–10 мм. По данным В.А. Францессона (1963),

почвы с агрегатами менее 0,25 мм, являющимися агрономически не ценными, обладают значительной водопроницаемостью, однако, они более подвержены дефляции, чем почвы, в которых преобладают отдельные, относящиеся к макроструктуре. Отмечается, что наиболее подверженными дефляции являются агрегаты диаметром от 0,05 до 0,4 мм, устойчивы к ветровому переносу агрегаты размером от 0,4 до 0,8 мм и наиболее дефляционно-резистентными показали себя отдельные крупнее 0,8 мм (Blackwood, 2006).

Помимо устойчивости к ветровой эрозии, важнейшим качеством почвенных агрегатов является их прочность. П.А. Костычев (1911) писал: «Если почва может образовывать комки или принимать комковатую структуру, то с хозяйственной точки зрения важно знать, как долго может сохраняться эта структура при хозяйственных и естественных условиях данной почвы, или, другими словами, важно знать, насколько прочна эта структура».

Способность почвы противостоять размывающему действию воды называют водопрочностью структуры. Слабопрочные агрегаты под влиянием талых вод и осадков подвергаются деструкции, происходит слитизация более мелких частиц, и появляется корка. В таких почвах нарушается водопроницаемость, аэрация, происходит деградация аэробных микроорганизмов и, как следствие, уменьшается содержание доступных элементов питания для растений. И, наоборот, при возрастании числа водопрочных частиц в почве, уменьшается её связность, которая зависит от наличия межмолекулярных сил в почвенных агрегатах. Связь двух сферических частиц Б.В. Дерягин, И.И. Абрикосова (1956) отразили выражением:

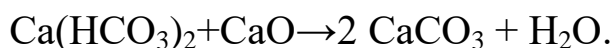
$$F=4\pi (r1 \times r2)/(r1+ r2) \times v , \quad (1)$$

где F – сила прилипания; $r1$, и $r2$ – радиусы частиц; v – поверхностное натяжение на границе раздела частиц и среды.

Впоследствии данная формула была преобразована П.В. Вершининым, так как почвенные агрегаты, преимущественно имеющие неправильную форму, слипаются только при наличии влаги, однако, в сухом состоянии могут содержать поглощенный воздух.

Необходимо отметить, что структура почвы зависит от влажности, количества органического вещества и состава поглощенных катионов (Вершинин, 1935). Еще ранее К. К. Гедройц (1912) показал, что структурно-агрегатный состав почвы зависит от содержания коллоидных частиц и состава поглощающего комплекса. Основную роль в образовании структуры играют давление и коагуляция. Для коагуляции коллоидной фракции и склеивания частиц почвы важно, чтобы коллоиды пребывали в уплотненном состоянии. Плотное и компактное состояние коллоидных частиц создается, соответственно, только под давлением, которое перманентно возникает при последовательной смене состояний увлажнения, замораживания и высушивания почвы. Свертывание почвенных коллоидов представляет собой необратимый процесс, т.е. при распылении их после коагуляции они теряют способность свертываться вновь (Гедройц, 1912).

В создании структуры цементирующим фактором служит CaCO_3 , образующийся из бикарбоната кальция по реакциям:



В первом случае CaCO_3 образуется при высыхании почвы, а во втором – при промывании раствора с бикарбонатом кальция в подпочвенный слой, содержащий в избытке CaO (Гедройц, 1912).

Некоторые американские ученые, в своих работах обращают внимание на трансформацию фосфорных удобрений в растворимые

фосфаты, которые в свою очередь, являются цементирующими веществами при агрегировании почвенных частиц (Jansa et al., 2005). Однако отечественные ученые, в частности К.К. Гедройц, утверждали, что главную роль в структурообразовании почвы имеют коллоиды, а именно органическая часть (Гедройц, 1912).

Последние 10–15 лет эта гипотеза претерпела некоторые уточнения, связанные с составом гумусовой матрицы почвы, проведенные исследования указывают на то, что почвенные гели это не просто скопление так называемых наночастиц или макромолекул. Данные подтверждают наличие супермолекул, то есть образований, состоящих из множества частиц размером на порядки больше обычных коллоидов (Piccolo et al., 2001). Соответственно, можно сделать вывод, о многоуровневой организации гумусовой матрицы почвы, а это, в свою очередь, позволяет менять свойства почв путем введения различных ионов, которые, уменьшая гидрофильность гумусовых веществ, таким образом будут оказывать сильное влияние на ферментативную активность и фракционный состав гумуса (Swaby, 1949).

Основываясь на всем вышеизложенном необходимо отметить, что при различной хозяйственной или восстановительной деятельности человека на почвах необходимо учитывать все возможные гипотезы механизмов агрегирования. Иными словами, использовать различные методы оструктурирования: биологические, физико-химические, химические и физические.

Помимо стандартных способов оструктурирования почв агротехнологическими приемами, осуществлялись эксперименты по изучению искусственных структурообразователей. Самая ранняя работа на эту тему была выполнена В.Р. Вильямсом под руководством профессора А.А. Фадеева еще в его студенческие годы в конце XIX в. (цит.: по Панов, Кулаков, 1984). Они подготовили аммиач-

но-гумусовую вытяжку из северного чернозема и использовали ее для оструктурирования смеси песка и илистой фракции из глины. Позднее подобные опыты были выполнены Н.И. Саввиновым (Savvinov, 1934; Саввинов, 1936а).

Самые знаковые эксперименты по искусственному оструктурированию почвы были осуществлены П.В. Вершининым, П.В. Константиновой (Вершинин, 1935; Вершинин, Константинова, 1937). В качестве структурообразователей исследовали торфяной клей, смоляной клей и вискозу. Согласно мнению вышеприведенных ученых, внесенные в почву структурообразователи должны покрыть поверхность ее частиц сплошным мономолекулярным слоем. В результате изменится поверхностная энергия на границе двух контактирующих твердых фаз и произойдет их свертывание (Качинский, 1967).

По расчетам П. В. Вершинина (1935) для оструктурирования пахотного слоя требуется внести от 0,5 до 1 % структурообразователя на гектар (12–24 тонн). В свое время большой интерес в нашей стране и за рубежом вызвало изучение в качестве структурообразователей полимеров и сополимеров (высокомолекулярных соединений), которые в дальнейшем получили название крилиумы. Это в основном производные трех органических кислот (William J. Orts et al., 2007):

- 1) акриловой ($\text{CH}_2 = \text{CH}-\text{COOH}$),
- 2) метакриловой [$\text{CH}_2 = \text{C}(\text{CH}_3) - \text{COOH}$]
- 3) малеиновой ($\text{COOH}-\text{CH} = \text{CH}-\text{COOH}$)

Л.Н. Абросимова (1964) в ходе экспериментов выяснила, что при использовании структурообразователей водопрочность агрономически ценных агрегатов в пахотном слое повышается на 10–30 %, а в подпахотном – на 22–37 %. Искусственно созданная структура почвы сохраняется в течение трех лет. В опытах

И.А. Крупеникова и Н.И. Роговской (1966) полимеры позитивно влияли на агрофизические свойства почвы, увеличивая водопрочность комочков на 20–30 %. Этими исследованиями выявлено несколько ценных структурообразователей, но их производство обходится дорого, а поэтому они не получили распространения в сельском хозяйстве.

Н.А. Качинский (1967) утверждал, что искусственные структурообразователи станут широко применяться в сельском хозяйстве в том случае, если они будут: 1) способствовать созданию устойчивой, водопрочной и пористой структуры; 2) не снижать биологическую активность почвы; 3) не растворяться в воде после коагуляции или денатурирования; 4) распадаться в течение не ранее одной ротации севооборота; 5) дешевыми и обладать активным свойством, чтобы вносить их в небольших дозах (0,6–1 т на 1 га).

В направлении улучшения агрофизических свойств почвы, в частности – структуры почвы, осуществлена масштабная научная и практическая работа, итогом которой являются исследования ряда различных сложных процессов. Однако проблема остается актуальной и ею необходимо заниматься. Почвы с устойчивой структурой, обладают оптимальными агрофизическими свойствами, наиболее благоприятной аэрацией и достаточным для вегетации растений содержанием доступных элементов питания. Такие почвы наиболее устойчивы к разрушению. Они не заплывают и не подвержены коркообразованию.

Но из этого нельзя сделать вывод, что почвы, не имеющие агрономически ценной структуры, неплодородны или малоплодородны, и непригодны для выращивания сельскохозяйственных культур. При правильной агротехнике на этих почвах вполне можно получать высокие урожаи (Hardan, Al-Ani, 1978). Так, по данным научно-исследовательских учреждений, структура в дерново-

подзолистых почвах мобильная, она не только создаётся, но и разрушается под действием осадков, частой и несвоевременной обработки, особенно в переувлажненных и сухих почвах, при выпасе скота, усиленной минерализации гумуса и т.д. (Shiel et al, 1978).

1.2 Влияние структурного состояния почвы на ее плодородие

Согласно классическому определению, плодородие – способность почвы удовлетворять потребность растений в элементах питания, влаге и воздухе, а также обеспечивать условия для их нормальной жизнедеятельности. Это эмерджентное свойство почвы – только при взаимодействии компонентов почвы проявляется плодородие. Компонентами почвы, участвующими в создании плодородия в первую очередь, являются гумус, вода, воздух, глина и песок, минеральные элементы (азот, фосфор, калийные соли и соли микроэлементов) (Бирецкий, 1959).

С давних пор человек оценивает почву, главным образом, с точки зрения её плодородия, так как именно от плодородия зависит урожай. Почва – сложная система, которая живёт и развивается по своим законам, поэтому под плодородием нужно понимать весь комплекс почвенных свойств и процессов, определяющих нормальное развитие растений. Все процессы, происходящие в почве, связаны между собой. Исключение или ослабление какого-либо составляющего ведёт за собой изменение всего состава почвы и потерю ценных её качеств. Деградация почвы – цепная реакция, которую трудно остановить. Ухудшение земель снижает продуктивность растений. Почва в этом случае подвержена эрозии и вымыванию полезных веществ, что, в свою очередь, ведёт к снижению ак-

тивности микроорганизмов. Мероприятия по возобновлению плодородия почв долговременны, очень дорогостоящи и сложны, поэтому так важно следить за состоянием почвы, не допуская её истощения или загрязнения (Ибрагимова, 2005; Ильинова, 2009). Для определения плодородия почвы необходимо обратить внимание на её состав, кислотность, щёлочность, отношение к воде и кислороду. Обладая наблюдательностью и элементарными знаниями по биологии можно определить состояние почв и предпринять необходимые меры по улучшению или поддержанию почвенных свойств (Докучаев, 1951). В значительной степени на уровень плодородия почвы влияет ее структурное состояние.

В агрономическом понимании оптимальной структурой является лишь мелкокомковатая и зернистая структура, примерно в пределах агрегатов с диаметром 0,25–10 мм, по качеству пористая, механически упруго-прочная и водопропрочная, что обуславливает длительное сохранение структуры при повторных обработках почвы и после искусственного или естественного поверхностного ее увлажнения. Необходимо отметить значимость сочетания водопропрочности агрегата и оптимальной его порозности, так как в порах агрегата, как и на его поверхности, разворачивается, в основном, жизнь в почве. Например, в почвах с лучшей структурой – в обыкновенном, мощном и тучном черноземах – пористость агрегатов достигает 50 % к их объему, и в то же время, эти агрегаты водопропрочны, так как коллоиды в них необратимо скоагулированы катионами кальция и железа. Но можно получить весьма водопропрочные агрегаты другим путем – перемятием почвы в состоянии пасты и последующим агрегированием ее при перемешивании с давлением, как это рекомендовалось в работах Д.Г. Виленского (1961). Созданные по этому методу агрегаты весьма водопропрочны; они даже более водопропрочны, чем в черноземе, но слабо пористы. Пористость

их снижается до 35 % и ниже, причем большая часть ее приходится на неактивные поры. Водопрочность таких агрегатов обусловлена, в основном, двумя причинами:

а) большой площадью контакта между механическими элементами, а, следовательно, наилучшими условиями для атомного и молекулярного притяжения частиц;

б) затрудненным проникновением в агрегаты или полным отсутствием свободной гравитационной воды, размывающей структуру. Подобные агрегаты расплывутся в воде лишь после полного набухания скрепляющих их коллоидов. Структура этого типа агрономически неполноценна, так как поровое пространство агрегатов оказывается в значительной мере омертвевшим, в силу неактивности таких пор, и недоступности их для свободной воды и воздуха, а также корней растений и микроорганизмов (Шеин и др., 2005). Применение томографического анализа позволяет получить дополнительную информацию, раскрывающую роль различных видов пористости в формировании такого свойства как водопрочность структуры. Так, показано, что в агросерой лесной тяжелосуглинистой почве при увлажнении объём агрегата почвы увеличивается на 8–15 %. В исходных воздушно-сухих агрегатах преобладает открытая пористость (12–19 %) над закрытой (0,8–2,0 % от общей томографической). Однако при увлажнении доля закрытой пористости увеличивается, что указывает на существенные изменения в структуре порового пространства почв во влажном и сухом состояниях (Шеин, Дембовецкий и др., 2019).

Микроструктура, будучи водопрочной, например, в красноземах и желтоземах, сообщает положительные свойства макроагрегатам. Кроме того, она и непосредственно повышает влагоемкость почв, улучшает их водо- и воздухопроницаемость, играя как бы роль песчаных зерен и лёссовидной фракции. Однако она превос-

ходит последние по качеству, так как в отличие от песчаных зерен и крупной пыли микроагрегаты обладают внутриагрегатной порозностью, где сосредоточиваются вода, микроорганизмы, корневые волоски. В этой связи, как указывают Е.В. Шеин и др. (2005), становятся понятными вполне удовлетворительные свойства среднеазиатских сероземов, хотя макроструктура их выражена слабо. Обладая, в достаточной мере, коллоидной фракцией, и будучи насыщены ионом Ca^{+2} , эти почвы характеризуются прекрасно выраженной водопрочной микроструктурой, в основном, с размером зерен $> 0,01$ и $> 0,05$ мм, что обуславливает в них удовлетворительные величины влагоемкости, водо- и воздухопроницаемости. Но даже в этих аридных условиях весьма значительна роль и макроструктуры почвы. Об этом свидетельствует улучшение всех свойств почвы и повышение урожая хлопчатника в севооборотах с люцерной, которая известна своим оструктуривающим влиянием на почву.

Неблагоприятны для формирования плодородия почвы микроагрегаты размером средней пыли (0,01–0,005 мм). Они затрудняют водо- и воздухопроницаемость почвы, обуславливают ее высокую испаряющую способность и другие отрицательные свойства.

Таким образом, при оценке структуры нельзя ограничиваться только макроагрегатным анализом почвы, но необходимо проводить и микроагрегатный анализ, так как для свойств почвы, особенно физических свойств, очень важен качественный состав и микроагрегатов.

Следует также отметить, что не может быть стандартных размеров оптимальной структуры для всех почвенно-климатических зон. Чем влажнее климатическая зона, тем оптимальный размер структурных агрегатов должен быть крупнее, приближаясь к 10 мм, чтобы обеспечить лучшую водо- и воздухопроницаемость, а для заболоченных территорий – и водоотдачу почвы. Наоборот, в засуш-

ливых и сухих зонах, где необходимо сохранять влагу и где аэрация почв в избытке, оптимальные размеры агрегатов приближаются к размеру зерен. Однако здесь может проявиться новый ограничивающий фактор, а именно, дефляция пахотного слоя. Так, по данным В.А. Францессона, А.В. Герасимовой (1959), для условий Северного Казахстана и Западной Сибири агрегаты с диаметром >2 мм являются эффективным защитным противоэрозионным слоем. Менее полезна роль агрегатов, размер которых 1–2 мм, и совсем незначительна – у агрегатов $<0,5$ мм, так как последние, для условий черноземных почв, сравнительно легко переносятся ветром.

Очевидно, что различный характер пор в структурной и бесструктурной почвах должен в первую очередь обусловить различие и других физических свойств и режимов почвы: тепловых, водо- и воздухопроницаемость, влагоемкость, водоподъемную и испаряющую способность, а значит, и влажность почв. А так как водный, воздушный и тепловой режимы определяют характер процессов выветривания и синтеза в почве, и условия развития в ней живого населения, то ясно, что вся совокупность почвенных процессов в структурной и бесструктурной почве тяжелого гранулометрического состава будет протекать по-разному. Данное положение можно подтвердить многочисленными примерами, приведенными в работах российских ученых (Качинский, 1965; Добровольский и др., 1984; Польшов, 1966). Во всех случаях на почвах одного типа, одной генетической разности и в сходных агротехнических условиях структурная почва всегда характеризуется более благоприятными для сельскохозяйственных культур показателями, нежели бесструктурная или малоструктурная. Как уже отмечалось, ранее в почвоведении была принята следующая классификация структурных агрегатов: глыбистая структура – комки более 10 мм, макроструктура – от 0,25 до 10 мм, микроструктура – менее 0,25 мм. Благоприятные

размеры макро- и микроагрегатов для пахотной почвы в большей мере условны. Однако в условиях эрозионной опасности и в засушливых районах особое агрономическое значение приобретает увеличение размеров агрегатов до 1–2 мм в диаметре. Обобщив в обзорной статье более 30 источников, Л.А. Воеводина (2016) пришла к выводу, что наиболее благоприятными для продуктивности растений являются агрегаты почвы размером 2–3 мм. При этом необходимо наличие в агрегатах пор размером от 0,1 до 30 мкм, в которых создаются условия для сохранения доступной влаги для роста корней и жизнедеятельности бактерий.

В.В. Медведев (2008), резюмируя данные собственных модельных опытов и литературную информацию, сделал вывод, что оптимальное соотношение агрегатов формируется в зависимости от агрокультуры, точнее, от размера её семян и типа корневой системы, а также от величины увлажнения и питания, и даже от фазы вегетации растения. Возможно, влияние на формирование структуры и множества других факторов, например, генезиса и свойств самой частицы. Соответственно, универсальной оптимальной смеси из структурных отдельностей просто не существует. Содержание компонентов смеси должно отличаться в зависимости от конкретных условий. Столь большая вариабельность оптимального соотношения структур в пахотном слое естественным образом усложняет прикладное значение полученных результатов. Однако, приемлемой альтернативой в данном случае может быть дифференциация пахотного (или только посевного) слоя по структурному составу, учитывающая положительные свойства крупно- и мелкокомковатых смесей. В связи с этим В.В. Медведев высказывает предположение о том, что лучшим для зерновых культур будет слой, в верхней части которого преобладают крупные структурные компоненты, а в части, непосредственно контактирующей с семенами, – мелкие.

Роль почвенной структуры в обеспечении жизнедеятельности растений не достаточно полно освещена в научной литературе (Шишов, 2005). Слабо отражен в литературе и вопрос взаимодействия химических, биологических и физических факторов, и влияние этого комплекса на плодородие. Исследования физического строения пахотного слоя почвы на Уладово-Люлинецкой опытно-селекционной станции в стационарных опытах, проведенные С.В. Булынцевым (2001), показали, что структурное состояние почвы заметно меняется. По данным наблюдений с 1946 по 1979 гг. количество почвенных агрегатов размером <10 мм увеличилось с 14,00–20,34 до 42,0–47,1 %, а размером >0,25 мм с 0,38–2,46 до 3,0–4,4 %. За тот же период содержание агрономически ценных агрегатов (размером 0,25–10 мм) уменьшилось более, чем в 1,5 раза. Наблюдается значительное ухудшение структурного состояния обрабатываемых почв и в производственных условиях. Это связано с целым рядом причин, среди которых существенная роль принадлежит нерациональному применению минеральных удобрений.

1.3 Влияние минеральных удобрений на структуру почвы

Работы ученых в области агрохимии демонстрируют, что определенные виды и формы минеральных удобрений неодинаково влияют на свойства почв. Внесенные в почву удобрения вступают в сложные взаимодействия с нею. Здесь происходят всевозможные метаморфозы, которые зависят от массы факторов: химический состав удобрений и почвы, климатические условия, агротехника. Соответственно, от того, как происходит превращение отдельных

видов минеральных удобрений (фосфорных, калийных, азотных), зависит динамика почвенного плодородия (Penman, 1948).

Важнейший компонент агроландшафтов – почва. На ее качество влияет количество органического вещества, концентрация питательных элементов, находящихся, в доступной для растений форме, влажность, и это – далеко не полный перечень всех свойств, влияющих на её плодородие. Однако необходимо отметить, что лимитирующим фактором, в данном случае, выступает структура почвы, которая является своеобразным драйвером, соединяющим вышеперечисленные показатели с растительными организмами. К сожалению, в погоне за урожаем сельхозпроизводители уделяют больше внимания применению минеральных удобрений, это связано в первую очередь со стремлением получить прибыль в краткосрочной перспективе, не задумываясь о последствиях в будущем. Исследования подтверждают, что систематическое применение минеральных удобрений приводит к возрастанию подвижности различных микроэлементов. В свою очередь это приводит к возникновению в пахотном слое дефицита В, Zn, Cu, Mn (Головина и др., 1984). Ограниченное поступление микроэлементов в растения негативно влияет на процессы фотосинтеза, снижает их резистентность к заболеваниям, недостаточному и избыточному увлажнению, высоким и низким температурам (Володько, 1983; Миллер, Беккер, 1983; Анспок, 1978.) Главным фактором aberrаций в метаболизме растительных организмов при недостатке микроэлементов является снижение ферментативной активности, которая находится в определенной зависимости от агрофизических свойств почвы. Даже малые дозы минеральных удобрений (30–45 кг/га) продолжительное время после их внесения негативно влияют на микроструктуру почвы – порядка нескольких лет. В результате, повышается плотность упаковки микроагрегатов, снижается видимая пороз-

ность, уменьшается доля зернистых агрегатов (Медведев, 1988). Продолжительное внесение минеральных удобрений ведет к снижению части пористых агрегатов и к увеличению на 11 % неагрегированного материала (Поляков, Шевцова, 1988). Одной из причин ухудшения структуры является обеднение пахотного слоя экскрементами почвенных животных (Безносиков, 1997).

Агрохимические и агрофизические свойства почв взаимосвязаны, и поэтому снижение рН среды почвы, обеднение пахотного горизонта гидроксо-группами, уменьшение гумусированности, ухудшение биотических свойств непременно вызывают деградацию агрофизических свойств. Для нейтрализации негативного действия классической химизации сельского хозяйства рекомендуется проводить известкование с определенной периодичностью. При этом, если обратиться к опыту советских ученых, можно обнаружить, что данный метод не только не решил проблему потерь кальция и магния в почве, но и в ряде регионов усугубил ее (Макаров, 1988).

Данная закономерность объясняется снижением рН почвы, которая параллельно увеличивает потери азота в газообразной форме. При проведении этого приема потери азота возрастают в 1,5–2 раза (Макаров, 1988). Такой ответ почв на внесение мелиорантов является результатом изменений в направленности микробиологических процессов, что может стать причиной нарушения геохимических круговоротов. В связи с этим высказывались сомнения в целесообразности использования известкования (Добровольский, Никитин, 1990).

Еще одной, и самой существенной, причиной деградации агрофизических свойств при применении минеральных удобрений, является угнетение определенных групп микроорганизмов в результате подкисления почвенной среды. Однако большинство производителей, заинтересованных в увеличении продаж своего

продукта, заручаясь данными, полученными аффилированными учеными, утверждают о безусловной пользе внесения минеральных удобрений, как для гумусового состояния, так и для агрофизического (Ильин, 2001; Ильин, 2006).

При этом опускается тот факт, что вследствие угнетения «полезных» микроорганизмов, происходит активация фитопатогенов. Использование неорганических удобрений влияет на популяции вредных организмов, которые в неподвижном (пропагулы фитопатогенов, семена сорняков) или малоподвижном (нематоды, личинки фитофагов) состоянии длительное время выживают, сохраняются или обитают в почве. Особенно широко в почвах представлены возбудители обыкновенных корневых гнилей (*B. sorokiniana*, виды *p. Fusarium*). В результате действия минеральных удобрений, агрохимические свойства пахотных почв значительно трансформируются в отличие от их аналогов на целинных и залежных территориях. Это существенно сказывается на выживаемости, жизнеспособности, и соответственно, количестве фитопатогенов в почве (Tamfuh et al., 2011). Многочисленные исследования указывают на воздействие агрохимических свойств почвы на численность популяции *B. Sorokiniana*, которое является более существенным в агроэкосистемах зерновых культур, чем в естественных экосистемах (целинные почвы). Индекс детерминации, свидетельствующий о доле влияния рассматриваемых факторов, составляет соответственно 58 и 38 % (Сапожников, 1961). Чрезвычайно важно, что самыми значимыми экологическими факторами, изменяющими плотность популяции возбудителя в почве, являются в агроэкосистемах азот (NO_3) и калий (K_2O), а в естественных экосистемах – гумус. В агроэкосистемах возрастает зависимость плотности популяции гриба от рН почвы, а также содержания подвижных форм фосфора (P_2O_5) (Endlweber, Scheu, 2007).

Для отображения более ясной картины в отношении влияния минеральных удобрений на почвенную биоту, которая является одним из факторов структурообразования, необходимо рассмотреть агрохимические свойства некоторых элементов питания. Азот – важнейшая часть белков, которые являются основным материалом всего живого на земле, он входит в состав РНК и ДНК, определяющих хранение и передачу наследственной информации (Смирнова и др., 1985). Следовательно, применение азотных удобрений является серьезным фактором, как стабилизации агрофизических свойств почвы, так и их дестабилизации. В ходе различных исследований было выяснено, что развитие фитопатогенных организмов значительно выше в агроэкосистемах при обилии азота в минеральной форме, и наоборот, гораздо ниже в естественных условиях, где преобладает азот органического вещества. Е.П. Пахненко (Дурынина) и Л.Л. Великанов (1985) считают, что данная закономерность связана со значительным накоплением небелкового азота. Другие авторы объясняют данный феномен, изменением количественного соотношения аминокислот при патогенезе болезней. Соответственно, можно сделать вывод: потребности агрокультур и фитопатогенов в азоте, как элементе питания, совпадают, что приводит как к повышению урожайности при внесении азотных удобрений, так и к размножению вредных организмов. Кроме того, в агроэкосистемах преобладают минеральные формы азота, особенно нитратная, которые непосредственно потребляются вредными организмами, что и является косвенным фактором снижения агрофизических свойств почвы и структурного состояния в частности (Пахненко-Дурынина, Великанов, 1985).

Таким образом, можно сделать определенный вывод. Систематическое применение минеральных удобрений приводит к трансформации ряда факторов структурообразования, в том числе, угне-

тению полезной микрофлоры, которая является естественным производителем «клеящих» веществ для элементарных почвенных частиц. Параллельно с этим происходит активное развитие фитопатогенной биоты, а она, в свою очередь, негативно влияет на развитие ризосферы, которая также принимает активное участие в структурообразовании. И, наконец, применение минеральных удобрений способствует вымыванию из почвенных агрегатов катионов кальция и магния, которые вызывают коагуляцию коллоидов, в результате чего происходит диспергация и деградация структурных единиц почвы (Вронский, 1998).

1.4 Роль гумусовых веществ в структурообразовании

По мнению ученых, развитие почвенной структуры регулируется не только уровнем содержания органического вещества, но и его качественным составом (Хан, 1969; Безуглова, 2001, 2009; Артемьева, 2010; Семенов, Когут, 2015). Стоит отметить, что восстановление почвенной структуры протекает в основном под влиянием гумусовых веществ, образующихся в процессе гумификации свежего органического вещества. Однако участие лабильных гумусовых веществ в образовании агрономически ценной структуры еще недостаточно изучено и оценивается неоднозначно (Johnson et al, 2006).

Д.В. Хан (1969) считал, что неспецифические органические соединения, так же как и фульвокислоты, не оказывают структурообразующего действия. В то же время имеются сведения об участии в этих процессах целлюлозы и других неспецифических полисахаридов (Tisdall, Ods, 1982; Cairo, Lopez, Cabrero, 1985).

Однако участие гуминовых кислот в структурообразовании не вызывает сомнения. Исследование гуминовых кислот из агрегатов, обладающих различной водопрочностью, было проведено Д.В. Ханом (1969). Оно показало, что содержание углерода оказалось более высоким в гуминовых кислотах, выделенных из распыленных или неводоустойчивых фракций. В то же время элементный состав гуминовых кислот из водоустойчивых фракций характеризуется повышенным содержанием Н, N, O. Этот факт привел исследователя к выводу о важной роли функциональных групп периферической части молекулы гуминовой кислоты в формировании водопрочной структуры. При этом для качества структурных отделеностей решающее значение имеет форма связи гуминовых кислот с минеральной частью почвы. Агрегаты, образованные в результате обволакивания их плотной глиногумусовой пленкой адсорбционной природы, имеют минимальное количество капиллярных пор, высокую плотность, глыбистый характер. Рыхлосвязанные оболочки из гелей гуминовых кислот создают между соединенными частицами полости, внутренние капилляры, что с агрономической точки зрения чрезвычайно ценно.

Гели гуминовых веществ, образованные в результате коагуляции ионом кальция, устойчивы в воде, отсюда и агрегаты, образованные с участием гуматов кальция, обладают повышенной водопрочностью. Имеются свидетельства и в пользу высокой водопрочности микроагрегатов, состоящих из ила и гумифицированного органического вещества. Они образуются в результате соединения электрически нейтральных глинистых минералов и органических частиц с помощью поливалентных катионов, локализованных в обменных центрах (Edwards, Bremner, 1967).

В литературе встречаются сведения о наличии тесных коррелятивных связей между водопрочными агрегатами (ВА) и показате-

лями гумусного состояния. Так, Чейни и Свифт (Chaney, Swift, 1984) приводят следующие результаты корреляционного анализа. Коэффициент корреляции между общим количеством органического вещества в некоторых почвах Британии и устойчивостью агрегатов колебался от 0,744 до 0,867. Между содержанием углеводов и устойчивостью агрегатов – от 0,711 до 0,891, гумусовыми соединениями щелочной вытяжки № 1 – от 0,746 до 0,843, щелочной вытяжки № 2 – от 0,517 до 0,862.

На черноземе обыкновенном карбонатном (североприазовском) малогумусном тяжелосуглинистом в пахотном слое было проведено детальное исследование структурных и гумусных характеристик почвы. Показатели структурного состояния (сухое и мокрое просеивание по методу Саввинова) и гумусного состояния (общий углерод по Тюрину, фракционно-групповой состав гумуса, количество воднорастворимого гумуса, содержание углеводов по Дюбуа) изучали в динамике на протяжении 1990–1992 гг. под люцерной. Для установления коррелятивной зависимости использовалось общее количество водопрочных агрегатов (ВА), т.е. отдельностей размером более 0,25 мм, сохранившихся после мокрого просеивания. Коэффициент корреляции между количеством ВА и общим содержанием гумуса колебался в пределах +0,028 – +0,292, что свидетельствует об отсутствии значимой связи между этими показателями. Значимые связи с 5 % уровнем доверительной вероятности установлены только между ВА и содержанием гуминовых кислот первой фракции ($r = +0,446$ – умеренная связь), а также между ВА и количеством воднорастворимого гумуса ($r = +0,283$ – слабая связь). Такие не высокие коррелятивные зависимости были связаны с низким содержанием гумуса и его невысокой вариабельностью в ходе наблюдений. Вероятно, в таких условиях более существенна роль других факторов образования структуры и формирования ее водо-

прочности (Безуглова, 2001). В частности, погодные условия вегетационного сезона, так как известно, что периодическое увлажнение и высыхание почвы способствует распаду ее на структурные отдельности, а также поглощению гуматов минеральной частью почвы (Дегтярев, 1984).

Интересные данные были получены О.С. Безугловой (2001) при статистической обработке результатов за разные по степени увлажненности годы. В засушливый 1991 год (сумма осадков за вегетационный сезон составила всего 349 мм) наблюдалось заметное ухудшение структурного состояния: коэффициент структурности уменьшился с 3,8 в апреле до 2,5 в сентябре. Произошло это как за счет распыления структуры, так и, в основном, за счет увеличения глыбистости. При этом в сентябре обнаруживается прямая коррелятивная зависимость ВА от общего содержания гумуса ($r = +0,512$) и общего количества углеводов ($r = +0,501$). Эти корреляции значимы на 5 % уровне. По остальным показателям качества гумуса (воднорастворимый гумус, ГК-2, ГК-3, суммарное количество фульвокислот) обнаружена слабая обратная связь, недостоверная, однако, статистически. Таким образом, можно сделать вывод, что в засушливый год сохранению наиболее ценных водопрочных агрегатов способствует более высокий уровень гумусированности, а также повышение содержания бурых гуминовых кислот в составе гумуса и углеводы.

Во влажный год (сумма осадков за вегетационный период в 1992 году составила 563 мм) величина коэффициента структурности отличалась устойчивостью: в апреле – 3,7, июле – 3,9, сентябре – 3,6, т.е. при благоприятном увлажнении не наблюдается такого резкого ухудшения структурности, как в засушливый год. При этом значимая коррелятивная связь отмечена между количеством ВА и содержанием гуминов ($r = +0,520$), ВА и ГК-3 ($r = -0,651$).

В целом, в условиях влажного вегетационного сезона наблюдается более стабильное состояние структурных агрегатов и их зависимость от гумусного состояния почвы слабее.

Такое важное свойство почвенной структуры как водопрочность неодинаково у агрегатов разного диаметра. С уменьшением размеров агрегатов их водопрочность обычно возрастает. Наибольшей водопрочностью обладают структурные отдельности диаметром 1–3 мм (Maciaszek Wiesław, 1986; Шульга и др., 1988). В черноземе обыкновенном карбонатном (предкавказском) водопрочность агрегатов разного диаметра (определяемая по методу Андрианова) различается мало: от 57,2 % во фракции 7–5 мм до 63,7 % во фракции 3–2 мм (Безуглова, 2001). В черноземе обыкновенном карбонатном (североприазовском) различия более существенные. Фракция 5–3 мм имеет водопрочность 39 %, а у агрегатов размером 3–2 мм – 59,1 %. Динамика этого показателя изучена на примере фракции с размером агрегатов 3–2 мм, как наиболее водопрочной. Почва отбиралась на опытных делянках, где испытывалось действие биологически активных веществ – кормового концентрата лизина и барды (отхода биохимического производства). В этом опыте коэффициент водопрочности на контроле весной составлял 27,7 %, а на делянках, где 2 года вносили барду – 56,9–63,3 %. Однако, к осени водопрочность на этих делянках резко упала (почти в 2 раза), что свидетельствует о невысокой устойчивости приобретенного качества. Коэффициент водопрочности (по Андрианову) тесно коррелировал весной с количеством воднорастворимого гумуса ($r = +0,898$) и углеводов ($r = +0,929$). С остальными показателями гумусного состояния значимых корреляций не обнаружено. Это свидетельствует о важности таких высокомолекулярных органических соединений как углеводы в формировании агрегатов. Однако устойчивость этих новообразованных отдельностей не велика.

К аналогичным выводам пришли Тисдейл и Одс (Tisdall, Oads, 1982), установившие, что углеводы типа глюкозы вызывают быстрое нарастание агрегированности почвы, однако эта структура не устойчива и быстро разрушается. Медленное накопление устойчивых агрегатов обеспечивается разложением в почве более трудно метаболизируемых углеводов, например целлюлозы.

По мнению Н.Л. Кураченко с соавторами поиск особенностей состава гумусовых веществ агрегатов, определяющих качество структуры, может дать ответ на роль отдельных компонентов гумуса в формировании структуры. В выделенных нестойких $<0,25$ мм и водопрочных $>0,25$ мм агрегатах авторы определили содержание С гумуса и его подвижных компонентов (Кураченко и др., 2008). Исследования показали, что водопрочность структуры черноземов и серых лесных почв обусловлена качественным составом гумуса, причем в большей степени – его подвижными компонентами. В целинных и пахотных черноземах выщелоченных водопрочность структуры определяется стабильной частью гумуса, а также водорастворимыми соединениями и подвижными фульвокислотами. Процесс агрегирования неосвоенных черноземов обыкновенных идет с участием Сгк и Сфк. В условиях пашни щелочногидролизующие соединения и гуминовые кислоты в их составе участвуют в оформлении почвенных частиц в водопрочные агрегаты. Ненарушенные и обрабатываемые серые лесные почвы характеризуются близкими значениями фиксации гумусовых веществ на поверхности агрегатов $<0,25$ мм и водопрочной фракции $>0,25$ мм. Исключение составляют собственно серые лесные почвы под естественной растительностью, где зафиксировано концентрирование фульвокислотных соединений в водопрочных агрегатах, и темно-серые лесные почвы пашни с накоплением в них водорастворимого углерода (Александрова, 1949; Александрова, 1972). Это позволяет

заклучить, что состав гумусовых веществ водопрочных и нестойких агрегатов определяется типовыми и подтиповыми особенностями почв, а также экологическими условиями их функционирования. Отсутствие существенных потерь водоустойчивыми агрегатами подвижного гумуса является фактором стабилизации качества структуры почв (Кураченко и др., 2008). При этом по данным С.Н. Солодченко, Н.Л. Кураченко (2003), сезонный ритм динамики компонентов органического вещества ненарушенных и пахотных почв различен. Он определяется условиями увлажнения и запасом растительного вещества, поступающего в почву. Динамически сопряженные изменения структурных и водопрочных агрегатов с компонентами органического вещества проявляются только в пахотных почвах. В агроценозе пшеницы они обусловлены водорастворимым углеродом, в поле пара – подвижными гуминовыми кислотами и фульвокислотами.

Исследованиями З.С. Артемьевой (2010) была установлена взаимосвязь между микроструктурной организацией и устойчивостью органического вещества зонального ряда почв естественных ценозов. По ее данным в составе крупных микроагрегатов (размер 50–250 мкм) преобладает тонкодисперсная смесь органических остатков различной степени минерализации-гумификации, составляющая ядро, и органоглинистые частицы, формирующие оболочку. Причем экстрагируемая фракция дискретных частиц органического вещества практически нацело состоит из гуминовых кислот. Стабилизирующим агентом этой группы агрегатов являются микробные слизи (преимущественно полисахариды). Мелкие микроагрегаты (размер 1–50 мкм) являются значительно более устойчивыми к разрушающему воздействию ультразвука, связующими агентами в них являются продукты микробиологической деятельности, корневые выделения и поливалентные катионы. З.С. Артемьева

(2010) на основании своих исследований делает предположение о том, что начало гумусообразования сопряжено с началом формирования крупных микроагрегатов, которые в свою очередь являются центрами агрегирования почвенной массы, и именно с них начинается стабилизация всей почвы. Получается, что процессы стабилизации почвенной массы и гумификации тесно связаны между собой по типу обратной связи, то есть взаимобязательны и взаимозависимы. К такому же выводу приходят В.М. Семенов, Б.М. Когут (2015). На основании изучения целого ряда работ зарубежных исследователей они заключают: «...Взаимодействие органических соединений с поверхностью минеральных частиц с образованием органо-минеральных комплексов – это не только важнейший механизм стабилизации почвенного органического вещества, но и начальное звено формирования почвенных агрегатов, придающих ему физическую защищенность» (Семенов, Когут, 2015).

Итак, отдельные гранулометрические частицы взаимодействуют между собой, образуя микроагрегаты за счет склеивания, в свою очередь микроагрегаты соединяются в мезоагрегаты, и далее в макроагрегатные отдельные (рисунок 1). Роль почвенных клеев могут играть как минеральные коллоиды, так и гумусовые вещества, неспецифические органические соединения, прежде всего углеводы, и живые микроорганизмы.

Одной из современных теорий образования структуры является гипотеза амфифильного агрегатообразования, вскрывающая возможные механизмы взаимодействия гумусовых веществ и минеральной матрицы при образовании агрегатов. Амфифильность почвенного органического вещества обусловлена наличием в нем гидрофильных и гидрофобных компонентов (Шеин, Милановский, 2014). Большинство биологических макромолекул являются амфифильными веществами. Амфифильность обусловлена наличием в

их составе как гидрофильных (полярных) групп, так и гидрофобных (неполярных) зон.

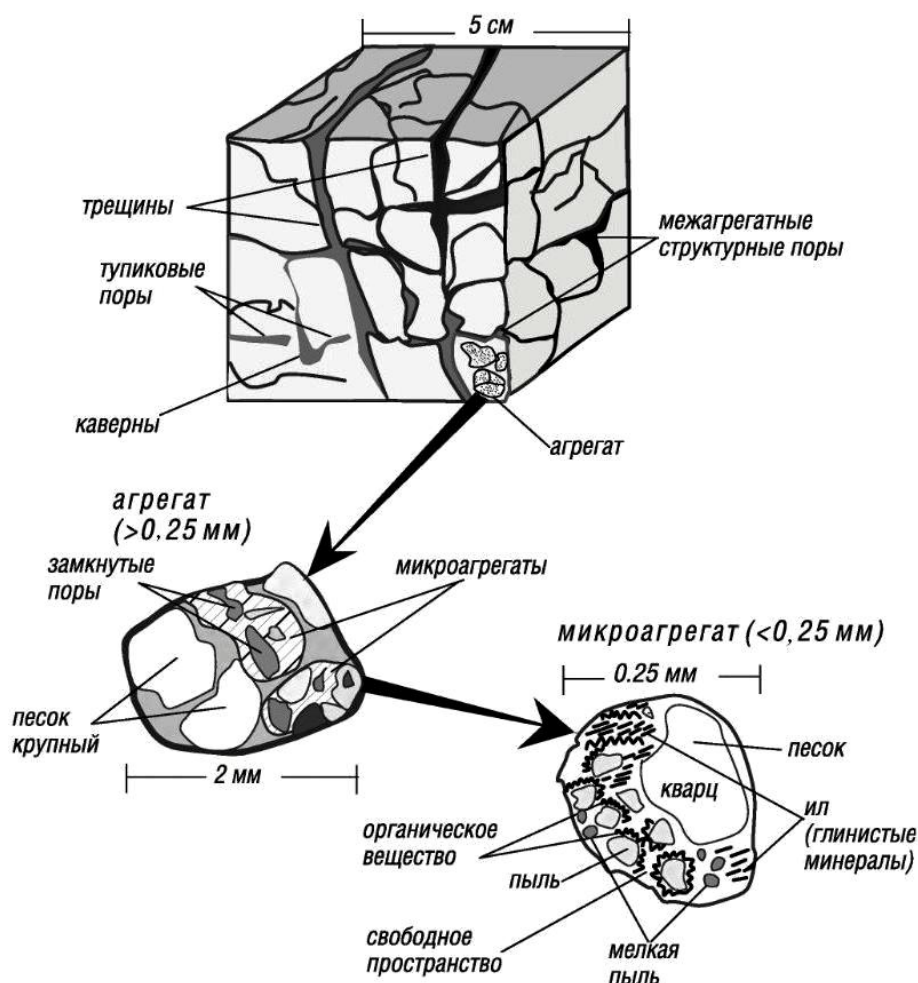


Рисунок 1 – Схема агрегатного строения почвы
(Теории и методы физики почв, 2007, с. 92)

Если на поверхности гидрофильной минеральной частицы отсутствуют амфифильные органические вещества, то частицы распадаются в воде под действием расклинивающего давления воды. Если амфифильные органические вещества присоединяются своей гидрофильной частью к минеральной частице, а их гидрофобная часть взаимодействует с гидрофобными частями другой амфифильной органической частицы, то агрегат проявляет устойчивость к разру-

шающему действию воды. При этом химический состав воды также влияет на водоустойчивость агрегатов. Наибольшее влияние на ухудшение структуры почвы имеет содержание в оросительной воде катиона натрия и его соотношение с другими катионами. Критериями, по которым определяется угроза утраты почвой структуры, являются такие показатели воды, как SAR (Sodium Adsorption Ratio – натриево-адсорбционное отношение) и ЕС (Electrical Conductivity – удельная электропроводность). На рисунке 2 представлен график, построенный австралийскими учеными, с помощью которого можно прогнозировать устойчивость почвенной структуры. Так, если значения соответствуют I зоне, то вероятность проблем, связанных с утратой почвой структуры, очень высока, если же значения соответствуют III зоне, то проблем со стабильностью почвенной структуры быть не должно, II зона является переходной, и возникновение проблем, связанных со стабильностью почвы, зависит от свойств почвы.

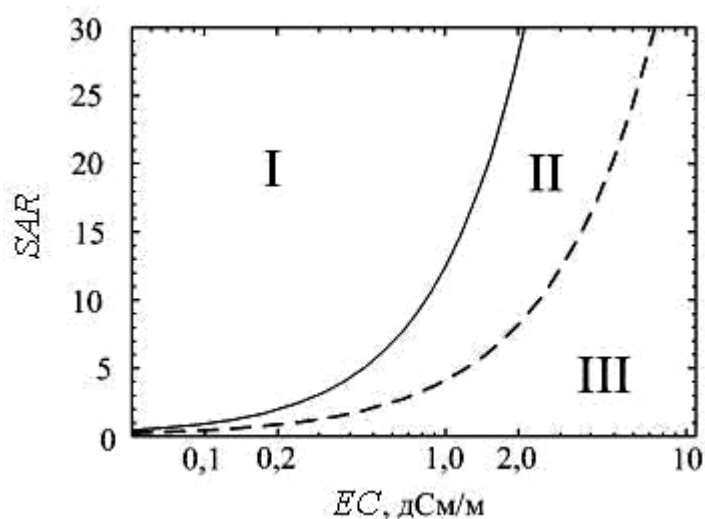


Рисунок 2 – Отношение между показателями SAR и ЕС в оросительной воде для прогноза устойчивости структуры почвы:
 I – зона риска утраты водопрочности почвы;
 II – переходная зона, возникновение проблем зависит от свойств почвы;
 III – зона стабильной почвенной структуры (по: Воеводина, 2016)

Минеральные компоненты почвы гидрофильны, поэтому формирование более гидрофобных поверхностей в почве осуществляется органическим веществом. От степени гидрофобности поверхности органоминеральных частиц будет зависеть их способность к взаимодействию друг с другом и образование водопрочных агрегатов за счет гидрофобного связывания, либо подверженность к пептизации, за счет образования водородных связей. Е.В. Шеин, Е.Ю. Милановский (2014) предполагают, что именно гидрофобные гумусовые вещества ответственны за образование структурных связей и устойчивость (водоустойчивость) почвенной структуры. Обусловлено это гидрофобным взаимодействием между элементарными почвенными частицами, покрытыми пленками гумусовых веществ, и связано с формированием в водном окружении энергетически наиболее выгодной поверхности образующегося агрегата. Существующие между молекулами воды мощные взаимодействия нарушаются при «растворении» вещества в воде. В случае ионных (гидрофильных) соединений эти нарушения компенсируются заменой взаимодействия вода – вода на взаимодействия ион – вода. При «растворении» неполярных (гидрофобных) веществ такой компенсации нет, и растворения веществ в воде не происходит. Энергетически более выгодна в этом случае ассоциация гидрофобных частиц друг с другом, при которой взаимодействия между молекулами воды нарушаются в наименьшей степени. В общем виде гидрофобное связывание можно определить как взаимодействие между частицами, которое является более сильным, чем взаимодействие этих частиц с водой, и которое не может быть обусловлено ковалентной или водородной связью, электростатическим притяжением или переносом заряда. Исходя из этого, заключают Е.В. Шеин и Е.Ю. Милановский (2014), именно степень проявления гидрофобности гумусовых веществ определяет водоустойчивость

почвенной структуры, а также, по-видимому, устойчивость к внешним воздействиям. На важную роль гидрофобных взаимодействий в почвах, указывает и то, что устойчивость почвенных агрегатов коррелирует с содержанием в почве гидрофобной фракции гумуса.

1.5 Связь структурного состояния почвы с микробиологической активностью

Аккумуляция в почве веществ, придающих водопрочность почвенным агрегатам в полевых условиях, происходит при содействии микроорганизмов – грибов, бактерий и актиномицетов. Появление данных органических соединений из разлагающихся растительных и животных остатков при участии почвенных микроорганизмов отмечено еще классиками почвоведения, дальнейшие исследования имели лишь уточняющий характер, подчеркивая роль микроорганизмов в структурообразовании.

Ведущим показателем почвенного плодородия, является характеристика биологической активности почвы, под которой следует подразумевать интенсивность протекающих в ней биологических процессов. Биологическая активность зависит от суммарного количества в почве специфического пула ферментов как имеющих биогенное происхождение, так и аккумулялированных после деструкции отмерших клеток. Биологическая активность почв указывает на масштабы и направление процессов трансформации веществ и энергии в экосистемах суши, интенсивность переработки органических веществ и разрушения минералов (Аристовская, Чугунова, 1989; Туев, 1989). П. Фагелер (1938) обратил внимание на то, что в почвах, богатых микроорганизмами, в частности актиномицетами, происходит соединение при помощи бактериальной слизи не толь-

ко первичных, но и вторичных частиц, вследствие чего образуются агрегаты более высокого порядка.

Масштабные опыты по влиянию микроорганизмов на формирование почвенной структуры были проведены в СССР И.И. Канивцом (1936–1939), Н.П. Корнеевой (1936), Н.Г. Радзиловским (1937–1939) и др. Ими был описан микроорганизм – гриб *Trichoderma lignorum*, прижизненные выделения которого способствуют формированию водопрочных агрегатов. Е.Н. Мишустин (1941, 1942, 1945) установил существование лабильной и стабильной водопрочной структуры. Первая вызывается клеящими веществами белкового типа и легко разрушается биологически, вторая – создается веществами гуминового типа и биологически более устойчива. Н.М. Лазарев (1949) считал, что существует более стойкая структура, образованная так называемыми бета-гуматными веществами. Она связана с подавлением микробиологической деятельности и консервацией гуминовых веществ.

Много занималась вопросами клеящей способности микроорганизмов Ф.Ю. Гельцер (1940, 1945). В результате своих работ она пришла к выводам, что цементирующим веществом в почве служат коллоидные продукты жизнедеятельности и автолиза бактерий, которые она называет деятельным перегноем дернового типа. По мнению К. Йодера (Jodet, 1936), живые микроорганизмы (бактерии и грибы), могут служить и клеящим материалом, соединяющим одни частицы с другими. Многие из них, имея нитевидную форму, подобно высокомолекулярным соединениям, представляют хороший клеящий материал. С.А. Ваксман (Waksman, S.A., 1940) проводил собственные наблюдения, указывающие на то, что свободно живущие в почве грибы и грибы микоризы, пронизывая своими грибницами почву, могут способствовать образованию структуры. Связывающее действие микроорганизмов, по мнению Пила

(Peele, 1940), зависит от необратимой дегидратации коллоидов, входящих в состав слизи при высушивании. Внесение сахарозы в почву активизирует микробиологическую деятельность и тем самым увеличивает водопрочность почвенных комков. Заражение грибной флорой стерилизованных почв дает лучший эффект, по сравнению с бактериальной. На связь между микробиологической активностью и образованием структуры указывали Мак-Генри и Рассел (Mac Henry, Russel, 1944). Образование водопрочной структуры под влиянием бактериальной слизи наблюдали: Мак-Колл (Mac Colla, 1945), Мартин (Martin, 1946), Мартин и Андерсен (Martin, Anderson, 1942). Они в результате своих исследований пришли к выводу, что микробные полисахариды служат действующим началом при образовании агрегатов. И.П. Гречин (1964) указывал на положительную роль микроорганизмов в явлениях склеивания почвенных частиц. Н.А. Дорохова (1991) исследовала влияние грибов ризосферы на образование прочных агрегатов почвы и пришла к положительным выводам.

К.И. Рудаков (1951) утверждал, что образование активного перегноя происходит за счет не только корневых остатков, но и живых корней развивающегося растения. Под воздействием протопектиназы бактерий (*Bac. mesentericus*, *Bac. polymyxa* и др.) нерастворимый протопектин переходит в значительно более дисперсный пектин. З.Ф. Ляпшина (1969) в диссертации, посвященной исследованию роли микроорганизмов в образовании почвенной структуры, приходит к выводам, что создание водопрочной почвенной структуры связано с образованием перегнойных веществ в результате деятельности микроорганизмов, осваивающих растительные остатки в почве, и состоящих, в основном, из плесневых грибов и бактерий – маслянокислых, аммонифицирующих, денитрифицирующих и анаэробных целлюлозоразрушающих.

Среди некоторых микробиологов имеется довольно распространенное мнение о том, что структура почвы, в особенности ее водопрочность, связана непосредственно только с живой микробной плазмой или выделениями живых микробных клеток, причем все эти образования чрезвычайно лабильны. Исследованиями лаборатории структуры почв АФИ установлено, что почва (чернозем обыкновенный глинистый, Каменная Степь) сразу после таяния снега содержит на озимых посевах до 60 % водопрочных почвенных агрегатов (Вершинин, Ревут, 1951). Аналогичные данные наблюдаются и на подзолистых залежных, целинных и пахотных угодьях в соответствии с величиной водопрочности их структуры. В природе не существует такого явления, как водопрочность структуры в конце осени или ранней весной, предположительно, это обусловлено замиранием микробиологической активности при низких температурах. Иными словами, процесс накопления водопрочных клеев в почве обнаруживает динамику, связанную с динамикой развития микроорганизмов. И хотя Мейерс и Мак-Кола (Meyers, 1941; Mac Colla, 1945), наблюдая такую динамику, отметили, что им не удалось установить точного совпадения максимума агрегации и числа бактерий, наличие сезонной динамики в явлениях водопрочности структуры является прямым доказательством участия микроорганизмов в формировании почвенной структуры.

Данные по динамике водопрочности структуры, полученные П.В. Вершининым (1953) на дерново-глеевой глинистой почве близ Ленинграда, показали, что в связи с деятельностью микроорганизмов, червей и более крупных организмов, населяющих почву, под действием ферментов, явлений автолиза микробных клеток, органические остатки, накапливающиеся в почве, претерпевают биохимические изменения. Эти изменения идут в направлении,

как упрощения химического строения, так и его усложнения, т.е. возникновения под влиянием синтеза новых органических образований. В процессах биохимических изменений могут возникать высокомолекулярные растворимые в воде или коллоидно-дисперсные клеящие вещества. Возникновение таких веществ возможно как среди углеводных соединений, так и среди протеиновых, гуминовых и углеводородных.

Длительное наблюдение за динамикой водопрочной почвенной структуры в двух различных почвенных зонах – дерново-подзолистой и черноземной (Северный Казахстан) – показало, что водопрочность структуры бывает двух типов:

- 1) сезонная
- 2) относительно постоянная или стабильная.

Та и другая изменяются, но в разной степени: первая – несколько раз в течение вегетационного периода, вторая – постепенно в течение ряда лет. Сезонная водопрочность структуры чутко отражает внешние условия данного поля. Она реагирует на погодные условия и приемы обработки и, несомненно, связана с циклами и ритмами развития микроорганизмов, населяющих почву. Стабильная водопрочность изменяется медленно в сторону нарастания или в сторону уменьшения в зависимости от постоянства воздействия природных факторов или приемов агротехники. Она связана с образованием в почве устойчивых органических веществ. На целинных и залежных землях уровень этой стабильной водопрочности выше, чем на старопахотных землях (для Северного Казахстана на 20–25 %). Стабильная водопрочная структура является ценным фондом, в накоплении которого должно быть заинтересовано каждое правильно поставленное сельское хозяйство. Если этот фонд растет, то урожайность сельскохозяйственных культур не только тоже растет, но и становится устойчивой (Вершинин, 1953).

Для объективной оценки биологической активности почв используются: численность и биомасса разных групп почвенных микроорганизмов, их продуктивность, ферментативная активность почв, активность основных процессов, связанных с круговоротом элементов, некоторые энергетические данные, количество и скорость накопления некоторых продуктов жизнедеятельности почвенных организмов (Методы общей..., 1991). А так как окислительно-восстановительная обстановка на поверхности агрегата и внутри него различна, то и состав микроорганизмов, набор ферментов, характер процессов будут различаться. Факультативные анаэробные организмы поселяются внутри агрегата, аэробные микроорганизмы заселяют поверхность структурных отдельностей (Верховцева и др., 2004). Как следствие, процессы трансформации органических соединений на поверхности агрегата и внутри будут идти по-разному. Так, по данным И.В. Ковалева (2015) на поверхности агрегатов (в окислительных условиях) наблюдается меньшее количество продуктов окисления лигнина и более высокая степень его окисленности, чем внутри агрегата, где в восстановительной обстановке разрушение лигнина замедляется и происходит его накопление. В случае со связью структурного состояния почвы и биотическими факторами, имеют место механизмы и процессы физической (негумификационной) стабилизации органического вещества. Сущность данного процесса заключается в пространственной недостижимости биогенных соединений микроорганизмам и ферментам, связанного напрямую с условиями влажности и газообмена, на которые непосредственно влияет структурное сложение почвы (Sollins et al., 1996).

Рассмотренное явление – базовый механизм формирования микро- и макроагрегатов в почве. Первый путь агрегации включает в себя несколько этапов (Семенов, Когут, 2015):

- 1) формирование ядер из органоминеральных комплексов;
- 2) связывание органоминеральных ядер агрегирующим материалом (оксиды, алюмосиликаты, гуминовые вещества) в микроагрегаты;
- 3) покрытие полисахаридных капсул микробных колоний частицами глины;
- 4) сцепление микроагрегатов между собой в макроагрегаты и комки динамичными и недолговечными клеящими веществами (микробные и растительные полисахариды), мелкими корнями, гифами грибов, бактериями и водорослями.

Ядрами микроагрегатов могут быть колонии микроорганизмов, формирующие из своих полисахаридных выделений капсулы, к которым притягиваются и присоединяются глинистые частицы. Глинистая оболочка образует защитное покрытие, препятствующее разложению органического вещества, содержащегося под такой оболочкой. Параллельно с образованием агрегатов формируется поровое пространство между и внутри агрегатов. Это описание напоминает построение жилого пространства другими видами живых организмов. Недаром А.И. Морозов (2007) рассматривает почву как среду, имеющую полисную структуру – иерархическую информационно-транспортную систему, управляемую небольшим числом или даже одним организмом («монархом»). Кандидатами на эту управляющую роль А.И. Морозов называет грибы.

По сути, система макро- и микроагрегатов представляет собой иерархическую систему, в которой большие агрегаты состоят из более мелких единиц, которые образуются из ещё более мелких агрегатов (рисунок 3).

Второй путь агрегации осуществляется в такой последовательности (Семенов, Когут, 2015). К свежим растительным остаткам, благодаря деятельности микроорганизмов, прилипают почвенные

частицы (микроагрегаты), и образуется макроагрегат, в котором формируется специфическое внутриагрегатное органическое вещество (стадия 1).

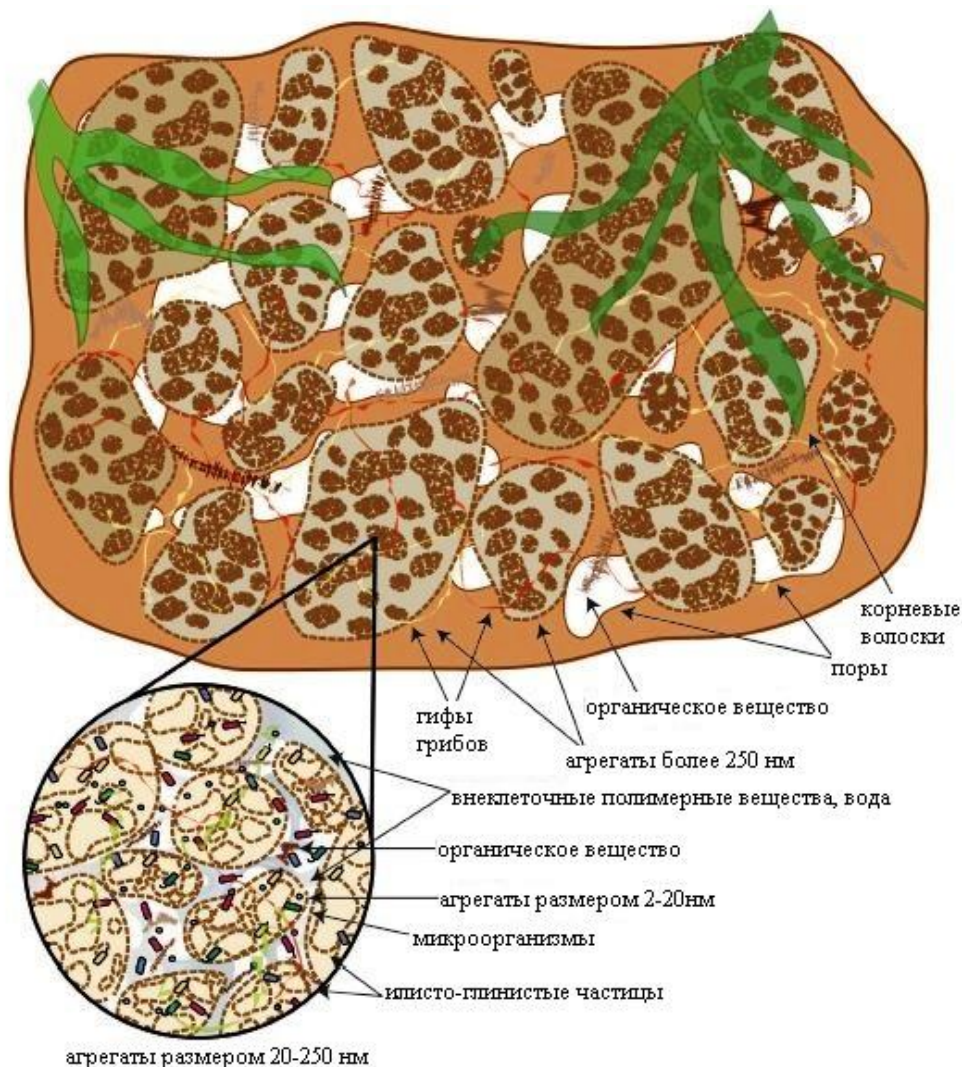


Рисунок 3 – Иерархическая модель классификации почвенных агрегатов (по: Costa et al., 2018)

Разложение внутриагрегатного органического вещества приводит к образованию внутри агрегата нескольких ядер, физически защищенных от дальнейшего разрушения (стадия 2). Со временем запасы углерода легкоразлагаемых соединений постепенно истощаются, и микробная деятельность, в результате которой выделялись

клеющие вещества, ослабевает (стадия 3). Происходят дестабилизация и дезагрегирование макроагрегатов, из ядер внутриагрегатного органического вещества формируются новые микроагрегаты, которые могут быть включены в создание других крупных агрегатов при добавлении растительных остатков (стадия 4).

В ходе механической обработки почвы большинство макроагрегатов разрушается, устойчивые ядра из-за быстрой минерализации внутриагрегатного органического вещества не образуются, и процесс прерывается уже после первой стадии (Семенов, Когут, 2015).

Ситуация усугубляется тем, что в пахотных почвах обычно биологическая, в том числе микробиологическая активность, существенно снижена (Минеев, 1988). Следовательно, одна из важнейших задач, которую надо решить грамотному аграрию, – восстановление микробиологического статуса почвы. Наиболее простой путь – внесение органических удобрений. Но в условиях их острейшего дефицита необходимы поиски других способов, одним из которых может стать внедрение в широкую практику гуминовых удобрений и препаратов.

1.6 Влияние корневых систем растений на структурное состояние почв

Корневые системы целинных трав создают наиболее благоприятную структуру, характеризующуюся высокой механической прочностью и водопрочностью (рисунок 4). Для такой структуры характерно наличие агрегатов зернистой или мелко-комковатой формы, обилие «почвенных бус» на корнях трав.



Рисунок 4 – Гумусовый горизонт чернозема обыкновенного,
Целина, Ботсад ЮФУ

Распашка приводит не только к уменьшению содержания гумуса, но и заметному ухудшению структурного состояния (таблица 1).

Таблица 1 – Показатели структурности и гумусного состояния в черноземе обыкновенном карбонатном Ростовской области (0–20 см, n=5), (Безуглова, 2001)

Почва, географическое положение, угодье	Гумус, %	$C_{ГК}:C_{ФК}$	К структурности (по Долгову)	К водопрочности агрегатов фракции 2–3 мм, % (по Андрианову)
Чернозем обыкновенный карбонатный (североприазовский), Мясниковский район, целина	4,09	1,6	3,9	87,3
То же, там же, пашня	2,33	1,6	3,4	59,1
То же, Сальский район, пашня, богара	4,52	1,7	2,8	70,0
То же, там же, орошаемый участок	3,59	1,4	1,0	54,2

С количеством и составом надземных частей сельскохозяйственных культур, с массой их корневых систем, расположением их в толще почвенного профиля, с технологическими аспектами возделывания и обработки почвы связано влияние севооборота на физические свойства почвы в земледелии практически всех почвенно-климатических зон нашей страны. Зеленая масса подавляющего числа сельскохозяйственных культур, защищает почву от различных факторов выветривания, а их подземная часть и пожнивные остатки, улучшают ее структуру и другие агрофизические качества.

В настоящее время значение почвенной структуры и возможность ее улучшения культурой как многолетних, так в отдельных случаях и однолетних трав, признаны во всем мире. Стоит отметить структурообразующую роль многолетних трав (так как роль одно-

летних трав, хотя и не отрицается, но данных по их применению в целях структурообразования не накоплено) с целью изучения количественной стороны эффекта структурообразования под многолетними травами на полях.

Согласно исследованиям Р.Ф. Хасановой (2016), многолетние сеяные травы способствуют существенному повышению содержания агрономически ценных агрегатов и их водопрочности, почти достигающих уровня целинных почв естественных степей. По ее данным в пределах Башкортостана в направлении север – юг повышается доля мелких фракций 0,5–0,25 и <0,25 мм, что сопровождается снижением водопрочности агрегатов от чернозема выщелоченного (62–77 %) к чернозему обыкновенному (48–86 %), и, далее – к чернозему южному (35–70 %). Уровень водопрочности агрегатов коррелирует с содержанием в них гумуса ($r = 0,62$) и с величиной корневой массы трав ($r = 0,71$). Под многолетними травами происходит оптимизация плотности и пористости почвы, величины которых коррелируют с массой корней и водопрочностью. Пористость почвы имеет прямую ($r = 0,52–0,99$), а плотность – тесную обратную ($r = -0,80 – -0,86$) связь с корневой массой трав. Пористость также коррелирует с водопрочностью агрегатов ($r = 0,51–0,62$)

Н.И. Саввиновым (1936) были получены данные по бессменным культурам на опытном поле Тимирязевской сельскохозяйственной академии. Почва – среднеподзолистый легкий суглинок на красно-буром валунном суглинке. Образцы взяты с участка 12-польного севооборота, представляющего бессменные культуры с 1912 г. Контрольная делянка не удобрялась. На делянку с навозом последний вносили из расчета 36 т на 1 га. Данные представляли значительный интерес. Они подтверждали то положение, что полевые злаки, например рожь, тоже повышают водопрочность структуры по сравнению с бессменным паром, клевер же, по сравнению

с рожью, повысил количество водопрочных агрегатов до 39 %. Н.И. Саввиновым были обработаны данные по бессменным культурам Ротамстедской опытной станции (Англия). Результаты были сходными с упомянутыми выше. Оказывается, пшеница по сравнению с бессменным паром, тоже улучшает структуру почв, но ее структурирующее действие слабее, чем многолетних трав. Продолжительное парование приводит к полному разрушению структуры. Структурообразующая роль не только трав, но и полевых хлебных злаков, по сравнению с паром, указанная Н. И. Саввиновым, подтверждена в дальнейшем рядом исследователей. В качестве примера можно привести данные, полученные Э.И. Шконде, З.К. Благовещенской (1982). Проведенный ими анализ почвенных образцов, которые отбирали ежегодно в одни и те же сроки, показал, что при общем невысоком уровне доли водопрочной структуры, озимая рожь увеличивает ее по сравнению с паром на 52 %, травы первого года пользования – на 157 %, а второго года пользования – на 172 %. Наибольшую прибавку водопрочной структуры дают травы первого года пользования, на что в свое время указывал и В.Р. Вильямс.

Культурой многолетних трав в полевых севооборотах в подзолистой зоне можно получить, при наличии удобрений, высокие урожаи сена, покровных и последующих культур и улучшить структуру почв. В подтверждение этого приводятся данные, полученные П.В. Вершининым совместно с лабораторией кормовых культур Всесоюзного института растениеводства на слабоподзолистых тяжелосуглинистых почвах Ленинградской области. Но для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур и структурообразующего эффекта трав необходимо подбирать травосмеси, исходя из местных условий (Вершинин, 1951).

Из данных О.С. Ростовцевой, М.И. Аваевой (1935) для серых лесных земель и деградированных черноземов следует, что действие

трав на структуру этих почв мало чем отличается от действия их на подзолистые почвы. Травы второго года пользования повысили количество агрегатов по сравнению со старопахотной почвой, т.е. культурой зерновых, на 17 %. Согласно этим авторам, в целинном состоянии чернозем обыкновенный показывает высокую степень оструктуренности. Вспашка в значительной степени разрушает природную структуру. Многолетние травы восстанавливают структуру, но не коренным образом. Эффект от трав в полевом севообороте на черноземе значительно ниже, чем на подзолистых почвах.

Как уже отмечалось ранее, структура почвы является главным агрофизическим фактором, от которого зависят агроэкологические свойства агроландшафтов, их устойчивость к водной и ветровой эрозии. Структура почвы определяет физические свойства: строение пахотного слоя, плотность сложения, пористость, твёрдость, пластичность, липкость, физическую спелость, влагоёмкость, водопроницаемость. Данная многофакторность агрономически ценной структуры почвы в земледелии, объясняет причину большого интереса со стороны В.Р. Вильямса (1919, 1935). Результаты многочисленных исследований по данной тематике, показали, что среди большого количества факторов образования агрономически ценных агрегатов диаметром больше 1 мм ведущая роль принадлежит растениям, точнее их корням. Слизь, которую выделяют корневые окончания, изменяет растворимость гумусовых веществ почвы. Количество растворенного органического углерода в черноземе, предварительно подвергшемся воздействию корневых выделений, повышается на 40,4 % (Волков, 2010). Вероятно, корневые выделения высвобождают катионы металлов из гумуса и тем самым меняют его структуру. А учитывая роль гумусовых веществ в формировании структуры, становится очевидным, что и корневые выделения растений могут принимать участие в этом процессе. Слизь корневого окончания, содержащая

полисахариды, фенолы, аминокислоты, органические кислоты, смачивает почвенные агрегаты, непосредственно контактирующие с ним. Катионы двух- и поливалентных металлов почвы с помощью карбоксильных и гидроксильных групп полисахаридов, аминокислот и карбоновых кислот слизей корневых окончаний связываются в комплексные соединения. Обработанные слизью агрегаты вскоре оказываются в зоне корневых волосков, и происходит активное всасывание питательных веществ. Таким способом корневые выделения «осваивают» почву, предоставляя в пользование корневым волоскам пространство, обогащенное необходимыми растению ионами металлов. О.И. Волков (2010) отмечает, что катионы металлов стабилизируют химический состав почвы: они играют роль связующего звена между макромолекулами гумусовых веществ. Соответственно усвоение катионов растениями должно приводить к увеличению растворимости гумусовых веществ, что и было подтверждено автором статьи в ходе экспериментальных исследований.

Выяснено, что доля растений в формировании наиболее ценных структурных агрегатов почвы составляет около 70 %, а на долю остальных факторов приходится чуть больше 30 % (Воробьев, Шваров, 1982). Среди сельскохозяйственных растений, наиболее эффективное воздействие на физические свойства почвы, оказывают культуры сплошного посева с высокоразвитой корневой системой. Это различные многолетние бобовые, злаковые травы, а также их смеси. Данные культуры, отличаются хорошей сопоставимостью массы урожая и массы пожнивных остатков. Корневая система многолетних трав, проникая на большую глубину, своими многочисленными отростками пронизывает почвенную массу и расщепляет ее на отдельные комочки. Стоит добавить, что, от глубины развития ризосферы, зависит формирование также корней подпахотного слоя (Pillai, McGarry, 1999).

На дерново-подзолистых почвах клевер своей глубоко проникающей корневой системой обогащает нижележащие слои органическим веществом и способствует созданию более глубокого окультуренного слоя почвы. На засоленных почвах аналогичное действие оказывает люцерна, разрыхляющая своими корнями плотный подпахотный слой почвы, что создает благоприятные условия для последующего возделывания зерновых культур (Singh and Singh, 1996). Мак-Генри и Рассел (Mac Henry, Russel, 1944) показали, что максимум агрегации следует за максимумом выделения углекислоты при разложении люцерны в почве.

Эффективно влияют на агрофизические свойства почвы озимые культуры. Это связано, в первую очередь, с продолжительным периодом вегетации и, как следствие, лучше развитой мочковатой корневой системой. В осенний и весенний периоды они своей корневой системой скрепляют почву и сплошным зеленым покровом предохраняют ее от разрушения атмосферными осадками и талыми водами. Пропашные культуры из-за небольшого количества растительных остатков, широкорядных посевов и интенсивных обработок, как до посева, так и во время вегетации в большинстве случаев способствуют разрушению почвенной структуры и не могут надежно защитить почву от эрозии, особенно если они возделываются повторно или бессменно. Еще больше структура почвы разрушается в чистых парах (Лыхман и др., 2015).

Такая краткая характеристика основных культур позволяет схематично поставить их в следующий убывающий ряд по степени влияния в севообороте на структуру почвы: многолетние бобово-злаковые смеси – однолетние бобово-злаковые смеси – озимые зерновые культуры – кукуруза – яровые зерновые и зернобобовые культуры – лен – картофель – сахарная свекла и другие корнеплоды (Воробьев и др., 1977). Этот ряд может изменяться и

уточняться, в зависимости от почвенно-климатических условий, уровня интенсификации земледелия и других условий, но в конкретном севообороте итоговая картина влияния на структуру почвы и другие физические и водно-физические свойства почвы будет определяться структурой посевных площадей этого севооборота. И с учетом структурообразующей способности тех или иных культур имеется возможность корректировки структуры посевных площадей и самого чередования культур в сторону оптимизации структуры почвы вместе с другими агрофизическими свойствами. При этом надо учитывать, что в условиях интенсивного земледелия может возрасти разрушающее действие на структуру и другие физические свойства почвы интенсивных обработок, орошения, уплотнения почвы тяжелыми движителями, больших доз минеральных удобрений, выщелачивающих почву и т. п. (Прудникова, 1975).

Причем эти действия корневых систем растений находятся в тесной зависимости от обстановки в ризосфере и продуцировании ферментов. Корни растений производят множество внеклеточных ферментов, включая фосфатазу, инвертазу, амилазу и протеазу (Dakora, Phillips, 2002). Из них фосфатаза является наиболее распространенной. По данным некоторых авторов, в ответ на низкие концентрации неорганического фосфора в окружающей среде выработка фосфатазы в корневой зоне увеличивается на два порядка (Smith, 2002; Weintraub, Schimel, 2005). В наших экспериментах такого двукратного увеличения подвижного фосфора в ризосферной зоне наблюдать не приходилось, но достоверное увеличение подвижности фосфорных соединений при обработке растений гуминовыми препаратами, фиксировалось постоянно (Полиенко, 2016; Полиенко и др., 2016; Bezuglova, Polienko et al., 2017; Bezuglova, Gorovtsov et al., 2019).

К тому же, на кинетику ферментов и оборот ферментов также влияет структура почвы, которая контролирует иммобилизацию ферментов и доступность субстрата (Sollins et al., 1996). Гетерогенная пространственная структура почвы накладывает ограничения на динамику ферментов и экономику микробного питания. Веттер и соавт. (Vetter et al., 1998) разработали модель для прогнозирования потока растворимых соединений к бактериям, кормящимся в твердых органических веществах. На основании результатов модели они пришли к выводу, что кормление внеклеточными ферментами будет жизнеспособной стратегией только в условиях, когда субстрат находится в избытке в радиусе кормления бактерии. Следовательно, внеклеточные ферменты должны продуцироваться в пространственно неоднородной структуре, соответствующей наличию субстрата в почвах и твердых органических веществах. При этом состояние структуры будет иметь непосредственное влияние на формирование благоприятной среды для жизнедеятельности микроорганизмов. Именно такая структура создается в ризосфере растений.

Непосредственную роль в образовании почвенной структуры играют качественный и количественный состав растительного покрова, предшественники сельскохозяйственных культур воздействуют на водно-физические свойства и как следствие, регулируют запасы продуктивной влаги. Параллельно, запасы влаги затрагивают основные свойства почвы: биологическая активность, водный режим, тепловой и пищевой баланс.

Режим влаги и кислорода в почве оказывает влияние не только непосредственно на древесные породы, но и на жизнедеятельность микроорганизмов, грибов и почвенной фауны. Подавляя, например, деятельность аммонифицирующих и нитрифицирующих бактерий, избыток влаги ухудшает режим снабжения деревьев азотом, от недостатка которого в первую очередь зависит ухудшение роста и

развития растений. Весьма важное значение имеет создание таких условий, которые способствовали бы наиболее благоприятному развитию микробиологических процессов, вызывающих разложение органических остатков и обогащающих почву питательными веществами. Избыток влаги в почве оказывает также влияние на весь ход процесса почвообразования. Постоянные или временные анаэробные условия способствуют накоплению органических остатков на поверхности почвы, вызывают оглеение почвы, в ряде случаев усиливают подзолообразование, ухудшают физические свойства почвы. В результате режим аэрации и снабжение деревьев питательными веществами постепенно ухудшаются. Разработка биологических обоснований возделывания почв должна включать, таким образом, изучение важнейших взаимообусловленных факторов среды и их изменения на возделываемых площадях, нахождение количественных показателей воздействия этих факторов на растительные сообщества, микроорганизмы и других представителей биоценозов. (Tisdall, Oades, 1979).

Чтобы обеспечить оптимальные условия роста и развития культурных растений, необходимо стремиться к поддержанию коэффициента увлажнения почвы, близкого к единице. Этого можно достичь, регулируя водный режим почв с помощью сочетания приемов их осушения и орошения. В почвах доступная для растений вода передвигается в основном под действием капиллярных сил. Они, в свою очередь, зависят от агрегатного состава почвы и ее уплотненности. Регулируя сложение почвы, можно либо сохранять, либо увеличивать расход воды путем физического испарения. Создание структуры почвы увеличивает содержание подвешенной и подпертой, а также доступной растениям воды. Переувлажненные почвы нуждаются в осушительных мелиорациях – устройстве закрытого дренажа для избыточной воды. В зоне недостаточного

увлажнения регулирование водного режима должно быть направлено на максимальное накопление воды в почве и рациональное ее использование. Известны следующие приемы окультуривания почвы: создание глубокого пахотного горизонта, улучшение агрегатности, увеличение общей пористости, подпахотного горизонта, планировка поверхности, нивелировка макро- и микропонижений почвы и др. Эти приемы позволяют улучшить водно-физические свойства почвы по отношению к потребностям возделываемых культур (Bassett, 1964).

Эффективному использованию накопленной в почве воды способствуют агротехнические приемы: поверхностное рыхление почвы весной, боронование для «закрытия» влаги, послепосевное прикатывание, увеличение поверхности почвы созданием гребней – вот далеко не полный перечень возможностей рационального управления водным режимом почвы, в том числе на фоне ее гидротехнической мелиорации (осушения, орошения). Сочетание мелиоративных и агротехнических приемов – мощный резерв управления водным режимом почв. Большое значение для получения высоких и устойчивых урожаев в конкретной по увлажнению и условиям зоне имеет подбор растений, приспособленных к развитию при некотором избытке или нехватке воды. (Hinkley, Ritchie, 1973).

... по берегам Азовского моря, как и по Черноморью, тянутся бесконечные, совершенно безлесные, слабоволнистые степи, прерываемые изредка (чаще на востоке, чем на западе) балками и небольшими речками. Может быть, несколько лучшие климат и почва, и более обильная дикая растительность, служат единственными особенностями рассматриваемой нами страны.

Докучаев В.В. Избранные сочинения. Том 1. Русский чернозем. М., 1945. С. 328.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Почвенно-климатические условия Ростовской области

Ростовская область занимает площадь 100,9 тыс. км², протянулась с севера на юг почти на 476 км и с запада на восток – на 456 км (согласно данным Федерального государственного бюджетного учреждения государственный центр агрохимический службы «Ростовский»). Водная поверхность многочисленных рек, озер и водохранилищ составляет 285 тыс. га. Территория области – в различной степени волнистая равнина. Нижнее течение реки Дон делит её на две части, приблизительно равные по площади, но очень различ-

ные по природным условиям. Особенно сложен рельеф северной половины, обусловленный наличием таких приподнятых равнинных форм, как Калачская возвышенность, Донская гряда, Доно-Донецкая возвышенность и отроги Донецкого кряжа. Характерные формы этой части региона – хорошо развитая гидрографическая сеть и разветвленные овражно-балочные системы. Южная половина, и прежде всего её западная часть, имеет сравнительно спокойный и равнинный рельеф (Безуглова, Хырхырова, 2008).

Климат области – умеренно-континентальный с резкой амплитудой температур холодного и теплого периодов, а также заметными суточными колебаниями температур. Континентальность климата области возрастает с запада на восток, что объясняется влиянием на западе бассейнов Черного и Азовского морей. Продолжительность общего вегетационного периода ($t > 5^{\circ}\text{C}$) – 200–220 дней, а активного вегетационного периода ($t > 10^{\circ}\text{C}$) – 165–180 дней. Длительный вегетационный период с большим притоком солнечного тепла – характерная особенность климата области, благоприятная для сельскохозяйственного производства. Важным элементом климата являются атмосферные осадки, режим их выпадения. Среднегодовое количество осадков колеблется от 489–464 мм на западе и севере области до 407–339 мм – на юго-востоке. Во влажные годы выпадает 600–750 мм в северо-западных и западных и до 500 мм – в восточных и юго-восточных. В засушливые годы – 300 и 200 мм соответственно (Вальков, 1977).

Основные земледельческие угодья Ростовской области расположены на чернозёмах обыкновенных, чернозёмах южных и каштановых почвах (таблица 2).

Чернозёмы занимают больше половины территории – 64,2 %, почвы каштанового типа – 26,6 % (Гаврилюк и др., 1983). Область является крупным производителем и поставщиком зерна. Для

рационального и эффективного использования земли в области проведено природно-сельскохозяйственное районирование, представляющее собой научно-обоснованную систему деления земельного фонда на отдельные территории, характеризующиеся сходными природно-экономическими условиями. С учётом физико-географического положения, разнообразных почвенно-климатических условий, характера сельскохозяйственного производства и интенсивности его ведения в области выделено 6 природно-сельскохозяйственных зон.

Таблица 2 – Основные пахотные почвы Ростовской области (корреляция названий)

Местная классификация	Классификация и диагностика почвы, 1977		Классификация и диагностика почвы, 2004	WRB, 2014
	типовая и под-типовая (родовая)	фациальная		
1	2	3	4	5
Чернозем обыкновенный	Чернозем обыкновенный	Теплая промерзающая	Чернозем сегрегационный	Horlic Chernozem
Чернозем южный	Чернозем южный	Теплая промерзающая	Чернозем текстурно-карбонатный	Luvic Calcic Chernozem (Tonguic)
Чернозем северо-приазовский	Чернозем обыкновенный карбонатный	Теплая кратковременно промерзающая	Чернозем миграционно-сегрегационный	Calcic Chernozem
Чернозем предкавказский	Чернозем обыкновенный карбонатный	Очень теплая кратковременно промерзающая	Чернозем миграционно-сегрегационный	Calcic Chernozem

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5
Темно-каштановая почва	Темно-каштановая почва	Теплая промерзающая и очень теплая кратковременно промерзающая	Чернозем текстурно-карбонатный	Luvic Calcic Chernozem или Kastanozem
Каштановая почва	Каштановые почвы	Очень теплая кратковременно промерзающая	Каштановая почва	Calcic Kastanozems

Состояние почвенного плодородия в системе агрохимического мониторинга по природно-сельскохозяйственным зонам оценивается по общему содержанию гумуса, так как этот показатель наиболее тесно коррелирует с урожайностью сельскохозяйственных культур. Северо-Западная зона (Боковский, Верхнедонской, Каменский, Миллеровский, Тарасовский, Чертковский, Шолоховский районы) характеризуется распространением чернозёмов южных. В Красносулинском, Зверевском, Октябрьском, Родионово-Несветайском, Куйбышевском и Матвеево-Курганском районах среди черноземов южных встречаются массивы черноземов обыкновенных обычных. Среднее содержание гумуса в южном чернозёме по данным последних туров агрохимического обследования – 3,2 %; в обыкновенном – 4 %; в среднем по зоне – 3,5 %.

Почвенный покров Северо-Восточной зоны (Белокалитвенский, Константиновский, Милютинский, Морозовский, Обливский, Тацинский, Цимлянский районы) представлен южными чернозёмами со средним содержанием гумуса – 2,9 %.

Для Центральной зоны (Багаевский, Весёловский, Семикаракорский, Волгодонской, Мартыновский, Пролетарский районы)

характерен весьма разнообразный почвенный покров, представленный черноземами южными и обыкновенными, луговыми чернозёмами, каштановыми почвами с разной степенью засоления и солонцеватости. Среднее содержание гумуса в почвах этой зоны – 3 %.

Почвенный покров Приазовской зоны (Азовский, Аксайский, Куйбышевский, Матвеево-Курганский, Мясниковский, Неклиновский, Октябрьский, Родионово-Несветайский и Усть-Донецкий районы) представлен чернозёмом обыкновенным карбонатным со средним содержанием гумуса – 3,6 % при колебаниях от 3,2 до 4,2 %.

Чернозёмом обыкновенным карбонатным представлена, в основном, и южная зона (Егорлыкский, Зерноградский, Кагальницкий, Песчанокопский, Сальский, Целинский районы). Содержание гумуса – 3,53 %, при колебаниях от 3,2 до 4,0 %.

В Восточной зоне (Дубовский, Заветинский, Зимовниковский, Орловский, Ремонтненский районы) распространены тёмно- и светло-каштановые почвы в комплексе с солонцами, которые в восточной части зоны достигают 50 %. Эти почвы бедны гумусом, средний показатель составляет 2,2 %. По подтипам: тёмно-каштановые почвы – 2,8–3,4 %, каштановые – 2,3–2,8 %, светло-каштановые – 1,7–2,4 %, солонцы – 1,0–2,5 %.

По итогам Всероссийской сельскохозяйственной переписи (2018) в Ростовской области по данным на 1 июля 2016 года общая площадь земель составляла 7993,55 тыс. га. Из них сельскохозяйственные территории занимали 7637,94 тыс. га, или 95,60 %. На долю пахотных угодий приходилось 5802,87 тыс. га, что составляет 75,97 %. Такой высокий процент распаханности земель не обеспечивает условия для экологически устойчивого состояния, так как допустимый порог распашки для степных территорий составляет 65 % (Шишкина, 2017).

2.2 Объект исследования

2.2.1. Характеристика почвы

Для изучения эффективности гуминовых удобрений и препаратов в условиях открытого грунта нами был заложен мелкоделяночный полевой опыт. Этот эксперимент проводился на территории УОХ «Недвиговка» Южного федерального университета в Мясниковском районе Ростовской области. Затем исследования были продолжены в условиях производственного эксперимента на стационаре Донского зонального научно-исследовательского института (ДЗНИ-ИСХ) в Аксайском районе Ростовской области, а также проверены в производственных условиях на черноземе южном (Верхнедонской район, ЗАО «Шумилинское»), темно-каштановой почве (Цимлянский район, ЗАО им. Ленина), черноземе обыкновенном карбонатном (предкавказском) (Песчанокопский район, ОАО «Заря») (рисунок 5).

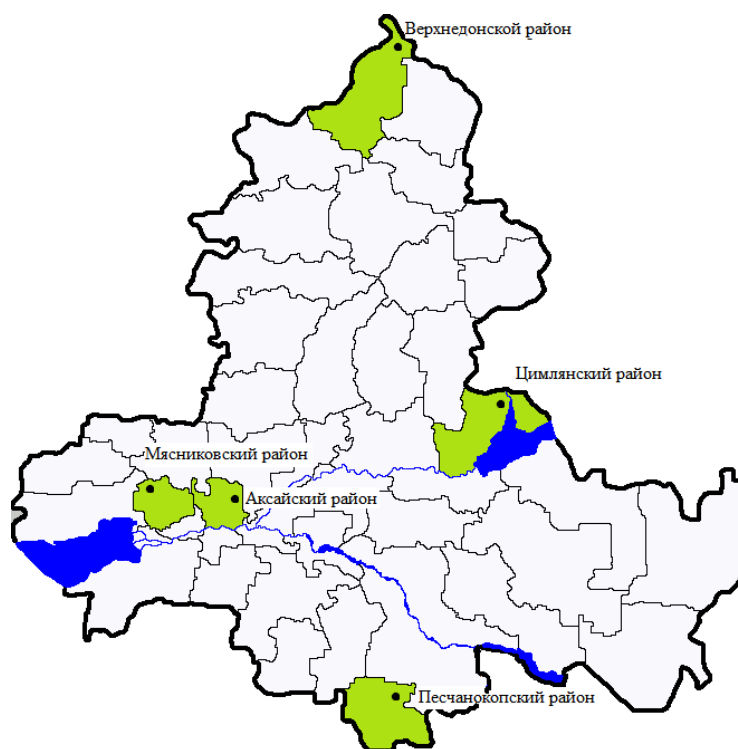


Рисунок 5 – Географическое расположение полевых опытов

Генетические особенности чернозема обыкновенного карбонатного: образование и накопление насыщенного кальцием гумуса ($C_{гк}:C_{фк} = 1,5-2,0$) в горизонтах (А+В); миграция карбонатов в профиле, выделение их миграционных новообразований (прожилок, мицелия, паутинок); образование карбонатного иллювиального горизонта; выщелачивание легкорастворимых солей; слабое оглинивание почвенной толщи с максимумом в горизонте В с накоплением гидрослюд, монтмориллонита и каолинита (Гаврилюк, Вальков, Клименко, 1983).

Данный чернозем имеет следующие свойства (Безуглова, Хырхырова, 2008). Большая мощность гумусового горизонта (А+В = 87–91 см), несмотря на малую гумусность (4,6–4,7 %), определяет достаточно высокий уровень накопления органического вещества (345–385 т/га). Континентальность климата и высокая биогенность обуславливают высокую карбонатность всего профиля черноземных почв данного подтипа. Отличительной особенностью этих почв является наличие кроме обычных форм карбонатных новообразований (жилок и белоглазки) мицелярной формы – карбонатной плесени. Благодаря этой особенности в новой классификации почв (Классификация и диагностика..., 2004) почвы были выделены на уровне миграционно-сегрегационного подтипа в типе черноземов (табл.2). Присутствие карбонатов с поверхности обуславливает среднещелочную реакцию среды ($pH = 8,0-8,6$) и весьма слабую доступность фосфора растениям (Вальков, 1977).

Гранулометрический состав характеризуется высоким содержанием физической глины: почву относят к иловато-крупнопылевой тяжелосуглинистой. Данный показатель является индикатором содержания гумуса, а, следовательно, и биологической активности почв (Крыщенко и др., 2006).

Гумус характеризуется средним содержанием N, отношение C:N для Апах – 11,2; для Ап/пах – 10,2. Состав гумуса характеризуется преобладанием гуминовых кислот над фульвокислотами в верхней части профиля и фульвокислот над ГК – в средней и нижней частях профиля. В составе гуминовых кислот преобладает фракция ГК-2, содержание которой достигает максимума в горизонте Ап/пах. Количество гуминовых кислот фракции ГК-1 невелико, причем с глубиной оно уменьшается. Небольшая величина фракции ФК-1а в составе гумуса этой почвы говорит об устойчивости органического вещества (Гаврилюк, Безуглова, 1983). Валовое содержание N в Апах – 0,25–0,28 %. Доля минеральных форм азота в слое Апах – 9,9–13,9 мг/100 г почвы, что составляет 5,0–5,4 % от общего азота. Запасы необменного аммония в метровом слое почвы составляют 0,98–1,5 т/га (Полтавская, Коваленко, 1983).

Минеральные соединений фосфора представлены в основном фосфатами Са, Mg и Al. Содержание наиболее растворимых фосфатов Са и Mg в Апах колеблется от 0,6 до 1,6 мг/100 г почвы. Степень обеспеченности подвижной фосфорной кислотой – низкая (Полтавская, Коваленко, 1983).

Степень обеспеченности почвы обменным калием – средняя (23,4–47,0 мг-экв/100 г почвы). Сумма поглощенных оснований 33,0–43,8 мг-экв/100 г почвы, основная доля в почвенно-поглощающем комплексе приходится на Са и Mg (Са>90 %) (Соборникова, 1989). По агропроизводственной группировке почв Ростовской области черноземы обыкновенные отнесены к лучшим почвам и оценены в 56 баллов (Экономическая оценка..., 1991).

2.2.2. Организация исследований

В мелкоделяночном опыте наблюдения вели в динамике. Схема опыта приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Схема мелкоделяночного опыта с лигногуматом калия

Вариант	Удобрение, препарат	Доза
1. Контроль	Без удобрений	-
2. Фон	ЖКУ	N10:P34
3. Фон + Лигногумат калия (обработка по листу)	ЖКУ, лигногумат калия	N10:P34 75 г/га
4. Фон + Лигногумат калия (внесение в почву)	ЖКУ, лигногумат калия	N10:P34 100 г/га

Размер делянок – 25 м². Повторность – шестикратная. Фон – жидкое комплексное удобрение (ЖКУ) марки N10:P34. Отбор образцов производили из пахотного горизонта три раза: перед внесением удобрений, через месяц после внесения (всходы), (колошение) и после уборки урожая. Посев озимой пшеницы сорта Зерноградка 11 – через неделю после внесения удобрений. Почва – чернозем обыкновенный карбонатный (североприазовский) мощный тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке. Схема расположения делянок приведена на рисунке 6.

С 2013 года исследования проводили в условиях производственного эксперимента на стационаре Донского зонального научно-исследовательского института (ДЗНИИСХ) в Аксайском районе Ростовской области. Почва – чернозем обыкновенный карбонатный мощный тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке. Агрохимическая характеристика почвы на экспериментальном поле до закладки эксперимента приведена в таблице 4.

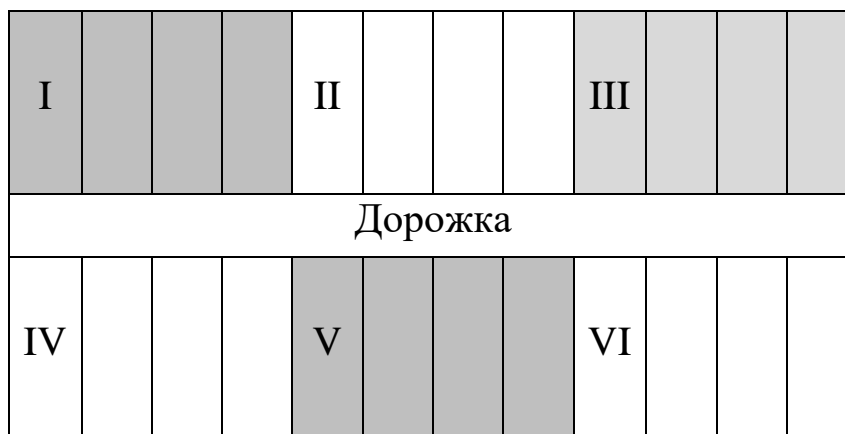


Рисунок 6 – Схема расположения делянок (цифрами обозначены номера повторностей)

Таблица 4 – Агрохимическая характеристика чернозема обыкновенного карбонатного на экспериментальном поле (2014 г.)

N-NO ₃	N-NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O	Гумус, %	Каталаза, мл O ₂ /1 г за мин	Инвертаза, мг глюкозы/ 1 г за 24 ч
мг/кг						
3,13	3,31	22,24	306,3	3,91	7,36	30,11

Почва по содержанию подвижных элементов питания на момент посева оценивалась как среднеобеспеченная по фосфору и по калию, по гумусу – среднегумусированная, по активности каталазы и инвертазы – среднеобогатченная. Схема опыта приведена в таблице 5.

Влажность почвы при посеве оптимальная, разделка почвы хорошая, перерывов в посеве не было.

Культура – озимая пшеница, сорт – Донэко. Отбор почвенных образцов проводили из пахотного слоя в следующие сроки: 17.10.2013 до посева озимой пшеницы, 17.11.2013 в фазу кущения, 23.04.2014 в фазу кущения – выхода в трубку, 11.07.2014 – в фазу созревания зерна – уборки.

Таблица 5 – Схема опыта на стационаре ФГБНУ «ДЗНИИСХ»

Вариант	ВЮ-Дон, способ применения, доза	Пло- щадь, га
1. Фон	Нет	8,7
2. Фон + ВЮ-Дон	Предпосевное внесение в почву: 1 л/га	9,0
3. Фон + 2-кратная обра- ботка посевов ВЮ-Доном	Обработка по листу: в фазу куще- ния и выхода в трубку по 1 л/га	6,8
4. Фон + предпосевное внесение в почву ВЮ- Дона + 2-кратная обра- ботка посевов ВЮ-Доном	Предпосевное внесение в почву: 1 л/га Обработка по листу: в фазу куще- ния и выхода в трубку по 1 л/га	9,0

Примечание. Припосевное внесение: диаммофоска – 10:26:26 – 30 кг/га; весенняя подкормка – аммиачная селитра 100 кг/га.

В производственных условиях действие гуминовых препаратов на структурное состояние почвы было проверено под различными культурами на черноземе южном (Верхнедонской район, ЗАО «Шумилинское»), темно-каштановой почве (Цимлянский район, ЗАО им. Ленина), черноземе обыкновенном карбонатном (предкавказском) (Песчанокопский район, ОАО «Заря») (таблица 6).

**Таблица 6 – Схема производственных опытов
в хозяйствах Ростовской области**

Вариант	Площадь участка, га	Культура	Примечание
1	2	3	4
ЗАО «Шумилинское», Верхнедонской район, Чернозем южный			
1	Под культуру сплошного сева	330,0	Озимая пшеница
			Пар(140)/нут (192)
2	Под пропашную культуру	175,0	Подсолнеч- ник
			Озимая пшеница

1	2	3	4
ЗАО им. Ленина, Цимлянский район, Темно-каштановая почва			
1	Под культуру сплошного сева	103,0	Озимая пшеница
2	Под пропашную культуру	142,0	Кукуруза
ОАО «Заря», Песчанокопский район, Чернозем обыкновенный карбонатный			
1	Контроль	35,0	Поле № 24
2	ВЮ-Дон	35,0	Поле № 24
3		120,6	Поле № 22
4		61,0	Поле № 28
5		124,8	Поле № 27
6		124,8	Поле № 17
7		Контроль	46,5
8	ВЮ-Дон	46,5	Поле № 27
9		130,9	Поле № 28(П)
10		166,1	Поле № 29

На экспериментальных полях в хозяйствах гуминовый препарат ВЮ-Дон использовали по листу в процессе вегетации, отбор почвенных проб проводили до обработки гуминовым препаратом и через 2 недели после с последующим определением структурного состояния, содержания гумуса и биологической активности. Результаты почвенного исследования исходного состояния почвы на производственных полях представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Содержание подвижных элементов питания, гумуса, активность ферментов в почве до внесения жидкого гуминового удобрения ВЮ-Дон на производственных полях в Верхнедонском, Цимлянском и Песчанокопском районах

Вариант	N-NO ₃	N-NH ₄	Σ N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Гумус, %	Каталаза, мл O ₂ /1 г за мин	Инвертаза, мг глюкозы/1 г за 24 ч
	мг/кг							
ЗАО «Шумилинское», Верхнедонской район (7.04.2014)								
1	4,7	4,1	8,8	20,4	473	4,0	12,4	27,8
2	5,7	3,6	9,3	43,3	634	3,9	8,7	30,0
ЗАО им. Ленина, Цимлянский район (7.04.2014)								
1	4,5	9,3	13,8	43,8	544	3,2	8,1	36,6
2	6,6	4,2	10,8	60,0	700	2,8	6,5	34,5
ОАО «Заря», Песчанокопский район (20.05.2014)								
1	13,6	2,4	16,0	40,5	553,3	3,2	-	-
2	14,9	1,9	16,8	48,8	533,0	3,2	-	-
3	17,6	2,2	19,8	28,9	445,0	3,2	-	-
4	14,3	2,2	16,5	32,8	453,3	3,1	-	-
5	15,0	2,5	17,5	30,9	460,0	3,4	-	-
6	18,7	1,6	20,3	20,8	420,0	3,5	-	-
7	11,1	2,4	13,5	54,9	630,0	2,9	-	-
8	12,1	1,9	14,0	43,2	606,7	3,0	-	-
9	13,0	1,8	14,8	42,3	560,0	2,9	-	-
10	9,1	1,9	11,0	28,1	533	3,0	-	-

2.2.3. Гуминовые препараты

Гуминовые вещества являются неотъемлемой частью многих природных объектов. Высокое содержание ГВ отмечается в органическом ископаемом сырье – буром угле, сапропеле, горючих слан-

цах. Все они могут служить источником для получения гуминовых удобрений и препаратов.

Наибольшее количество извлекаемых ГВ, представленных фракциями гуминовых кислот и фульвокислот, содержится в высокогуминовой разновидности бурого угля – леонардите – до 85%. Леонардит широко используется для получения ГВ, его пласты присутствуют в большинстве месторождений бурых углей, но в связи с низкой теплотворной способностью обычно поступают в отвалы. Запасы бурого угля в мире составляют около 500 млрд. т, из них в России сосредоточено более 100 млрд. т. (Thomas, 2002).

Другой источник получения гуматов – торф. Его мировые запасы превышают 500 млрд. тонн (Перминова, Жилин, 2004). Однако, в связи с нарушением при торфяных разработках экологического равновесия в естественных болотных ландшафтах, добыча торфа в мире признана нецелесообразной. Тем не менее, в России, как и в ряде других стран (Беларуси, Ирландии, Латвии, Канаде, Украине, Швеции) ведется активная разработка торфа, который идет в основном на топливо и местные удобрения. Возможность промышленного производства ГВ из торфа позволила бы более рационально использовать этот уникальный природный ресурс.

Еще один источник ГВ – сапропель. Это донные отложения пресноводных водоемов, образующиеся в основном из растительных остатков. Только в России запасы сапропеля оцениваются величиной 225 млрд. м³. Сапропель отличается разнообразием химического состава и содержит большое количество минеральных примесей, в том числе микроэлементы – Mn, Cu, Zn, V, Br, Co, Mo, в связи с чем технологии его переработки более сложны. Тем не менее, добыча сапропеля позволяет очистить заиляющиеся озера, что благоприятно сказывается на функционировании водных объектов и прибрежных территорий (Бакшеев, 1996).

Горючие сланцы относят к высокоуглеродистым биолитогенным породам. Они содержат от 10 до 50 % органического вещества. Однако их добыча и переработка требует большого количества воды и сопряжена со значительным ущербом окружающей среде. Гуминовые кислоты сланцев обладают более низкой гидролизуемостью и малым содержанием аминокислот в гидролизатах по сравнению с гуминовыми кислотами сапропелей (Кречетова, 1994). Таким образом, сланцы – малоперспективны с точки зрения их использования для получения гуматов.

Основным методом промышленного получения гуматов является щелочная экстракция их из природных каустобиолитов растворами гидроксидов калия, натрия или аммония (Frimmel, Christman, 1988). При определенных условиях можно проводить полную экстракцию гумусовых веществ с получением слабощелочного раствора. Указанный метод является практически безотходным, поэтому он широко используется в производстве. Альтернативный способ подразумевает механическое измельчение смеси бурого угля с сухим гидроксидом натрия или калия, в результате чего получается твердый растворимый в воде препарат гуминовых кислот (Левинский, Курченко, 2004).

В настоящее время разрабатывается множество новых технологий получения гуматов, расширяется сырьевая база. Физиологическая активность гуминовых препаратов может существенно различаться при использовании в технологическом процессе разных видов органического сырья. Так, гуминовые вещества бурых углей высокомолекулярны и обогащены конденсированными ароматическими фрагментами. Более молодыми являются гуминовые вещества торфов. Они сохраняют фрагменты липидных и лигниновых структур растительных тканей, значительное количество фульвокислот и остатки азота. Во многом именно генезис органического

сырья определяет состав, свойства и эффективность промышленных гуматов (Якименко, 2010).

В последнее время во многих странах мира, включая Россию, широкое использование в качестве исходного сырья для получения и производства различных гуминовых биопрепаратов сельскохозяйственного назначения получили вермикомпосты (биогумус). Несмотря на то, что вермикомпосты по содержанию в них ГВ существенно беднее бурых углей и торфов, они обладают рядом преимуществ. Прежде всего, вермикомпосты являются возобновляемым источником гумусосодержащего сырья, причем процесс биоконверсии составляет 3–4 месяца. Помимо гуминовых веществ вермикомпосты содержат широкий спектр биологически активных соединений – продуктов жизнедеятельности микробиоценоза и богатую по видовому составу микрофлору полезных почвенных микроорганизмов – антагонистов самых различных патогенов (Полиенко и др., 2016).

Существует три способа обработки вермикомпостов для получения жидких биопрепаратов (Титов, Белик, 2014):

- биологический (ферментация водных суспензий);
- химический (экстракция щелочными или кислотными реагентами);
- физический (экстракция с помощью ультразвука и кавитации).

Экстракция жидких гуминовых препаратов из биогумуса путем щелочной обработки в растворе позволяет получить более концентрированные, чем при водной обработке, препараты. Более того, щелочная обработка позволяет не только полностью извлекать из биогумуса все его компоненты, но и многократно усилить физиологическую активность гуминовых кислот, переводя их в водорастворимые соли – гуматы натрия, калия или аммония. Эта технология

является безотходной, так как осадок биогумуса после экстракции содержит в себе органоминеральную часть биогумуса и водонерастворимые гуматы кальция, железа, меди и других металлов. Этот осадок после подсушивания можно использовать как высокоценный компонент для почвосмесей. Также полученные экстракты используют для получения бактериально-гуминового препарата для разложения стерни, их нейтрализуют и добавляют инокулирующую добавку, которая содержит в себе деструкторы целлюлозы (Горовцов и др., 2020).

Гуминовые вещества компостов самые молодые, в их структуре еще сохраняются полисахариды, а остальные свойства могут очень сильно варьировать в зависимости от природы компостируемого материала. В отличие от гуминовых препаратов на основе бурых углей и торфов гуминовые биопрепараты из вермикомпостов обладают более широким спектром действия, как на почву, так и на растения. Вместе с тем при производстве таких биопрепаратов возникает проблема их стандартизации, поскольку они содержат в себе широкий спектр действующих веществ. Жидкие гуминовые препараты, получаемые на основе биогумуса, содержат в себе все компоненты биогумуса в растворенном состоянии: гуминовые кислоты и фульвокислоты, природные фитогормоны, витамины, макро- и микроэлементы в виде биодоступных органических соединений, а также споры полезных почвенных микроорганизмов. Присутствие природных фунгицидов и антибиотиков, выделяемых микрофлорой кишечника дождевого червя в процессе вермикультивирования, предопределяет фунгицидные и бактерицидные свойства получаемых удобрений.

Следует также подчеркнуть, что различают гуминовые удобрения и гуминовые препараты. Под гуминовыми удобрениями понимают балластные гуматы, представляющие собой, например,

размолотый бурый уголь, без предварительной обработки. Либо субстрат подвергают обработке химическими реагентами, и в этом случае удобрения, по сути своей, также являются солями гумусовых кислот. Но при их получении не производят отделения гуминовых соединений от субстрата и очистку их от примесей. Гуминовые удобрения используют как основное удобрение под вспашку, а также в качестве подкормки. Недостатком этих удобрений является необходимость внесения в достаточно высоких дозах (в литературе встречаются указания на 1-2 т/га и выше). Этот недостаток предопределяет отнесение их к группе местных удобрений, так как перевозка на большие расстояния не рациональна. В то же время они характеризуются пролонгированностью действия. К гуминовым удобрениям относят и гуматизированные минеральные удобрения – гранулированные минеральные удобрения в гуматных оболочках.

Многие ценные качества гуминовых удобрений присущи и гуминовым препаратам, к которым относят выделенные из природных субстратов и очищенные от основных примесей гуминовые кислоты и фульвокислоты. Однако если гуминовые удобрения помимо явного стимулирующего действия на растения влияют и на плодородие почвы, то гуминовые препараты характеризуются четким «адресным» воздействием на живые организмы. В данном исследовании применялись жидкие гуминовые препараты.

В мелкоделяночном опыте сравнивалась эффективность гуминового препарата Лигногумат калия (производства Санкт-Петербургского предприятия РЭТ) при его внесении в почву и при обработке по листу на фоне жидкого комплексного удобрения (ЖКУ 10:35). В полевых условиях работу вели со щелочным экстрактом из биогумуса – гуминовым препаратом ВЮ-Дон. Его состав приведен в таблице 8.

Таблица 8 – Химический состав гуминового препарата ВЮ-Дон

N-NO ₃	N-NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O	pH	Сорг %	Сгк	Сфк	Сгк+Сфк
мг/л						г/л		
76,4	198,76	530,27	360	8,7	0,224	1,83	0,41	2,24

Низкомолекулярные соединения гуминовых веществ обладают повышенным биостимулирующим действием на рост и развитие растений, им свойственна высокая миграционная подвижность в почве. Высокомолекулярные соединения при меньшей миграционной подвижности и невысоком биостимулирующем действии имеют повышенные сорбционные свойства связывания элементов по механизму комплексообразования, что снижает возможности попадания токсичных и вредных веществ в растение. Эти особенности гуминовых препаратов обеспечивают увеличение приспособляемости растений к пестицидному токсикозу и минеральным передозировкам, а также позволяют уменьшить последствия стрессовых факторов (пересадки, засухи, переохлаждения).

Гуминовый препарат ВЮ-Дон (Безуглова и др., 2017) характеризуется щелочной реакцией среды и содержит относительно невысокую концентрацию питательных элементов, поэтому не может рассматриваться как аналог минеральных удобрений. Однако в его составе содержатся гуминовые кислоты и фульвокислоты, сумма которых составляет 2,24 г/л. Они, как показывают многочисленные эксперименты, являются стимуляторами роста и адаптогенами, снимая стресс после применения средств защиты и от воздействия неблагоприятных погодных факторов. Данный препарат разбавляют до оптимальной концентрации 0,001 % и производят обработку почвы или растений.

Микробиологический состав препарата представлен в таблице 9. В исследуемом образце методом посева на плотные питательные

среды было проведено определение численности следующих групп микроорганизмов: бактерии, использующие органические формы азота на мясо-пептонном агаре (МПА), бактерии, использующие минеральные формы азота на крахмало-аммиачном агаре (КАА), олигонитрофильные и азотфиксирующие бактерии на среде Эшби, бактерии группы кишечной палочки на среде Эндо (Методы..., 1991).

Таблица 9 – Результаты микробиологического анализа гуминового удобрения ВЮ-Дон

Группа микроорганизмов	Численность, КОЕ/мл биопрепарата
Бактерии на МПА	$2,75 \pm 0,17 * 10^4$
Бактерии на КАА	$3,30 \pm 0,71 * 10^3$
Олигонитрофилы	$1,93 \pm 0,56 * 10^3$
Азотфиксаторы	Не обнаружено
БГКП	Не обнаружено

Максимальной в биопрепарате оказалась численность бактерий, растущих на МПА, в большинстве они представлены спорообразующими бактериями р. *Bacillus* (78 %), что связано с условиями производства биопрепарата и высоким значением рН. Предположительно, на основании морфологии, отмечено не менее трех различных видов данного рода. Данные бактерии являются непатогенными представителями нормальной почвенной микрофлоры, активными гидролитами, участвующими в разложении свежих органических веществ.

Кроме спорообразующих бактерий р. *Bacillus* были выявлены неспорообразующие грамположительные кокки, предположительно принадлежащие к р. *Rhodococcus*, или р. *Micrococcus*.

В биопрепарате не было выявлено азотфиксирующих бактерий, активно растущих на среде Эшби, обнаружены только олигонитро-

фильные микроорганизмы, способные расти за счет следовых количеств азота. Бактерии группы кишечной палочки также не были выявлены, рост на среде Эндо был нулевой, что указывает на полное отсутствие грамотрицательных бактерий в препарате.

Таким образом, биопрепарат ВЮ-Дон содержит ценные с агрономической точки зрения культуры микроорганизмов *p. Bacillus*, которые входят в состав многих микробиологических удобрений, и не представляет опасности, так как отсутствует патогенная микрофлора.

В предыдущих публикациях показано, что использование на посевах озимой пшеницы препарата ВЮ-Дон способствует достоверному увеличению содержания подвижного фосфора в почве, по сравнению с фоном. Как результат, получение более высоких урожаев зерна озимой пшеницы: прибавки, по сравнению с фоном, в разные годы в зависимости от способа использования препарата составили от 4,4 до 12,8 ц/га. Наиболее эффективно сочетание предпосевного внесения гуминового препарата в почву с двукратной обработкой им посевов. Обусловлено это активным регулированием растениями процессов мобилизации фосфора через механизм корневых выделений и увеличением численности микроорганизмов, особенно аммонификаторов, целлюлозоразрушающих микромицетов и актиномицетов, по которым установлена более чем 150 % прибавка в численности относительно фона (Безуглова и др., 2019).

Лигногумат (ЛГ) – это препарат промышленной технологии, которая основана на имитации природных процессов гумификации растительных отходов различного происхождения (Брыкалов и др., 2005). Данный гуминовый препарат может быть получен практически из любого содержащего лигнин сырья. Получаемый продукт содержит гуминовые кислоты и фульвокислоты, а также микроэле-

менты в хелатной форме. Благодаря своему составу, лигногумат обладает свойствами стимулятора роста и антистрессанта, высокая биологическая активность обусловлена тем, что все компоненты полностью растворимы в воде.

Производители гуминового препарата, выпускаемого под торговой маркой Лигногумат, рекомендуют его использовать для увеличения урожайности сельскохозяйственных культур (в зависимости от культуры и агротехники на 10–25 %), повышения качества сельскохозяйственной продукции (клейковины в зерне пшеницы в среднем на 2,0–2,5 %, сахаристости сахарной свёклы, витамина С в овощах, сахара в винограде и плодовых культурах), усиления иммунитета у растений, повышения морозо- и засухоустойчивости растений. Такое действие препарата обусловлено, в основном, за счет усиленного развития корневой системы растений, повышения эффективности обработок семенного материала совместно с протравителями (повышается полевая всхожесть семян, усиливается подавление патогенов, растёт иммунитет растений). Отмечено также снятие стресса при внекорневых обработках пестицидами и их сложными баковыми смесями, стимулирует рост и развитие растений, снимает стресс при комплексных обработках, стимулирует процесс фотосинтеза. Отдельно следует упомянуть о повышении эффективности применения минеральных удобрений, так как повышается коэффициент использования азота и фосфора растениями, за счет чего возможно снижение норм внесения на 20–30 % (Jia, 2001).

Лигногумат выпускается в различных формах: и в виде порошка, и в виде жидкого препарата. В наших исследованиях был использован препарат, сырьем для которого служил лигносульфанат (продукт переработки древесины), марки БМ (20 % водный раствор с микроэлементами).

Щелочные лигнины – сульфатный (тиолигнин) и натронный – лигносульфонаты и гидролизный лигнин – это так называемые технические лигнины, которые являются побочными продуктами при химической переработке древесины (Азаров, 1999). Структура лигносульфонатов точно не установлена. Известно, что они представляют собой гетерогенную смесь соединений с широким спектром молекулярных масс (300–100000), состав зависит от породы древесины. Сложность структуры сульфонатов обусловлена также процессом перемешивания коллоидных фрагментов с различной молекулярной массой. Очистка лигносульфонатов, их концентрирование производится на мембранных ультрафильтрационных установках. Используя различные мембранные элементы можно провести отсежку высокомолекулярных лигносульфонатов с геометрическими размерами 80–100 нм, которые обладают характерными свойствами гуминовых веществ. В наших опытах использовался лигногумат жидкий БМ калийный, представляющий собой 20 % раствор гуминовых веществ с рН 8,5–10,0 и содержанием калия не менее 9 % и серы – не менее 3 %. В его составе также содержатся микроэлементы в хелатной форме (в % от сухих веществ, не более): железо – 0,2, марганец – 0,12, медь – 0,12, цинк – 0,12, молибден – 0,015, бор – 0,15, кобальт – 0,12 (Орлов и др., 1991).

2.2.4. Биологические особенности возделываемых культур

Озимая пшеница

Исследование влияния гуминовых веществ на структуру чернозема в условиях мелкоделяночного опыта и в экспериментальных посевах на стационаре ДЗНИИСХ проводили под озимой пшени-

цей. В мелкоделяночном опыте в УОХ «Недвиговка» исследовали и влияние лигногумата, а точнее его последствий, на яровой ячмень в звене севооборота: озимая пшеница – озимая пшеница – яровой ячмень.

Озимая пшеница является одной из самых распространенных важнейших продовольственных культур на земном шаре, ценность зерна которой определяется высоким содержанием белка, жира, углеводов и т.д. Корневая система – мочковатая, располагается в верхнем пахотном слое почвы, основная масса корней расположена слое 0–40 (70) см (Грабовец, Фоменко, 2007). В этом слое для получения высоких урожаев озимой пшеницы с хорошим качеством зерна наиболее благоприятная влажность почвы выше влажности разрыва капилляров (Rogers, 1939).

Почва для озимой пшеницы почва должна быть высокоплодородной, структурной, с высоким содержанием NPK и др. питательных веществ. Реакция почвенного раствора должна быть в пределах рН=6–7,5. Содержание гумуса, чем выше, тем лучше. Лучшие почвы – черноземы. Высокие урожаи озимая пшеница дает на каштановых, подзолистых и дерново-глеевых почвах. Фазы роста и развития: всходы, кущение, выход в трубку (стеблевание), колошение, цветение, созревание.

Озимая пшеница кустится осенью и весной. Пониженная температура воздуха (до 6–10 °С) при достаточной влажности, а также повышенная облачность задерживают общее развитие растений, но способствуют более интенсивному кущению. Кущение значительно повышается при внесении азотных удобрений и при посеве крупными семенами. В благоприятных условиях произрастания одно растение образует 3–5 стеблей.

В переходный осенне-зимний период для развития озимой пшеницы наиболее благоприятна сухая ясная и теплая погода днем

(до 10–12 °С) с понижением до отрицательных температур ночью, это способствует большему накоплению углеводов, прохождению закалки и лучшей перезимовке.

При понижении среднесуточной температуры воздуха до 4–5 °С осенний рост озимой пшеницы приостанавливается. Весной при повышении температуры до 5 °С пшеница начинает расти и дополнительно кустится. Для озимой пшеницы очень опасны резкие колебания температуры ранней весной, когда днем она поднимается до 10 °С, а ночью падает до ...-10 °С. Озимая пшеница может выдержать температуру в зоне узла кущения ...-16...-18 °С.

Выход в трубку (4–7 этапы) у озимой пшеницы начинается через 25–35 дней после весеннего отрастания, колошение (8 этап) – через 30 дней после выхода в трубку. Цветение (9 этап) пшеницы начинается через 2–3 дня после колошения и продолжается около недели. Продолжительность формирования, налива и созревания зерна (10–12 этапы) около 30–35 дней, зависит от погодных условий и особенностей сорта. При дождливой и прохладной погоде этот период удлиняется, а при засушливой – сокращается.

Общая сумма положительных температур от посева до полной спелости составляет 1850–2200°С. Продолжительность вегетационного периода (включая зиму) составляет – 275–350 дней (Rogers, 1939).

Яровой ячмень

Исследование влияния гуминовых веществ на структуру чернозема проводили также под яровым ячменем (в звене севооборота озимая пшеница – озимая пшеница – яровой ячмень в мелкоделянном опыте в УОХ «Недвиговка»). Ячмень принадлежит к числу древнейших культурных растений. Как и пшеница, он был окультурен в эпоху неолитической революции на Ближнем Востоке не ме-

нее 10 тыс. лет назад (Baver, 1935). Дикий ячмень (*H. vulgare*) произрастает на широком пространстве от острова Крит и Северной Африки на западе до Тибетских гор на востоке (Robinson, 1932). Ячмень одна из важных зернофуражных культур (1 кг зерна содержит 1,12 кормовых единиц). Его вводят как основной ингредиент в большинство комбикормов. Зелёную массу ячменя в смеси с бобовыми культурами (вика, горох, пелюшка, чина) используют на зелёный корм, силос, сенаж, сено.

Относится к семейству Мятликовые (*Poaceae*). Род *Hordeum Lessen* включает один вид культурного ячменя (*Hordeum vulgare Lessen*) и много видов дикого ячменя. Корневая система – мочковатая. При прорастании зерна сначала образуются так называемые зародышевые, или первичные корни, у ячменя 5–8. Из подземных стеблевых узлов образуются придаточные или узловые корни, которые при достаточном увлажнении начинают быстро расти, однако первичные корни при этом не отмирают. Основная часть корней находится на глубине 20–25 см в верхнем пахотном слое почвы.

В процессе роста и развития ячменя выделяют следующие фенологические фазы: набухание семян, их прорастание, всходы, появление третьего листа, кущение, выход в трубку, колошение, цветение, молочная, восковая и полная спелость зерна.

Для развития всходов минимальная температура должна быть 5–6 °С. Биологический минимум для вегетативного роста ячменя составляет 4–5 °С. При температуре выше 30 °С ростовые процессы замедляются, при 35–40 °С – приостанавливаются. Во время формирования генеративных органов и цветения требуется температура на уровне 20 °С (Калашник, 2002).

Скорость появления всходов зависит от температуры и влажности почвы, глубины заделки семян. При температуре 16–18 °С и хорошей увлажнённости верхнего слоя почвы всходы появляются

через 7–10 дней. Всходы легко выдерживают кратковременные заморозки до $-3-6$ °С (Грязнов, 1996).

Через 10–12 дней после появления всходов начинается новая фаза развития – кущение. Обеспеченность почвы питательными веществами, влажность почвы 65–70 % ПВ и температура 12–14 °С повышают кустистость. Во время фазы кущения происходит закладка будущего соцветия, что является одним из решающих факторов получения высокого урожая (Кулаковская, Стефанькина, 1975). В течение выхода в трубку растения интенсивно растут, накапливают сухое вещество, следовательно, потребляют большое количество питательных веществ из почвы. Колошение – в эту фазу из влагалища верхнего листа выходит колос. Продолжается в среднем 8–11 дней. Повышение температуры воздуха ускоряет прохождение фазы. Растение при колошении характеризуется мощно развитой ассимиляционной листовой поверхностью. Сумма биологически активных температур, необходимая в течение вегетативного периода, для раннеспелых сортов ячменя составляет 1250 °С, для позднеспелых – 1450 °С (Ростовцева, Аваева, 1935).

Яровой ячмень характеризуется высокой засухоустойчивостью. К недостатку воды яровой ячмень наиболее чувствителен в фазе выхода в трубку. Потребление влаги ячменя идёт в основном из метрового слоя. До колошения главным образом используется влага из слоя до 60–70 см, а в последующем – с глубины до 90–100 см (Грязнов, 1996).

В производственных экспериментах гуминовые препараты использовали на таких культурах как кукуруза на зерно, подсолнечник, сахарная свекла. Краткая характеристика требований всех использовавшихся в опытах культур к условиям произрастания дана в таблице 10.

**Таблица 10 – Характеристика полевых культур,
использовавшихся в экспериментах с гуминовым препаратом**

Семейство	Злаки, или мятликовые			Астровые	Маревые
	Озимая пшеница	Яровой ячмень	Кукуруза	Подсол-нечник	Свекла
Вегетационный период, дни	240–320	60–110	75–180	150–170	160–170
Оптimum температуры, °С:					
-прорастание	1–2	1–2	12–15	6–8	3–5
-появление всходов	12–15	4–5	15–18	10–15	6–7
-рост и развитие	16–21	12–23	16–20	25–27	18
Сумма активных температур	2100–2400	1600–2000	2100–3000	1600–2300	2200–2700
Критический по отношению к влаге период	Выход в трубку – выколашивание	Выход в трубку – колошение	10–14 дней до выбрасывания метелки – молочная спелость	Образование корзинок – конец цветения	Период интенсивного роста
Транспирационный коэффициент, л/кг/см	570	350–450	360	630	400
Отношение к свету	длинного дня	длинного дня	короткого дня	короткого дня	длинного дня
Требования к почве:					
рН	6,5–6,8	>5,5	5,6–7,2	6,2–7,0	6,5–7,5
содержание гумуса, %	> 2	2,2–2,5	> 1,8	> 2,0	> 3,0
плотность почвы, г/см ³	1,2–1,3	1,1–1,25	1,2–1,3	1,2–1,3	1,0–1,2
На формирование 1 ц зерна, кг:					На формирование 1 т, кг
Азота	3–4,5	2,5–3,0	2,4	5,0–6,0	До 7
Фосфора	0,9–1,3	1,1–1,2	1,2	2,0–2,5	3,5
Калия	2,0–3,6	2,0–2,4	3,0	10,0–12,0	9,0

2.3 Методы исследования

Для определения почвенной структуры пользовались такими методами как «сухое» и «мокрое» просеивание по общепринятым методикам: определение структурного состояния методом Н.И. Саввинова и определение водопрочности почвенных агрегатов методом П.И. Андрианова в модификации Н.А. Качинского (Вадюнина, Корчагина, 1986). Также рассчитывались коэффициенты структурности и водопрочности почвенных агрегатов по формулам 2 и 3:

$$K_c = \frac{\sum \phi p_{10-0,25}}{\sum \phi p. [>10] + [<0,25]}, \quad (2)$$

где, K_c – коэффициент структурности

$\sum \phi p$ – сумма фракций

$$K_v = \frac{\sum \phi p_{5-0,25}}{\sum \phi p. [<0,25]}, \quad (3)$$

где, K_v – коэффициент водопрочности

$\sum \phi p$ – сумма фракций

Агрегатный состав пашни и механическая прочность агрегатов необходимы для оценки качества вспашки, но количественные их показатели сохраняются лишь до первого значительного дождя или искусственного полива почвы. После увлажнения пашня претерпит изменения, и они будут тем больше, чем меньше водопрочность агрегатов. Вот почему наряду с «сухим» агрегатным анализом почвы возникла необходимость «мокрого» агрегатного анализа, т.е. необходимость определения водопрочности агрегатов.

Впервые метод «мокрого» агрегатного анализа почвы был предложен советскими почвоведомы еще в тридцатых годах (Тю-

лин, 1958). Позже он был доработан М.Х. Пигулевским, Н.И. Савиновым, П.В. Вершининым, И.М. Бакшеевым и др.

Точность «мокрого» агрегатного анализа почвы зависит от постоянства условий при анализе: диапазона погружения и поднятия сит в воде и от быстроты их движения.

В качестве уточняющего показателя водопрочности использовали критерий АФИ. Критерий АФИ рассчитывают как отношение суммы агрегатов (1–0,25 мм) при мокром и сухом просеиваниях (%). Шкала оценки состояния структуры почвы по критерию АФИ: >800 – отличная; 500–800 – очень хорошая; 100–500 – хорошая; 50–100 – удовлетворительная <50 – неудовлетворительная

Метод Н.И. Андрианова позволяет определить водопрочность счетно-аналитическим путем по одному какому-либо размеру комков (с учетом времени, прошедшего на распадание в воде комков, взятых для определения их прочности). В данном исследовании изучали водопрочность агрегатов с диаметром 2–3 и 7–5 мм.

Для характеристики степени водопрочности структуры в расчеты вводятся коэффициенты Качинского, которые по каждой минуте равны: для 1-й – 5, 2-й – 15, 3-й – 25, 4-й – 35, 5-й – 45, 6-й – 55, 7-й – 65, 8-й – 75, 9-й – 85, 10-й – 95. Водопрочность не распавшихся за 10 минут под водой почвенных агрегатов принимается за 100 %, определяется по формуле (Теории и методы физики почв..., 2004):

$$(P1 \times K1) + (P2 \times K2) + \dots (P10 \times K10) + (P \times 100)$$

Шкала оценки водопрочности представлена в таблице 11.

Эффективность применения биопрепарата (жидкое гуминовое удобрение ВЮ-Дон) оценивалась по динамике структурного состояния, урожайности и качеству зерна. Отбор почвенных проб проводили согласно ГОСТ 28168-89. Содержание органического

вещества – ГОСТ 26213-91. Отбор растительных образцов с анализом их на структуру урожая согласно методике ЦИНАО (1976). Активность каталазы и инвертазы в почве определяли по А.Ш. Галстяну (1974). Учет урожая и математическую обработку данных проводили по Б.А. Доспехову (1985).

Таблица 11 – Оценка водопрочности почвы по методу П.И. Андрианова

Содержание водопрочных агрегатов, %	Оценка структурного состояния
>70	отличное
70–55	хорошее
55–40	удовлетворительное
30–20	неудовлетворительное
<20	плохое

В производственных экспериментах также контролировалась биологическая активность почвы методом посева на плотные питательные среды. Определяли: микро копиотрофы (аммонификаторы) на мясо-пептонном агаре (МПА), копиотрофы (аминоавтотрофы) на крахмало-аммиачном агаре (КАА), олиготрофные микроорганизмы (бактерии и актиномицеты) на почвенном агаре (ПА), актиномицеты на КАА, олигонитрофилы на Эшби, почвенные микромицеты на среде Чапека, целлюлозоразрушающие микромицеты и актиномицеты – на среде Гетчинсона (Методы почвенной микробиологии..., 1991).

Уборку урожая озимой пшеницы на мелкоделяночном опыте производили вручную, срезая серпами колосья с учетных площадок, площадью 1 м² – метровок (рисунки 7, 8). Количество метровок на одной повторности варианта было три (повторностей 6), таким образом, по каждому варианту было 18 метровок.

Уборка урожая в условиях производственных опытов осуществлялась однофазным способом (прямое комбайнирование).



Рисунок 7 – Уборка урожая



Рисунок 8 – Отбор сноповых образцов

Есть огромный класс природных органических веществ, о котором химики надолго и совершенно незаслуженно забыли. Между тем с точки зрения химии будущего их возможности безграничны, а область их возможного применения очень велика. Речь о гуминовых веществах.

И.В. Перминова Гуминовые вещества – вызов химикам XXI века. Химия и жизнь, 2008.

3. ПРИМЕНЕНИЕ ГУМИНОВЫХ ПРЕПАРАТОВ В УСЛОВИЯХ ПОЛЕВОГО ОПЫТА

3.1. Влияние гуминовых препаратов на структурное состояние почвы

Структурное состояние является важным фактором почвенного плодородия. Важнейшим преимуществом применения гуминовых удобрений и препаратов является их положительное влияние на свойства почвы. Взаимодействие ГВ с минеральными частицами грунта с образованием органоминеральных комплексов обуславливает их использование в качестве структурообразователей и мелиорантов почв. Показано улучшение структуры почвы, увеличение содержания органического углерода, имеются также указания на возрастание биологической активности почв при внесении удобрений. При этом именно микробиологическая активность почв являет-

ся определяющим фактором для названных изменений. В частности, в работе Marinari et al. (2007) показано, что внесение в почву вермикомпоста приводит к усилению процесса гумификации. При этом поступающее вместе с удобрением свежее органическое вещество переходит в более стабильную форму, что отражается в снижении содержания водорастворимого органического углерода при повышении общего органического углерода в почве в варианте с использованием вермикомпоста по сравнению с обычным компостом. По-видимому, ведущую роль играют микроорганизмы, участвующие в гумификации еще на этапе получения вермикомпоста. Усиление процессов гумификации влечет за собой возрастание стабильности агрегатов и улучшение почвенной структуры, поскольку именно гумус играет ключевую роль в формировании водопрочных агрегатов (Вильямс, 1935; Качинский, 1958; Хан, 1969; Gonet et al., 2013). Стабильность микроагрегатов играет чрезвычайно важную роль в сохранении органического вещества почвы и именно этот эффект лежит в основе увеличения содержания органического вещества при использовании технологий с пониженным уровнем обработки почвы (Gupta, Germida, 2015).

Существует ряд указаний на то, какие механизмы лежат в основе влияния микроорганизмов на состояние почвенной структуры. Было показано, что внесение в почву органики приводит к образованию водопрочных агрегатов, причем скорость их образования зависит от доступности вносимых веществ для микроорганизмов (Clark et al., 2009). Установлено, что более легкодоступные органические вещества приводят к быстрому образованию агрегатов, но их эффект непродолжителен. В то же время более медленно разлагающаяся органика обладает пролонгированным эффектом на водопрочность почвенной структуры (Abiven et al, 2009). В работе Le Guillou с соавторами (2012) продемонстрировано, что при разложении свежего

органического вещества (растительных остатков), водопрочность структуры тесно связана с содержанием микробных экзополисахаридов. При этом внесение дополнительного минерального азота со временем снижало водопрочность агрегатов за счет использования полисахаридов микроорганизмами. Между тем полисахариды, как неоднократно указывалось в литературе, играют важную роль в формировании водопрочных свойств структуры. Так, коэффициент водопрочности в черноземе обыкновенном Ростовской области (Россия) тесно коррелировал весной с количеством воднорастворимого гумуса ($r = +0,898$) и углеводов ($r = +0,929$) (Безуглова, 2001), а для некоторых почв Британии между содержанием углеводов и устойчивостью агрегатов коэффициент корреляции колебался от 0,711 до 0,891 (Chaney, Swift, 1984). На наш взгляд, внесение гуминовых удобрений обеспечивает поступление в почву достаточно устойчивых к микробному разложению органических веществ, что приводит к более длительному влиянию на структуру почвы по сравнению с другими видами органических удобрений.

Одним из классических показателей состояния структуры является коэффициент структурности, рассчитываемый как отношение количества агрономически ценных агрегатов, к агрономически неценным. В ходе полевого эксперимента, проведенного на базе УОХ в поселке Недвиговка, получены данные коэффициентов структурности и водопрочности, представленные на рисунке 9.

Результаты сухого просеивания свидетельствуют, что применение лигногумата благоприятно сказывается на структурности почвы, особенно это заметно после трехкратного применения препарата, далее наблюдается небольшое плато (20.08.2011–15.04.2012) и спад, обусловленный прекращением использования препарата (15.04.2012–07.07.2012). В последствии влияние лигногумата на этот показатель снижается, и значения коэффициента

структурности стремятся к своему естественному уровню (контроль). Другим важнейшим показателем состояния структуры является коэффициент водоустойчивости (таблица 12).

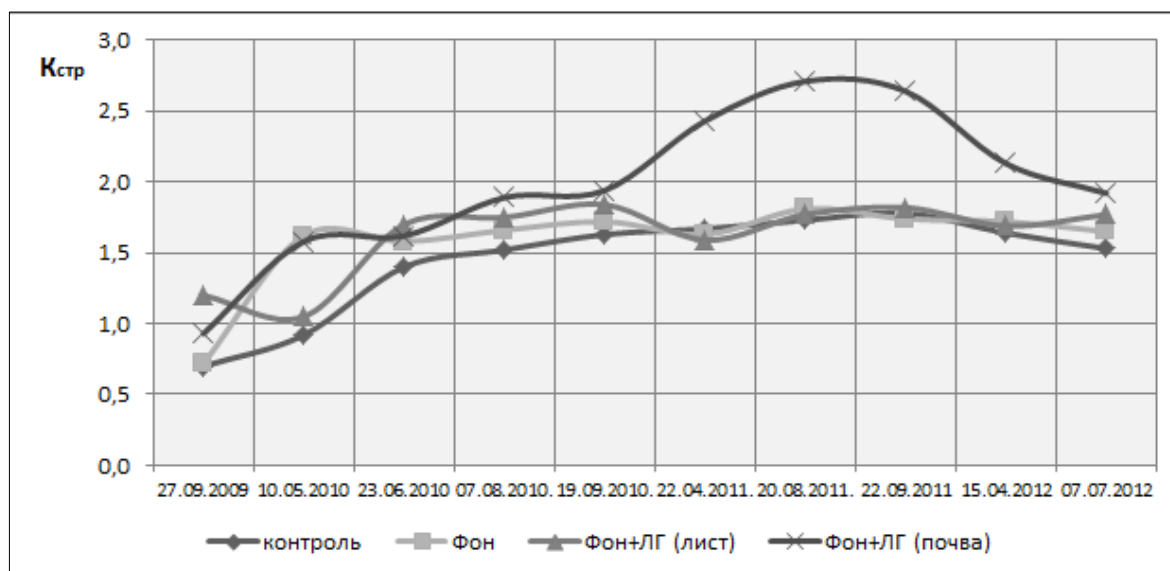


Рисунок 9 – Динамика коэффициентов структурности в черноземе обыкновенном карбонатном по вариантам опыта с гуминовым препаратом

Таблица 12 – Динамика содержания водопрочных агрегатов (по Саввинову) в черноземе обыкновенном карбонатном, %

Культура	Фаза развития растений	Дата отбора образца	Варианты				НСР _{0,05}
			контроль	Фон (ЖКУ)	Фон+ЛГ (лист)	Фон+ЛГ (почва)	
1	2	3	4	5	6	7	8
Озимая пшеница	всходы	27.09.09	63	54	57	64	
		Сравнение с фоном				+3	+7
	кущение	10.05.10	61	65	63	62	
		Сравнение с фоном				-2	-3
	колошение	23.06.10	52	50	49	60	
		Сравнение с фоном				-1	+10
уборка	07.08.10	51	53	60	64		
	Сравнение с фоном				+7	+11	3,9

Окончание таблицы 12

1	2	3	4	5	6	7	8
Озимая пшеница	всходы	19.09.10	51	47	56	59	
		Сравнение с фоном			+6	+12	6,3
	кущение	22.04.11	60	54	57	62	
		Сравнение с фоном			+3	+8	5,6
	уборка	20.08.11	58	56	57	59	
		Сравнение с фоном			+1	+3	1,8
-	-	22.09.11	56	52	54	58	
		Сравнение с фоном			+2	+6	2,5
Яровой ячмень	всходы	15.04.12	52	48	50	56	
		Сравнение с фоном			+2	+8	4,1
	уборка	07.07.12	50	51	52	55	
		Сравнение с фоном			+1	+4	2,7

В течение всего периода наблюдений коэффициенты водоустойчивости менялись как во временном аспекте (на одном варианте), так и пространственном – по вариантам опыта. Так, если проследить изменение этого показателя за время эксперимента на контроле, то можно заключить, что хотя он и меняется, но в целом величина его колеблется в пределах 1,52–1,90, и, вероятно, эти изменения отражают влияние погодных условий.

При сравнении вариантов между собой, можно отметить, что если в начале эксперимента на вариантах с лигногуматом коэффициенты водоустойчивости мало отличались от значений на фоновом варианте, то к концу второго года исследований (22.04.11 и 20.08.11 гг.) они стали выше, причем на варианте с внесением препарата в почву на статистически значимую величину. Отмеченная тенденция сохраняется и в последствии под яровым ячменем.

Определение коэффициента водоустойчивости по методу Андрианова, в котором проводится учет агрегатов, способных

противостоять разрушению в стоячей воде, показало, что в целом применение лигногумата благоприятно влияет и на этот показатель (таблица 13).

Таблица 13 – Динамика коэффициентов водопрочности (%) в черноземе обыкновенном карбонатном (метод Андрианова)

Культура, год	Фаза развития растений	Дата отбора образца	Вариант				НСР ₀₅
			конт- роль	фон	фон+ ЛГ (лист)	фон+ ЛГ (почва)	
Озимая пшеница	всходы	27.09.09	83	82	83	80	2,0
	кущение	10.05.10	85	83	85	83	1,8
	колошение	23.06.10	87	89	91	89	3,1
	уборка	07.08.10	90	88	89	91	0,4
Озимая пшеница	всходы	19.09.10	89	80	91	93	0,9
	кущение	22.04.11	88	85	93	95	4,0
	уборка	20.08.11	91	94	97	91	2,9
-	-	22.09.11	90	85	92	94	0,2
Яровой ячмень	всходы	15.04.12	87	82	85	92	0,2
	уборка	07.07.12	89	88	84	87	4,4

В отличие от мокрого просеивания по Саввинову, метод Андрианова позволяет оценивать прочность почвенных комков определенных размеров. В данном эксперименте определяли водостойчивость агрегатов размером 2–3 мм, характеризующихся наиболее высокой устойчивостью к разрушению в воде (Безуглова, 2001). Метод обычно показывает несколько более высокие результаты, по сравнению с методом Саввинова, так как стойкость агрегатов проверяется в статических условиях.

Наибольшие значения этого показателя обнаружены в вариантах с лигногуматом. Однако после прекращения внесения пре-

паратов коэффициент водоустойчивости стремится к своему исходному уровню. Данную закономерность можно объяснить опосредованным действием биологически активных веществ гуминовой природы, так как известно, что они оказывают стимулирующее воздействие на биологическую активность почвы, в том числе на почвенные микроорганизмы, что, в свою очередь, улучшает физические свойства почвы. Действительно, определение активности каталазы по вариантам опыта показало, что внесение ЖКУ способствует снижению активности каталазы на уровне тенденции (Безуглова и др., 2013), так как уменьшение активности каталазы наблюдалось на статистически незначимую величину.

Для уточнения результатов, в 2013–2015 гг. на стационаре Донского зонального института сельского хозяйства был проведен производственный эксперимент на площади в 48 га.

Динамика значений коэффициента структурности от весны к осени отрицательная во всех вариантах (таблица 14), и это естественный процесс, так как мелкозернистая структура характерна для пахотного слоя весной в период оптимальной насыщенности почвы влагой. Во всех почвенных зонах при иссушении почвенного слоя наблюдается ухудшение состояния структуры, усиливающееся под влиянием агротехнического воздействия (Качинский, 1965). Иными словами, при уменьшении влажности в верхнем пахотном горизонте, процессы диспергирования почвенных частиц начинают преобладать над процессом коагуляции.

При внесении ВЮ-Дона в почву коэффициент структурности по сравнению с фоном выше на статистически достоверную величину, что подтверждается критерием Стьюдента и величиной наименьшей существенной разницы.

Таблица 14 – Динамика величины коэффициента структурности в черноземе обыкновенном карбонатном по вариантам опыта с гуминовым препаратом ВЮ-Дон (n = 4; P = 0,95)

Вариант	Кущение			Выход в трубку			Уборка		
	М	Δ	Td	М	Δ	Td	М	Δ	Td
1. Фон	4,1	-	-	3,0	-		1,9	-	
2. Фон + предпосевное внесение в почву ВЮ-Дона	3,7	-0,4	2,11	3,2	+0,2	7,9	2,4	+0,5	3,9
3. Фон + 2-кратная обработка посевов ВЮ-Доном (в фазу кущения и выхода в трубку)	4,5	+0,4	0,12	3,8	+0,8	1,1	2,2	+0,3	7,7
4. Фон + предпосевное внесение в почву ВЮ-Дона + 2-кратная обработка посевов ВЮ-Доном (в фазу кущения и выхода в трубку)	5,0	+0,9	3,10	3,6	+0,6	13,2	2,8	+0,9	10,2
НСР ₀₅ Критерий Стьюдента		0,18	2,4		0,11	2,4		0,15	2,4

Примечание. Фон – припосевное внесение: диаммофоска – 10:26:26 – 30 кг/га; весенняя подкормка – аммиачная селитра 100 кг/га; Δ – разница с фоном.

Действие препарата ВЮ-Дон на такой параметр, как водоустойчивость агрегатов в стоячей воде, также очевидно: в вариантах 3 и 4 с предпосевным внесением в почву ВЮ-Дона структурное состояние почвы оценивается как отличное, несмотря на отрицательную динамику, связанную с сезонными изменениями процессов в почве (таблица 15).

Таблица 15 – Динамика величины коэффициента водоустойчивости в черноземе обыкновенном карбонатном по вариантам опыта с гуминовым препаратом ВЮ-Дон (n = 4; P = 0,95)

Вариант, п/п №	Коэффициент водоустойчивости (содержание водопрочных агрегатов), %								
	фаза кущения			фаза выхода в трубку			фаза созревания		
	М	Δ	td	М	Δ	td	М	Δ	td
1	77,0	-		74,3	-	-	57,0	-	-
2	86,3	+9,3	6,3	71,3	-3,0	0,5	63,0	+6,0	4
3	69,7	-7,3	6,9	61,0	-13,3	1,7	47,3	-9,7	6,5
4	86,7	+9,7	7,3	84,0	+9,7	2,3	62,0	+5,0	3,3
НСР ₀₅ Tst		14,1	2,4		10,3	2,4		9,9	2,4

В производственных условиях исследования проводились в трёх районах Ростовской области: Цимлянском, Верхнедонском и Песчанокопском на разных в генетическом отношении почвах. Данные сухого просеивания представлены на рисунках 10, 11.

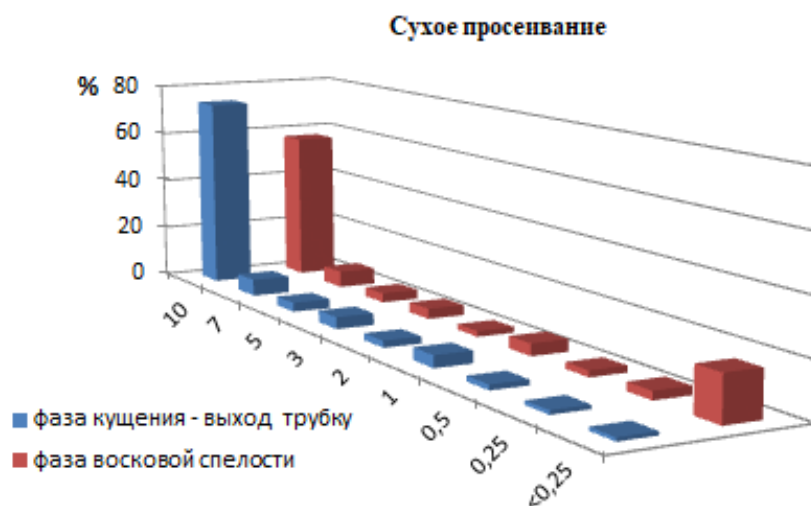


Рисунок 10 – Динамика распределения почвенных агрегатов (%) под озимой пшеницей в тёмно-каштановой почве при внесении препарата ВЮ-Дон

Полевой производственный опыт был заложен на территории фермерского хозяйства ЗАО имени Ленина (Цимлянский район), на тёмно-каштановых почвах. Культуры: озимая пшеница и кукуруза. Известно, что тёмно-каштановые почвы по сравнению с чернозёмами обладают меньшим содержанием гумуса, количество которого в верхнем горизонте колеблется в пределах 3–4 %. Более легкие по гранулометрическому составу разновидности темно-каштановых почв могут содержать гумуса менее 3 %. Структурное состояние каштановых почв в большей степени, чем в черноземах, подвержено деградации, в частности, в пахотных почвах наблюдается слитизация почвенных отдельностей в глыбы и диспергация в пылеватые фракции (Келлерман, 1959). Эту особенность и подтверждает рисунок 11.

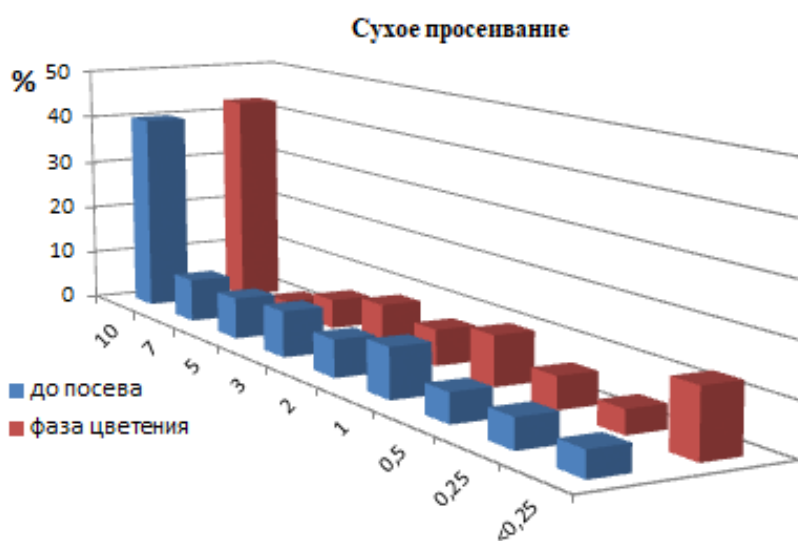


Рисунок 11 – Динамика распределения почвенных агрегатов (%) под кукурузой в тёмно-каштановой почве при внесении препарата ВЮ-Дон

Необходимо отметить, что применение препарата ВЮ-Дон вызывает положительную тенденцию в структурообразовательной динамике: наблюдается снижение доли глыбистой фракции и

увеличение суммарного количества агрономически ценных агрегатов (таблица 16).

Таблица 16 – Результаты сухого просеивания (%) по методу Саввинова, ЗАО им. Ленина (Цимлянский район), тёмно-каштановая почва

Вариант	Диаметр агрегатов, мм								
	>10	7	5	3	2	1	0,5	0,25	<0,25
Отбор образцов 7 апреля 2014 г. Озимая пшеница									
1.1	77,6	4,6	3,1	3,8	2,6	4,6	1,5	1,4	0,8
1.2	73,6	6,2	3,0	5,3	2,6	4,6	2,2	1,6	1,0
1.3	74,9	7,0	3,4	4,3	2,1	3,9	1,9	1,1	1,4
1.4	72,1	7,0	4,3	4,9	2,5	4,6	1,8	1,5	1,3
1.5	70,4	7,4	3,6	4,0	3,1	5,2	2,5	2,1	1,8
M±m	73,7±1,2	6,4±0,2	3,5±0,2	4,5±0,3	2,6±0,2	4,6±0,2	2,0±0,2	1,5±0,2	1,3±0,2
Отбор образцов 11 июня 2014 г. Озимая пшеница									
2.1	58,1	5,2	3,6	4,2	2,3	4,9	2,2	3,0	16,5
2.2	57,6	5,3	3,4	4,1	2,1	4,9	2,4	3,5	16,7
2.3	59,1	6,4	3,0	3,6	2,0	4,1	2,1	3,3	16,4
2.4	56,4	6,9	4,0	3,6	1,9	4,2	2,8	3,3	16,9
2.5	54,5	7,7	3,9	3,9	2,2	4,8	2,7	2,8	17,5
M±m	57,1±0,8	6,3±0,4	3,6±0,2	3,9±0,2	2,1±0,1	4,6±0,2	2,4±0,1	3,2±0,1	16,8±0,2
Отбор образцов 7 апреля 2014 г. Кукуруза									
1.1	40,7	8,5	7,9	9,1	7,4	9,9	5,8	5,6	5,1
1.2	39,9	8,7	7,8	9,3	7,5	10,0	5,9	5,8	5,2
1.3	39,9	8,6	8,3	9,4	7,6	10,0	5,5	5,6	5,0
1.4	39,6	8,4	8,2	9,3	7,4	9,9	6,0	6,4	4,8
1.5	40,5	8,7	8,5	8,7	7,1	9,7	5,9	5,8	5,0
M±m	40,1±0,2	8,6±0,1	8,1±0,1	9,2±0,1	7,4±0,01	9,9±0,1	5,8±0,1	5,8±0,2	5,0±0,1
Отбор образцов 11 июня 2014 г. Кукуруза									
2.1	43,3	2,5	5,9	8,4	7,3	10,2	5,5	4,4	12,4
2.2	43,1	2,2	5,7	8,5	6,9	9,9	6,4	4,6	12,8
2.3	43,3	2,3	6,1	8,0	6,9	9,7	6,2	4,3	13,1
2.4	42,9	1,9	5,7	8,5	7,2	9,7	6,6	5,4	12,0
2.5	41,4	1,7	5,9	8,5	7,3	9,7	6,7	4,5	14,4
M±m	42,8±0,4	2,1±0,1	5,9±0,1	8,4±0,1	7,1±0,1	9,8±0,1	6,3±0,2	4,6±0,2	12,9±0,4

Под пропашной культурой структурное состояние было более сбалансированным, процент агрономически ценных фракций оказался выше (рисунок 11). За период между отборами произошло некоторое изменение за счет сокращения количества агрономически ценных агрегатов и увеличения вклада глыбистой и пылеватой фракций. Эти изменения в состоянии структуры, как и на участке поля с озимой пшеницей, являются следствием сочетания особенностей темно-каштановых почв, реакции на обработку почвы и погодных условий.

Для оценки качества структуры применяли расчет коэффициента структурности, как отношение количества агрономически ценных агрегатов к агрономически не ценным (рисунок 12).

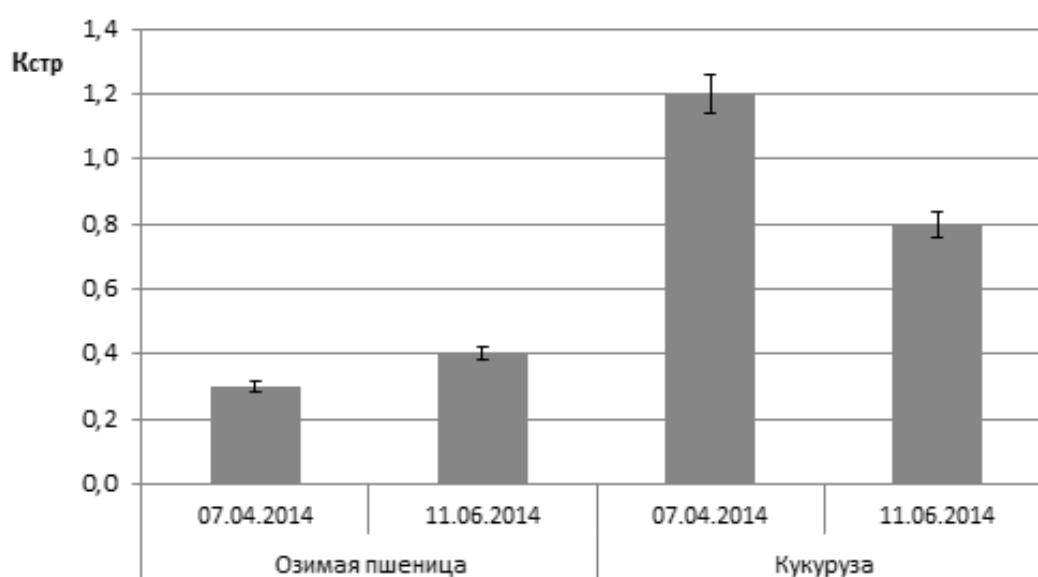


Рисунок 12 – Динамика коэффициента структурности в темно-каштановой почве под озимой пшеницей и кукурузой при внесении препарата ВЮ-Дон

Результаты расчета коэффициента структурности показали, что структурное состояние почвы поля с озимой пшеницей до внесения гумата характеризовалось как неудовлетворительное, ко второму

отбору коэффициент структурности увеличился, однако, качественных изменений не произошло, структурное состояние почвы осталось неудовлетворительным. На поле с кукурузой структурное состояние как до, так и после внесения гумата, характеризуется как хорошее, несмотря на некоторое численное снижение показателя. Как правило, вначале вегетационного периода растений структурное состояние почвы находится на высоком уровне, к концу лета в результате обработок почвы, проходов почвообрабатывающей техники, пересыхания почвы, ее структурное состояние ухудшается. В данном случае, применение гумата позволило снизить уровень потерь, а в ряде случаев даже повысить показатели содержания агрономически ценных агрегатов за счет формирования органоминеральных комплексов путем образования катионных мостиков между отрицательно заряженными функциональными группами органических веществ и отрицательно заряженными частицами минералов (Хасанова, 2016).

Результаты определения водопрочности агрегатов представлены на рисунках 13 и 14.

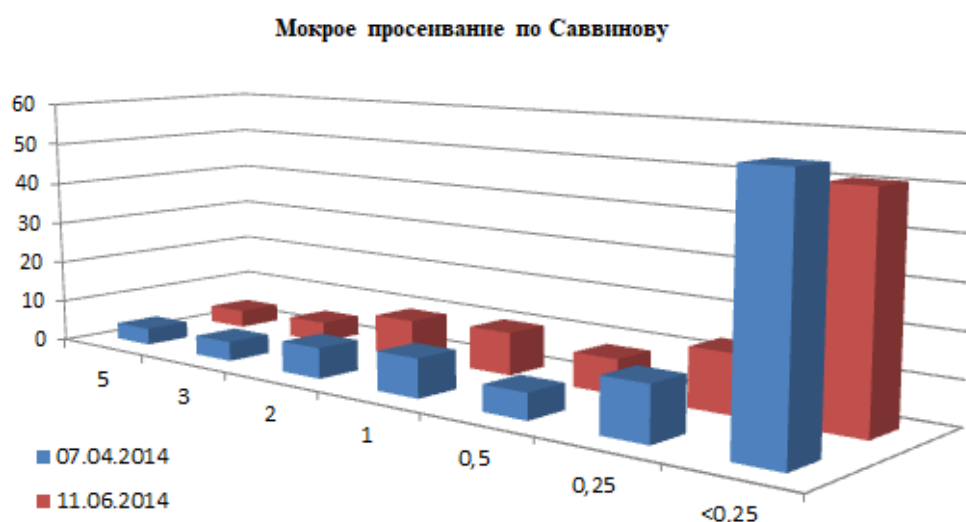


Рисунок 13 – Содержание водопрочных фракций (%) в темно-каштановой почве под озимой пшеницей при внесении препарата ВЮ-Дон

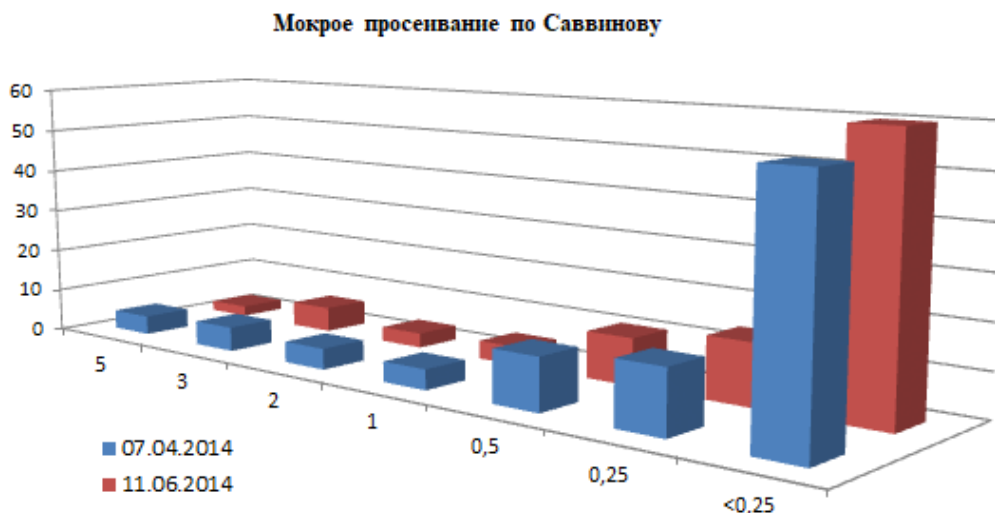


Рисунок 14 – Усредненное значение процентного содержания водопрочных фракций в темно-каштановой почве под кукурузой при внесении препарата ВЮ-Дон

По содержанию водопрочных агрегатов состояние почвы на всех полях характеризуется как хорошее, наблюдающаяся динамика этого показателя оставляет оценку почвы в пределах данной категории.

Тем не менее, на рисунке 15 отчетливо видно, что водопрочность агрегатов во втором отборе выше, чем она была весной. По отдельным фракциям эта тенденция прослеживается и под кукурузой (рисунок 14). Но в целом, под пропашной культурой наблюдалось уменьшение водопрочных агрегатов к середине лета (рисунок 15).

Вследствие того, что гумусовые вещества играют важную роль в формировании структуры, выступая в качестве коагулятора (клеящего агента), было определено содержание гумуса. Гумус склеивает почвенные частицы в агрегаты, способствуя созданию агрономически ценной структуры и благоприятных для жизни растений физических свойств почвы. В гумусе содержатся основные элементы питания растений (N, P, K, S, Ca, Mg) и различные микроэлементы (Когут и др., 2012). Эти элементы в процессе постепенной минерализации гумусовых веществ становятся

доступными для растений, что подтверждается дальнейшими экспериментами. Результаты полевого опыта, который был проведен на территории фермерского хозяйства в Верхнедонском районе Ростовской области ЗАО «Шумилинское» на черноземе южном, представлены в таблице 17.

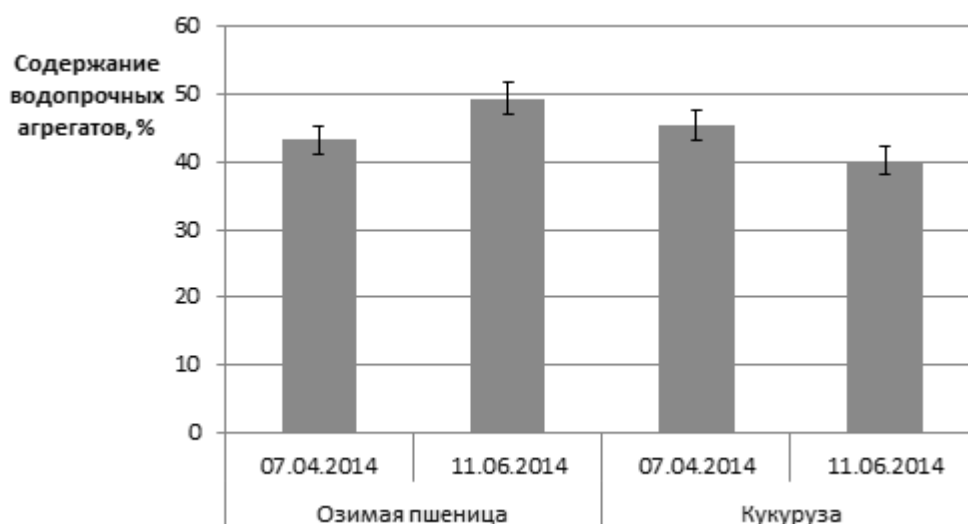


Рисунок 15 – Динамика содержания суммы водорасщепляемых агрегатов в почве под озимой пшеницей и кукурузой при внесении препарата ВЮ-Дон

Таблица 17 – Агрегатный состав чернозема южного под озимой пшеницей и подсолнечником (результаты сухого просеивания по методу Саввинова)

Размер фракций, мм, % (M±m)								
>10	7	5	3	2	1	0,5	0,25	<0,25
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Озимая пшеница, отбор образцов 7.04.2014								
34,8±0,6	12,3±0,3	9,8±0,4	14,9±0,3	11,9±0,2	11,7±0,4	0,6±0,2	2,6±0,4	1,4±0,2
Озимая пшеница, отбор образцов 1.07.2014								
40,5±0,6	6,6±0,3	4,7±0,6	4,6±0,6	5,2±0,4	4,2±0,4	4,3±0,3	5,4±0,2	24,5±1,0
Подсолнечник, отбор образцов 7.04.2014								
16,7±1,3	6,7±0,6	6,7±0,4	6,5±0,5	10,4±4,9	16,9±2,9	8,1±0,8	19,6±0,5	8,4±0,6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Подсолнечник, отбор образцов 1.07.2014								
13,8±1,3	6,5±0,7	6,5±0,5	7,4±0,8	7,5±1,3	15,8±2,2	8,2±0,4	19,9±0,6	14,6±1
Достоверность разницы между результатами первого и второго отбора (Озимая пшеница)								
7,60	10,4	6,24	19,5	12,9	2,8	12,3	8,21	24,5
Достоверность разницы между результатами первого и второго отбора (Подсолнечник)								
2,03	0,34	0,94	0,99	0,6	0,9	0,12	0,4	7,2

Они свидетельствуют, что под пшеницей весной при первом отборе образцов (до обработки посевов гуминовым препаратом) преобладали крупные агрегаты, в том числе размером более 10 мм (глыбистые), которые не являются агрономически ценными агрегатами. К моменту второго отбора, мы наблюдаем еще большее количество глыбистых отдельностей, а также уменьшение доли агрономически ценных фракций диаметром 7–1 мм, в то же время отмечено структурообразование агрегатов от 0,5 до 0,25, и возрастает число пылеватых (менее 0,25) микроагрегатов. Причем эти различия в содержании структурных отдельностей статистически достоверны, так как величина коэффициента Стьюдента по всем фракциям превышает стандартное значение (для $n=10$ $t_{st}=2,23$, при $P=0,95$).

Под подсолнечником картина совершенно иная. К моменту второго отбора происходит достоверное увеличение доли пылевой фракции за счет некоторого уменьшения количества глыбистых агрегатов. По всем остальным фракциям различия статистически недостоверны. Таким образом, можно сделать вывод, что использование гуминового препарата в данном эксперименте не повлияло на соотношение структурных агрегатов в почве.

Данные определения водопрочных агрегатов представлены на рисунках 16 и 17.

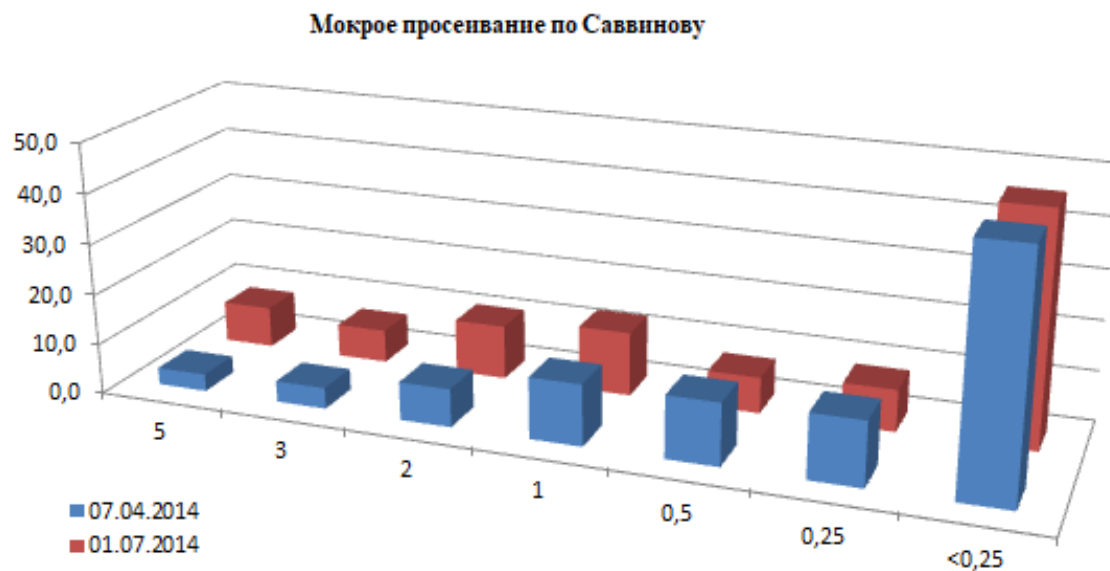


Рисунок 16 – Динамика содержания водопрочных фракций в черноземе южном под озимой пшеницей

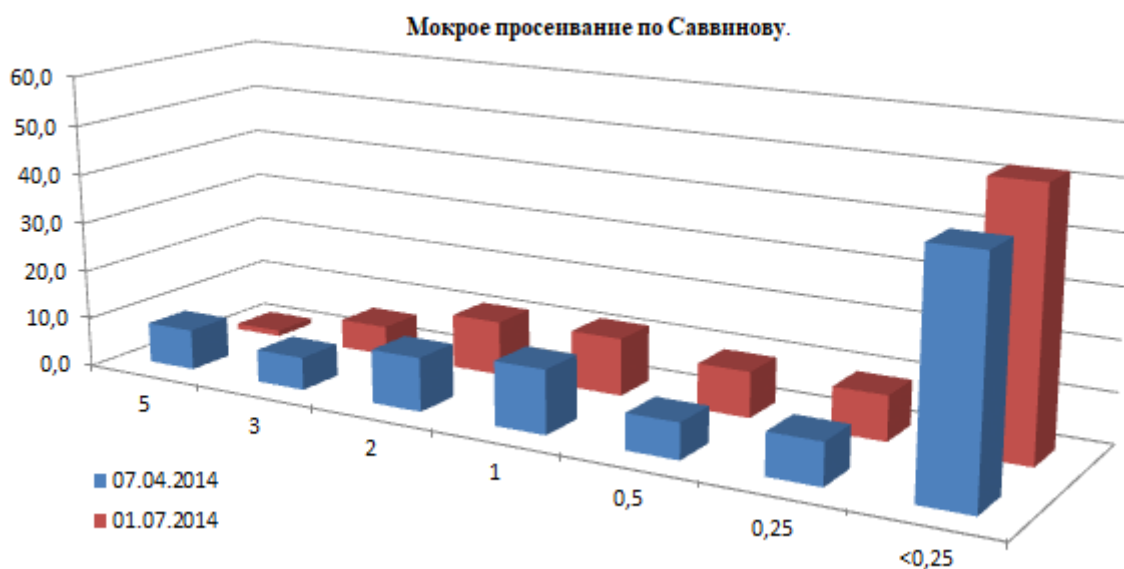


Рисунок 17 – Динамика содержания водопрочных фракций в черноземе южном под подсолнечником

Черноземы южные, по сравнению с другими подтипами черноземов, отличаются пониженным содержанием водопрочных агрегатов, что обусловлено их повышенной карбонатностью с поверхности (Вильямс, 1952). При распашке и длительном сельскохозяйственном использовании количество водопрочных агрегатов в пахотном горизонте еще снижается (Антипов-Каратаев, 1939, 1948, 1966).

В нашем эксперименте данная закономерность не подтвердилась, так как существенной разницы в результатах за период между отборами не наблюдалось. Тем не менее, водопрочность агрономически ценных фракций как на участке с озимой пшеницей (5–1 мм), так и на участке с подсолнечником (2–0,5 мм) возрастает. В целом можно отметить, что по содержанию водопрочных агрегатов состояние почвы в оба срока отбора и под озимой пшеницей, и под подсолнечником характеризуется как хорошее, иными словами, несмотря на численный рост показателя, качественных изменений не наблюдается.

Важным показателем качества структуры являются коэффициенты структурности и водопрочности, рассчитываемые как отношение количества агрономически ценных агрегатов к агрономически неценным, и водопрочных агрегатов к неводопрочным, соответственно.

Структурное состояние чернозема южного под озимой пшеницей до внесения гуматов характеризовалось как отличное (рисунок 18), однако, ко второму отбору коэффициент структурности снизился до оценки «неудовлетворительно».

На поле с подсолнечником динамика противоположная, что, вероятно, обусловлено особенностями корневых систем растений (рисунок 19).

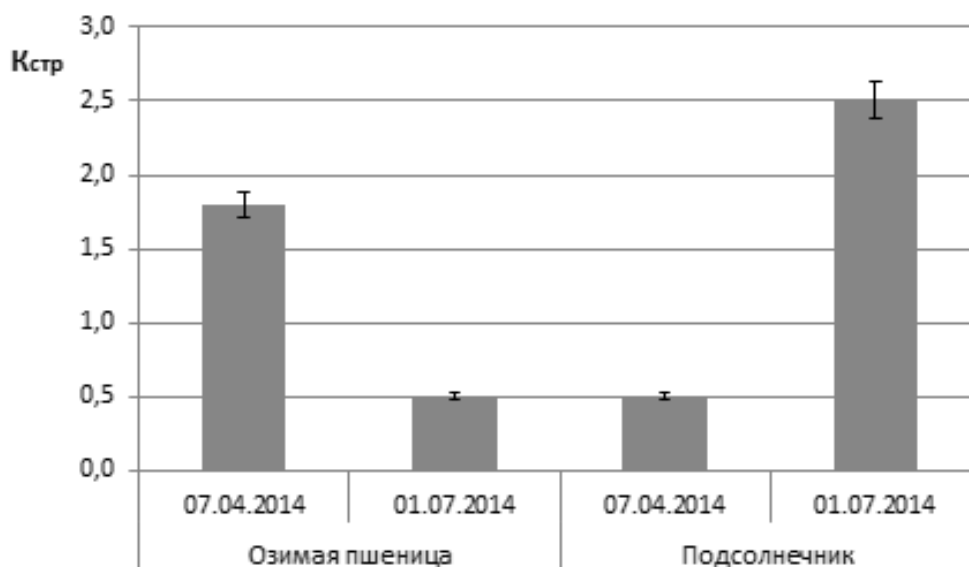


Рисунок 18 – Динамика коэффициента структурности в черноземе южном под озимой пшеницей и подсолнечником

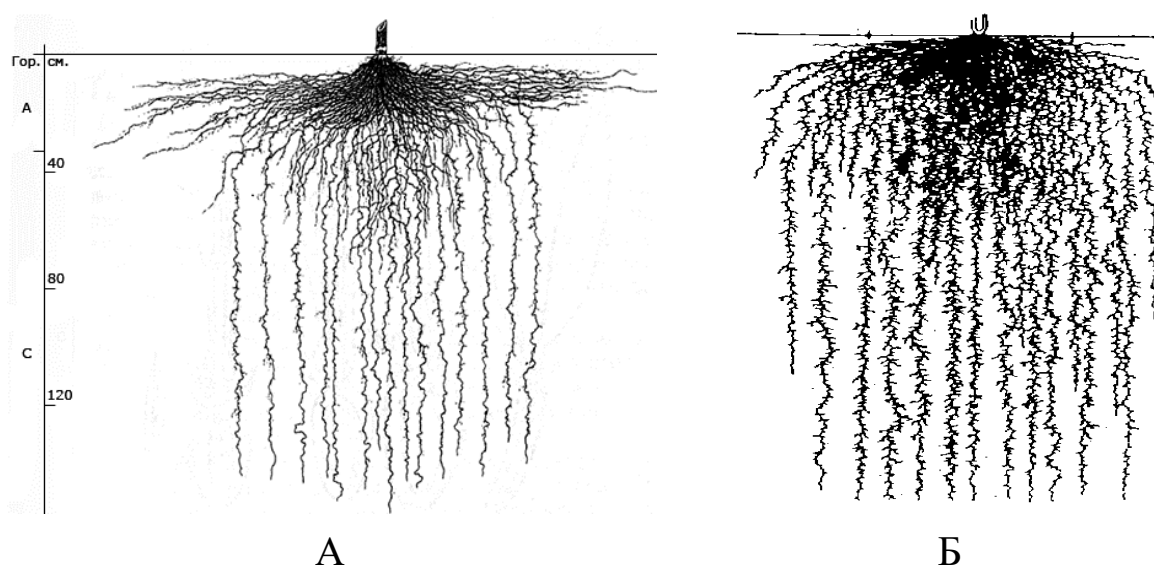


Рисунок 19 – Корневая система озимой пшеницы (А) и подсолнечника (Б)

Динамика по коэффициенту водопрочности противоположная, причем как под озимой пшеницей, так и под подсолнечником: общее количество водопрочных агрегатов к середине лета под пшеницей увеличивается, а под подсолнечником резко снижается

(рисунок 20). И эти данные хорошо согласуются с результатами определения численности микроорганизмов.

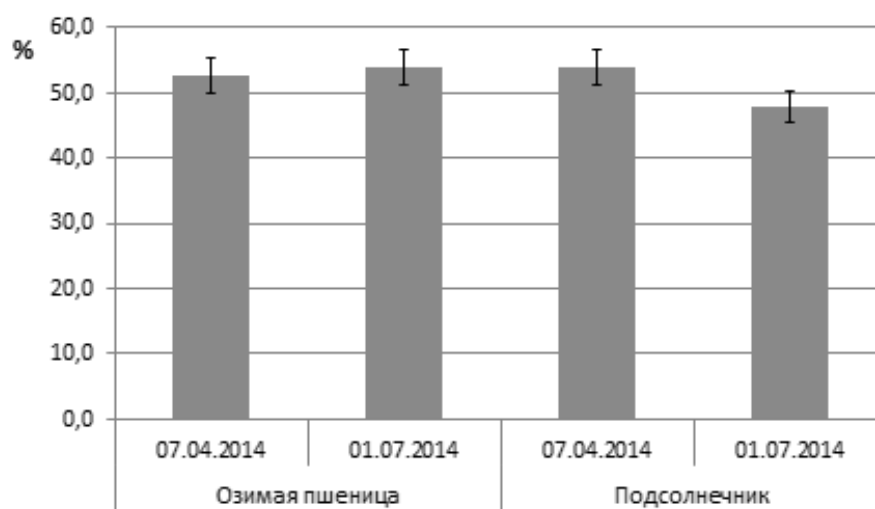


Рисунок 20 – Содержание водорочных агрегатов в черноземе южном под озимой пшеницей и подсолнечником

Как видно из таблицы 18, наибольшей биологической активностью обладают почвы под пшеницей: численность микроорганизмов практически всех исследуемых групп значительно выше, чем под подсолнечником.

Таблица 18 – Микробиологический анализ почвы на опытных полях ЗАО «Шумилинское»

Группа микроорганизмов	Численность, КОЕ/г абсолютно сухой почвы	
	Озимая пшеница	Подсолнечник
1	2	3
Бактерии, использующие орг. азот	$2,72 \pm 0,19 * 10^7$	$1,14 \pm 0,012 * 10^7$
Бактерии, использующие мин. азот	$3,94 \pm 0,31 * 10^7$	$1,61 \pm 0,43 * 10^7$
Олигонитрофилы	$5,12 \pm 0,29 * 10^7$	$1,33 \pm 0,19 * 10^7$
Педотрофы (бактерии на почвенном агаре)	$4,44 \pm 0,21 * 10^7$	$1,20 \pm 0,15 * 10^7$

1	2	3
Актиномицеты:		
на КАА	$9,86 \pm 1,49 * 10^6$	$1,93 \pm 0,12 * 10^6$
на Эшби	$12,2 \pm 0,70 * 10^6$	$4,09 \pm 1,34 * 10^6$
на ПА	$11,8 \pm 2,41 * 10^6$	$2,45 \pm 1,61 * 10^6$
Грибы	$6,01 \pm 1,06 * 10^4$	$3,35 \pm 0,77 * 10^4$
Грибы, разлагающие целлюлозу	$2,23 \pm 0,48 * 10^4$	$1,26 \pm 0,13 * 10^4$
Актиномицеты, разлагающие целлюлозу	$1,85 \pm 0,14 * 10^5$	$1,27 \pm 0,35 * 10^5$

Различия с почвой под подсолнечником оказались четко выраженными (в 1,4–5,1 раз). Здесь численность целлюлозоразлагающих актиномицетов оказалась наименее отличающейся от таковой в почве под пшеницей, но все же была в 1,45 раза выше. Интересно, что численность другой группы, отвечающей за разложение целлюлозы, а именно целлюлозоразрушающих грибов, не демонстрировала аналогичной с актиномицетами динамики, и изменялась так же, как и все прочие исследуемые группы микроорганизмов.

По-видимому, это связано с более узкой специализацией этой части комплекса почвенных актиномицетов на разложении целлюлозы. Отметим, что целлюлозоразрушающие грибы составляли до 38 % от общей численности почвенных микромицетов, в то время как целлюлозоразрушающие актиномицеты – не более 4 % от общей численности актиномицетов, то есть последние являются гораздо более специализированной группой в составе почвенного микробоценоза.

Относительно определения численности актиномицетов в почве, отметим, что по сравнению с традиционно используемым для их учета крахмало-аммиачным агаром, гораздо большее их число удавалось учесть на средах, бедных по азоту (среда Эшби) или углероду (почвенный агар). Это связано с тем, что почва как среда обита-

ния характеризуется недостаточностью элементов питания для микроорганизмов, и потому бедные среды оказываются ближе к естественным для данной группы микроорганизмов условиям.

Дополнительный полевой эксперимент, был проведен на территории Песчанокопского района на черноземе обыкновенном карбонатном (предкавказском). Для определения почвенной структуры, как и в предыдущих исследованиях, применяли «сухое» и «мокрое» просеивание по методу Н.И. Саввинова (таблицы 19, 20). Как видно из этих данных, содержание агрономически ценных фракций, за время между 2 отборами уменьшилось за счет увеличения доли фракций более 10 мм и менее 0,25 мм.

**Таблица 19 – Динамика структурного состояния
(по результатам сухого просеивания по методу Саввинова)
в чернозёме обыкновенном карбонатном, %**

Вариант	Диаметр агрегатов, мм								
	>10	7	5	3	2	1	0,5	0,25	<0,25
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Отбор образцов 20.05.2014									
Контроль (без обработки)	13,6	4,1	5,5	11,6	12,3	31,7	10,2	8,4	2,5
Поле №24 (свёкла)	15,4	3,6	4,8	11,8	12,3	27,3	11,2	10,0	3,7
Поле № 22 (свёкла)	16,1	4,1	5,9	10,3	5,5	30,5	12,5	11,0	4,1
Поле № 28 (свёкла)	13,7	3,7	5,0	10,8	4,6	30,8	12,0	13,3	6,2
Поле № 27 (свёкла)	11,7	2,9	4,1	10,3	11,9	33,1	12,8	11,3	1,9
Поле № 17 (свёкла)	12,3	2,3	2,1	9,1	12,5	29,7	13,3	12,6	6,1
Контроль (без обработки)	25,2	4,6	4,6	6,6	5,9	20,3	14,5	13,9	4,4
Поле №26 (подсолнечник)	12,1	3,1	4,2	10,7	11,2	33,1	12,8	11,3	1,6
Поле №27 (подсолнечник)	15,6	3,8	4,4	7,1	9,4	26,7	14,9	13,5	4,6

Окончание таблицы 19

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Поле №28 (П) (подсолнечник)	15,9	3,4	4,3	7,7	9,4	28,4	14,4	12,6	3,9
Отбор образцов 27.06.2014									
Контроль (без обработки)	23,7	3,0	4,0	8,0	7,4	23,7	8,8	8,2	13,2
Поле №24 (свёкла)	28,3	2,6	3,7	8,1	10,1	19,7	6,8	8,4	12,3
Поле № 22 (свёкла)	30,4	2,6	4,7	7,7	4,7	20,0	6,9	8,8	14,1
Поле № 28 (свёкла)	28,0	2,6	3,5	10,0	3,2	20,1	6,4	9,4	16,9
Поле № 17 (свёкла)	27,7	2,5	1,7	8,3	10,6	19,3	6,9	7,8	15,2
Контроль (без обработки)	24,5	4,8	3,8	7,3	6,0	18,0	9,1	9,4	17,1
Поле №26 (подсолнечник)	25,5	2,5	2,9	9,2	7,4	19,8	7,5	8,5	16,6
Поле №27 (П) (подсолнечник)	26,2	2,6	3,1	6,2	8,2	19,2	7,6	10,1	16,7
Поле №28 (П) (подсолнечник)	25,7	2,0	2,7	6,0	8,6	19,2	6,7	10,5	18,7

Таблица 20 – Результаты определения водопрочности почвенных агрегатов по методу Саввинова в чернозёме обыкновенном карбонатном, %

Вариант	Диаметр агрегатов, мм						
	5	3	2	1	0,5	0,25	0,25<
1	2	3	4	5	6	7	8
Отбор образцов 20.05.2014							
Контроль (без обработки)	2,3	5,0	6,3	4,0	23,7	28,0	30,7
Поле №24 (свёкла)	4,0	4,0	4,7	3,7	29,3	21,0	33,3
Поле № 22 (свёкла)	4,7	5,3	5,0	8,3	12,7	18,7	45,3
Поле № 28 (свёкла)	3,7	5,0	6,0	4,7	7,7	34,0	39,0
Поле № 27 (свёкла)	4,0	6,0	7,3	6,3	24,3	24,0	28,0
Поле № 17 (свёкла)	5,0	4,3	4,7	3,7	7,3	43,3	31,7
Контроль (без обработки)	6,7	4,3	4,0	7,0	21,7	20,0	36,3

Окончание таблицы 20

1	2	3	4	5	6	7	8
Поле №26 (подсолнечник)	4,7	3,7	2,7	3,3	23,7	34,3	27,7
Поле №27 (подсолнечник)	3,3	4,3	4,3	4,3	16,3	36,7	30,7
Поле №28 (П) (подсолнечник)	5,7	5,0	6,7	5,0	21,3	24,3	32,0
Отбор образцов 27.06.2014							
Контроль (без обработки)	1,0	2,7	3,3	2,0	5,3	16,7	45,3
Поле №24 (свёкла)	1,7	2,3	3,0	1,7	5,7	11,0	43,0
Поле № 22 (свёкла)	1,7	2,0	3,0	4,3	7,7	8,0	49,0
Поле № 28 (свёкла)	1,7	2,0	3,0	3,0	2,7	14	44,0
Поле № 27 (свёкла)	1,7	2,7	3,0	3,3	14	10,7	36,0
Поле № 17 (свёкла)	2,7	2,3	2,7	1,7	3,7	17,7	40,0
Контроль (без обработки)	3,0	2,3	1,7	7,0	10,7	9,7	42,7
Поле №26 (подсолнечник)	2,3	2,7	1,3	3,3	10,7	16,0	39,0
Поле №27 (П) (подсолнечник)	1,7	2,7	2,3	4,3	6,7	17,7	39,7
Поле №28 (П) (подсолнечник)	2,0	3,0	4,0	4,0	10,3	11,3	36,0

За период между двумя отборами образцов, устойчивость к влаге агрономически ценных частиц, снизилась в 2–3 раза. Водопрочность структуры (по сумме водопрочных агрегатов с диаметром $>0,25$ мм) оценивалась по шкале Долгова-Бахтина как хорошая. За период между двумя отборами водопрочность уменьшилась в абсолютном количественном выражении вследствие причин, изложенных выше. Однако сама характеристика не изменилась.

Результаты, представленные в таблице 21, показывают, что существует тенденция к улучшению этой качественной характеристики.

При обработке гуминовым препаратом растений свеклы снижение количества водопрочных агрегатов на контроле составило 14,5 %, а на варианте с препаратом только 7,1 %.

**Таблица 21 – Изменение водопрочности структуры
чернозема обыкновенного карбонатного
под пропашными культурами**

Отбор, дата	Вариант	Размер агрегатов в мм, содержание в % от массы воздушно-сухой почвы							7–0,25	
		5-7	3-5	2-3	1-2	0,5-1	0,25- 0,5	0,25 <	Σ	Δ
		Свекла								
20.05	Кон- троль	2,3	5	6,3	4	23,7	28	30,7	69,3	
27.06		1	2,7	3,3	2	19,1	26,7	45,2	54,8	-14,5
20.05	Обра- ботка ВЮ-Дон	4,3 ±0,3	4,9 ±0,4	5,5 ±0,4	5,3 ±0,8	16,3 ±5,1	28,2 ±5,04	35,5 ±3,3	64,5	
27.06		1,9 ±0,2	2,6 ±0,2	2,9 ±0,1	2,9 ±0,4	22,6 ±2,1	24,6 ±0,6	42,6 ±2,4	57,4	-7,1
		Подсолнечник								
20.05	Кон- троль	4,3	7,7	6,7	6,0	10,3	33,3	31,7	68,3	
27.06		1,7	3,7	3,7	2	25,7	23,2	40	60	-8,3
20.05	Обра- ботка ВЮ-Дон	5,1 ±1,0	4,3 ±0,9	4,4 ±1,0	4,9 ±0,8	20,8 ±2,0	28,8 ±4,7	31,7 ±1,9	68,3	
27.06		2,3 ±0,3	2,7 ±0,2	2,3 ±0,7	4,7 ±0,9	19,7 ±1,7	28,9 ±0,7	39,4 ±1,6	60,6	-7,7

Таким образом, на основе полученных данных, можно судить о положительном тренде в отношении влияния гуминового препарата на структуру и водопрочность возделываемой почвы, как в черноземах, так и в темно-каштановой почве.

3.2 Оценка влияния гуминовых препаратов на распределение фракций агрономически ценных агрегатов чернозёма обыкновенного карбонатного в различные сезоны годового цикла

Для определения наиболее информативного показателя оценки водопрочности был произведен расчет данного показателя различными методами. Оценка водопрочности агрегатов по критерию АФИ производится в соответствии со шкалой: критерий АФИ больше 800 – водопрочность отличная; 500–800 – очень хорошая; 100–500 – хорошая; 50–100 – удовлетворительная; меньше 50 – неудовлетворительная. Оценка водопрочности по результатам мокрого просеивания по Саввинову, предложенная И.В. Кузнецовой, проводится по суммарному количеству агрегатов диаметром более 0.25 мм (%): меньше 10 – водоустойчивость отсутствует; 10–20 – неудовлетворительная; 20–30 – недостаточно удовлетворительная; 30–40 – удовлетворительная; 40–60 – хорошая; 60–75 – отличная; больше 75 – избыточно высокая (Теории и методы..., 2007).

Результаты представлены в таблице 22.

Таблица 22 – Оценка различными методами водопрочности структуры чернозема обыкновенного карбонатного по вариантам опыта с лигногуматом (отбор 22.09.2011 г.)

Вариант	АФИ		По Саввинову-Кузнецовой		По Андрианову	
	%	Оценка	%	Оценка	%	Оценка
1	2	3	4	5	6	7
Контроль	82,87	Удовлетворительно	56	Хорошо	90	Избыточно высоко
Фон+ЖКУ	85,69	Удовлетворительно	52	Хорошо	85	Избыточно высоко

1	2	3	4	5	6	7
Фон+ЛГ (лист)	210,36	Хорошо	54	Хорошо	92	Избыточновысоко
Фон+ЛГ (почва)	232,23	Хорошо	58	Хорошо	94	Избыточно высоко

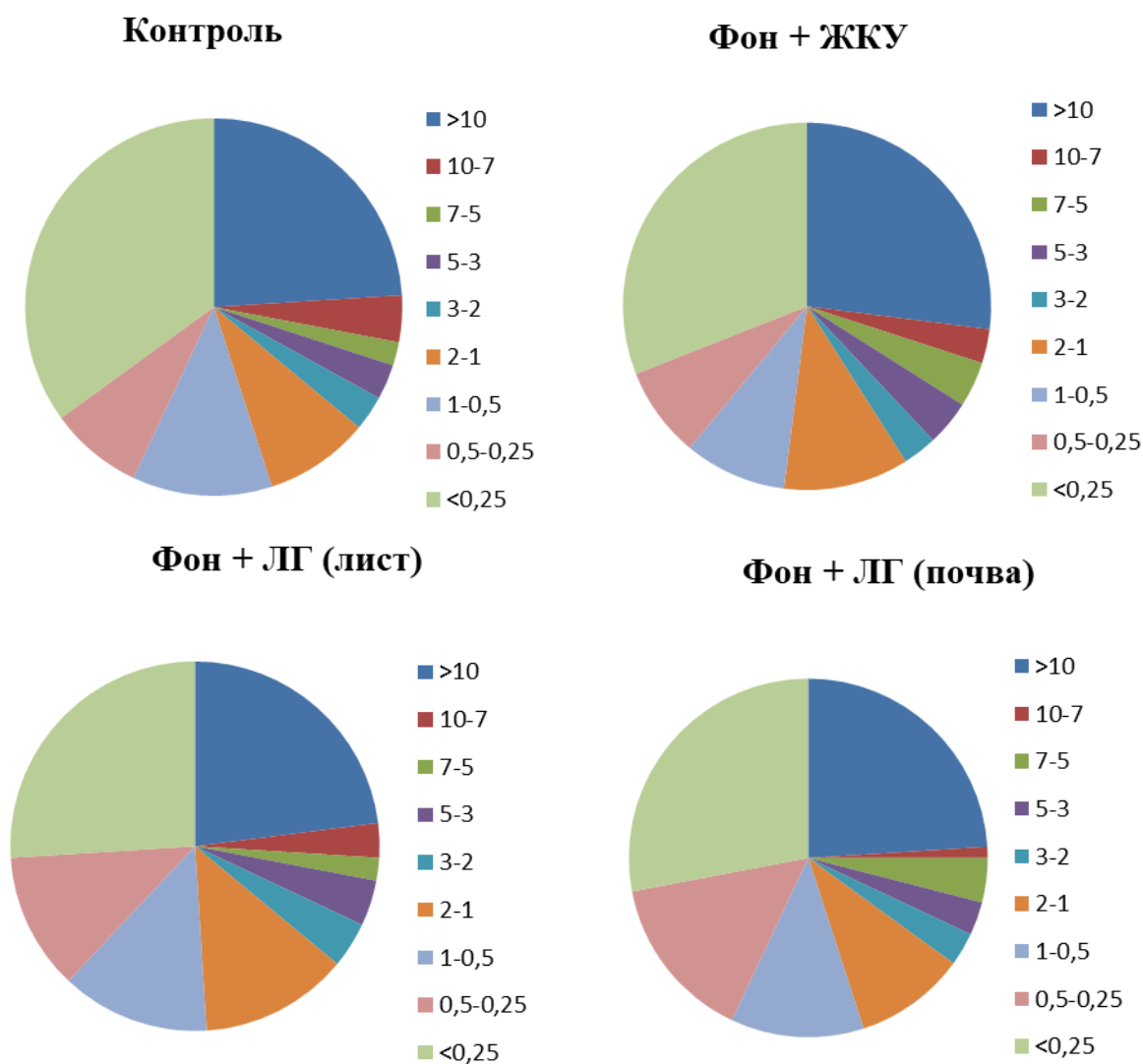
Согласно данным, приведенным в таблице 22, наиболее чувствительным критерием оказался коэффициент АФИ, который вычисляют как отношение суммы агрегатов размером 1–0,25 мм, учтенных при мокром и сухом просеиваниях. Результаты анализа водопрочности по методу Андрианова дают завышенную оценку, что обусловлено особенностями методики выполнения, и главное – они не отражают различий между вариантами опыта, так же, как и при определении водопрочности по методу Саввинова.

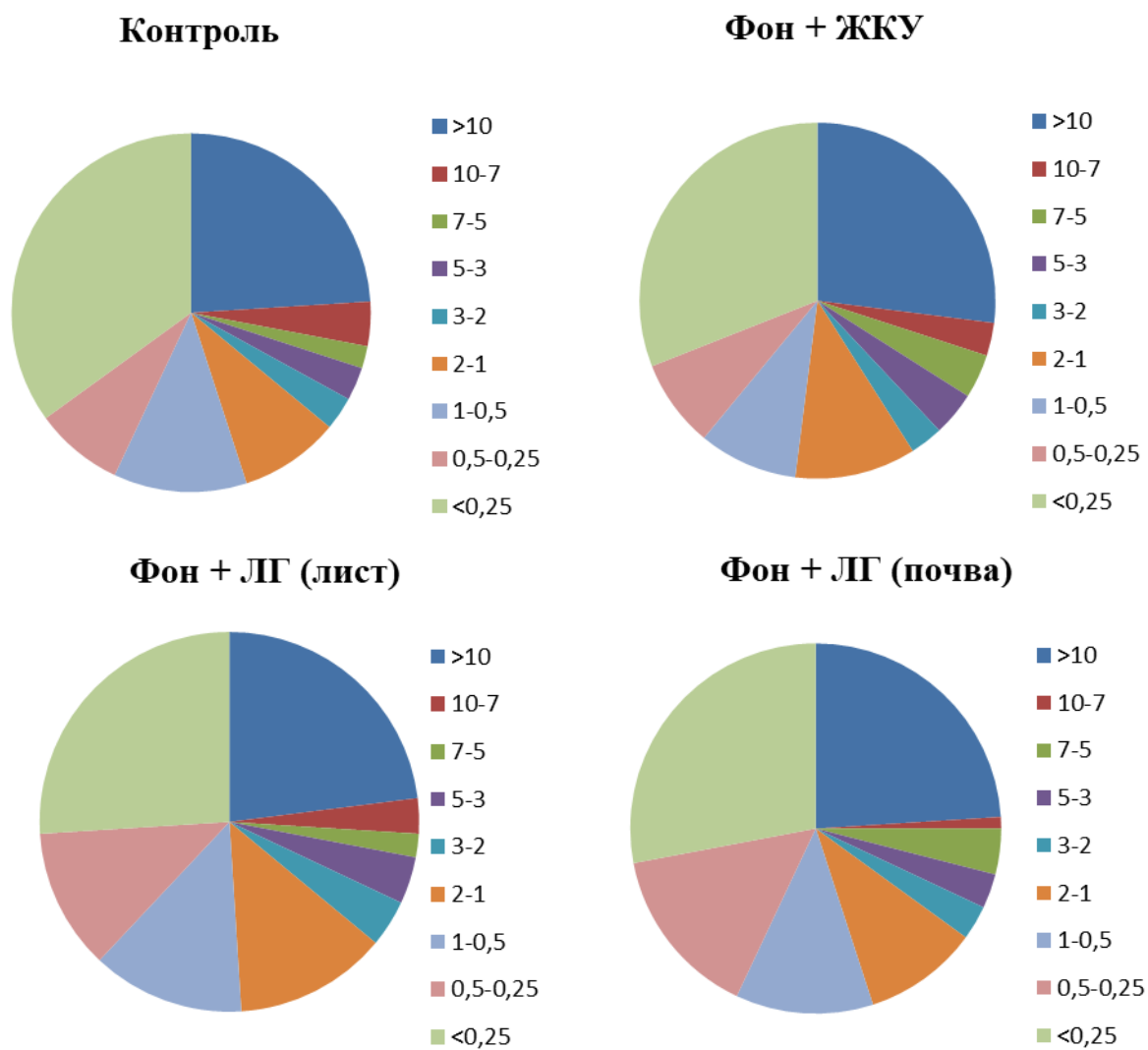
Таким образом, анализ показал более высокую информативность оценки водопрочности структуры по методу АФИ.

Согласно представленным циклограммам на момент первого отбора, до обработки препаратами, в почве преобладают крупные агрегаты размером более 10 мм, и пылеватая фракция размером менее 0,25 мм, то есть отдельности, которые не являются агрономически ценными (рисунок 21.1). Имеющиеся различия обусловлены пространственным варьированием свойств почвы на участке. При последующих отборах (рисунок 21.2) на вариантах с внесением лигногумата в почву и по листу наблюдалось постепенное сокращение доли пылеватых и глыбистых фракций в пользу агрономически ценных структурных отдельностей размером от 0,5 мм до 0,25 мм. Данный тренд прослеживается и в последующие сроки отбора образцов, до момента прекращения внесения препаратов.

Через два года с начала эксперимента после четырёх обработок лигногуматом почвы и посевов состав структурных отдельностей

характеризуется гораздо более сбалансированным распределением агрегатов по фракциям (рисунок 22). Этот отбор характеризовался высокими значениями коэффициента структурности, причем на варианте с внесением лигногумата в почву он был максимальным – 2,71. По сравнению с контролем варианты с внесением гуминового препарата характеризуются меньшей долей глыбистой фракции (17 % – лигногумат «по листу», 12 % – лигногумат в почву, 18,6 % – контроль), также меньше по сравнению с контролем доля агрегатов пылеватой фракции на варианте с внесением лигногумата в почву (18 % – контроль, 14 % – лигногумат в почву).





2

Рисунок 21 – Распределение агрегатов по фракциям в черноземе обыкновенном по вариантам опыта с гуминовыми удобрениями:

1 – до начала эксперимента, отбор 27.09.2009;

2 – после обработки лигногуматом, отбор 10.05.2010

При изучении данных показателей в динамике – от начала эксперимента и до прекращения внесения препаратов, наблюдается сокращение доли агрономически неценных отдельностей по всему полевому опыту, однако на контроле данный процесс проходит не так интенсивно. На контроле коэффициенты структурности и водостойчивости изменились за два года соответственно с 0,69 и 63, до

1,7 и 79. В то время как на вариантах с применением лигногумата данные показатели возросли вдвое. Одновременно с уменьшением доли агрономически неценных отдельностей, произошел прирост количества наиболее ценных агрегатов – размерами от 0,5 мм до 5 мм.

Последующие отборы почвенных образцов, проводились с целью изучения последствий гуминовых препаратов. На рисунках 22 и 23 видна следующая закономерность: прекращение внесения гуминового препарата привело к постепенному нивелированию различий между вариантами.

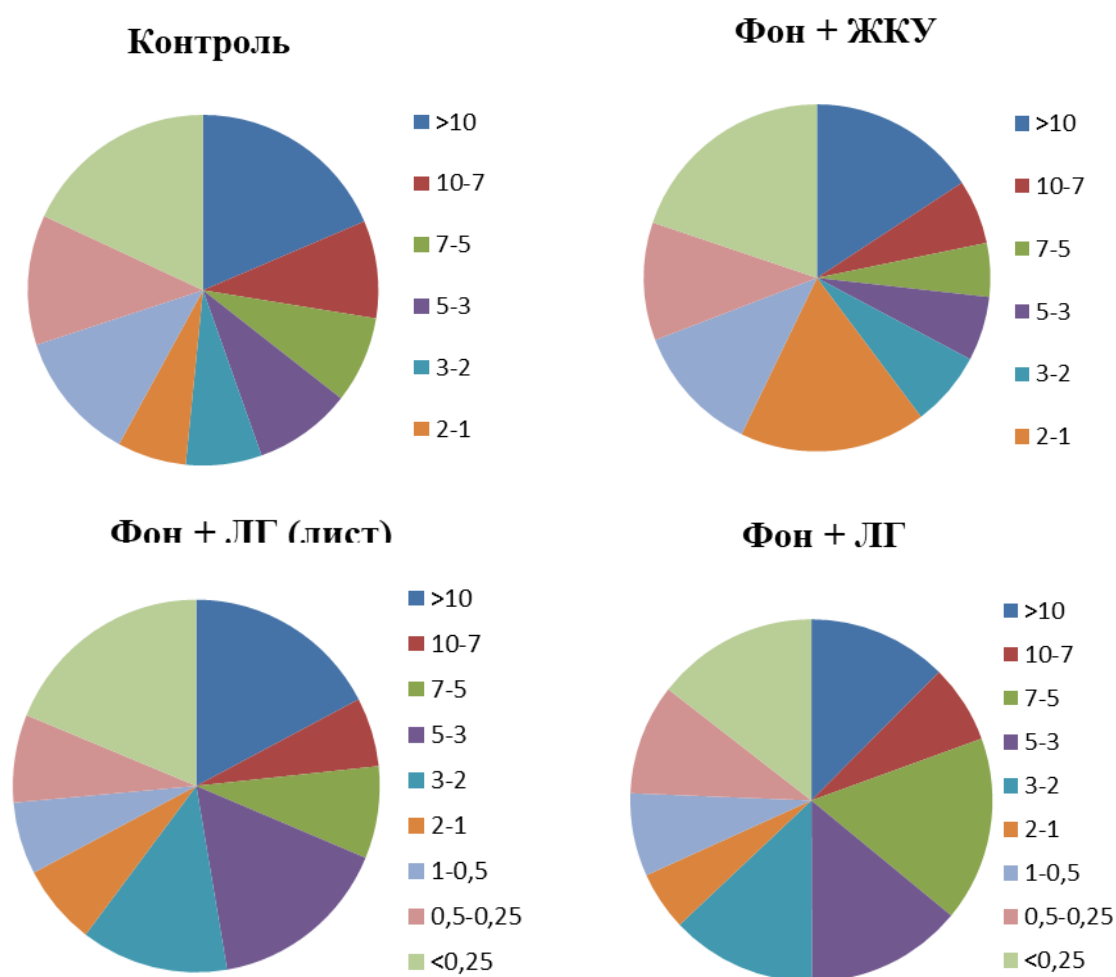


Рисунок 22 – Распределение агрегатов по фракциям в черноземе обыкновенном по вариантам опыта с гуминовыми удобрениями через два года после начала эксперимента (отбор 20.08.2011)

Содержание фракций более 10 мм и менее 0,25 мм стремится к значению на контроле (21,75 % и 17,75 % – контроль, 19,88 % и 14,37 % – лигногумат в почву).

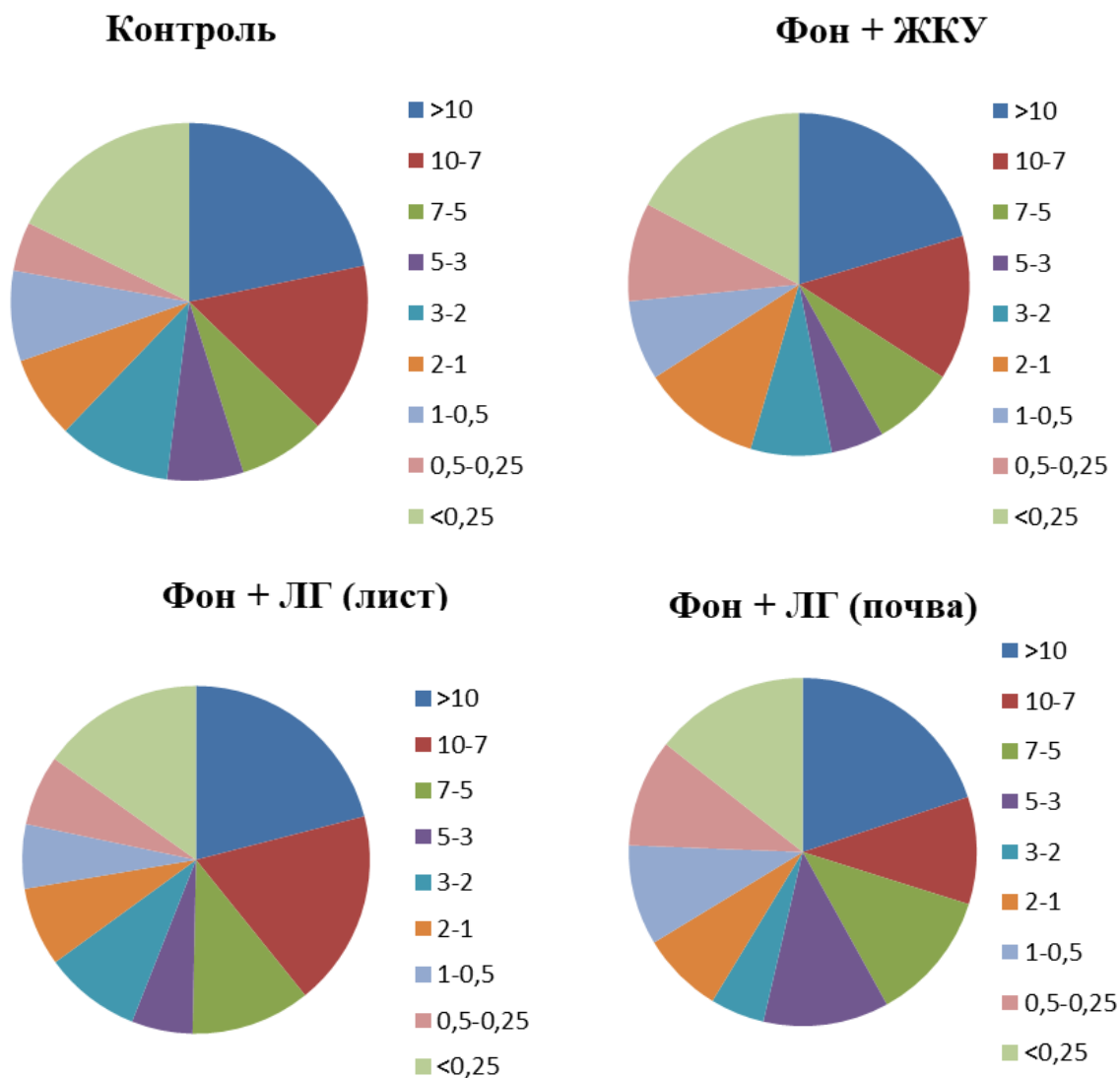


Рисунок 23 – Распределение агрегатов по фракциям в черноземе обыкновенном по вариантам опыта с гуминовыми удобрениями в последствии (отбор 7.07.2012).

Оценка по критерию АФИ является более объективной, чем по коэффициенту структурности, так как учитывается состояние структуры в воздушно-сухом состоянии, и ее способность противо-

стоять размывающему действию воды, и как было показано выше, более информативной, чем при использовании коэффициента водопрочности по Андрианову. Результаты, приведенные в таблице 23, свидетельствуют, что на вариантах «контроль» и «фон» водопрочность оценивается как удовлетворительная на протяжении всего периода наблюдений, иными словами, несмотря на колебания численного значения АФИ и тенденцию к росту показателя от 62,07 до 99,47 %, качественных изменений не произошло.

Таблица 23 – Динамика критерия водопрочности агрегатов (критерий АФИ) в черноземе обыкновенном карбонатном по вариантам опыта с лигногуматом

Дата	Вариант							
	Контроль	Оценка	Фон	Оценка	Фон+ЛГ (лист)	Оценка	Фон+ЛГ (почва)	Оценка
27.09.2009	62,07	Удовл.	71,43	Удовл.	97,37	Удовл.	89,19	Удовл.
10.05.2010	66,67	Удовл.	93,10	Удовл.	109,24	Хорош.	113,64	Хорош.
23.06.2010	74,07	Удовл.	95,45	Удовл.	134,83	Хорош.	143,55	Хорош.
07.08.2010	94,09	Удовл.	85,17	Удовл.	159,93	Хорош.	164,84	Хорош.
19.09.2010	73,91	Удовл.	85,19	Удовл.	177,91	Хорош.	189,85	Хорош.
22.04.2011	82,19	Удовл.	93,69	Удовл.	205,22	Хорош.	219,01	Хорош.
20.08.2011	79,03	Удовл.	81,66	Удовл.	220,10	Хорош.	239,47	Хорош.
22.09.2011	82,87	Удовл.	85,69	Удовл.	210,36	Хорош.	232,23	Хорош.
15.04.2012	80,95	Удовл.	92,48	Удовл.	203,19	Хорош.	216,22	Хорош.
07.07.2012	89,78	Удовл.	99,47	Удовл.	176,06	Хорош.	185,53	Хорош.

На вариантах с внесением гуминового препарата наблюдается положительная динамика. Водопрочность структуры на момент первого отбора (27.09.2009, до обработки) характеризуется, согласно критерию АФИ, как удовлетворительная. При последующих от-

борах, на вариантах с применением лигногумата, происходит увеличение данного показателя выше 100 %, в отдельные периоды 20.08.2011, 22.09.2011, наблюдается разница с контролем более, чем в два раза, что является свидетельством качественного улучшения водоустойчивости почвенных отдельностей, согласно критерию АФИ – от удовлетворительной до хорошей.

Результаты структурно-агрегатного анализа почвенных образцов производственного опыта на стационаре Донского зонального института, представлены на рисунке 24.

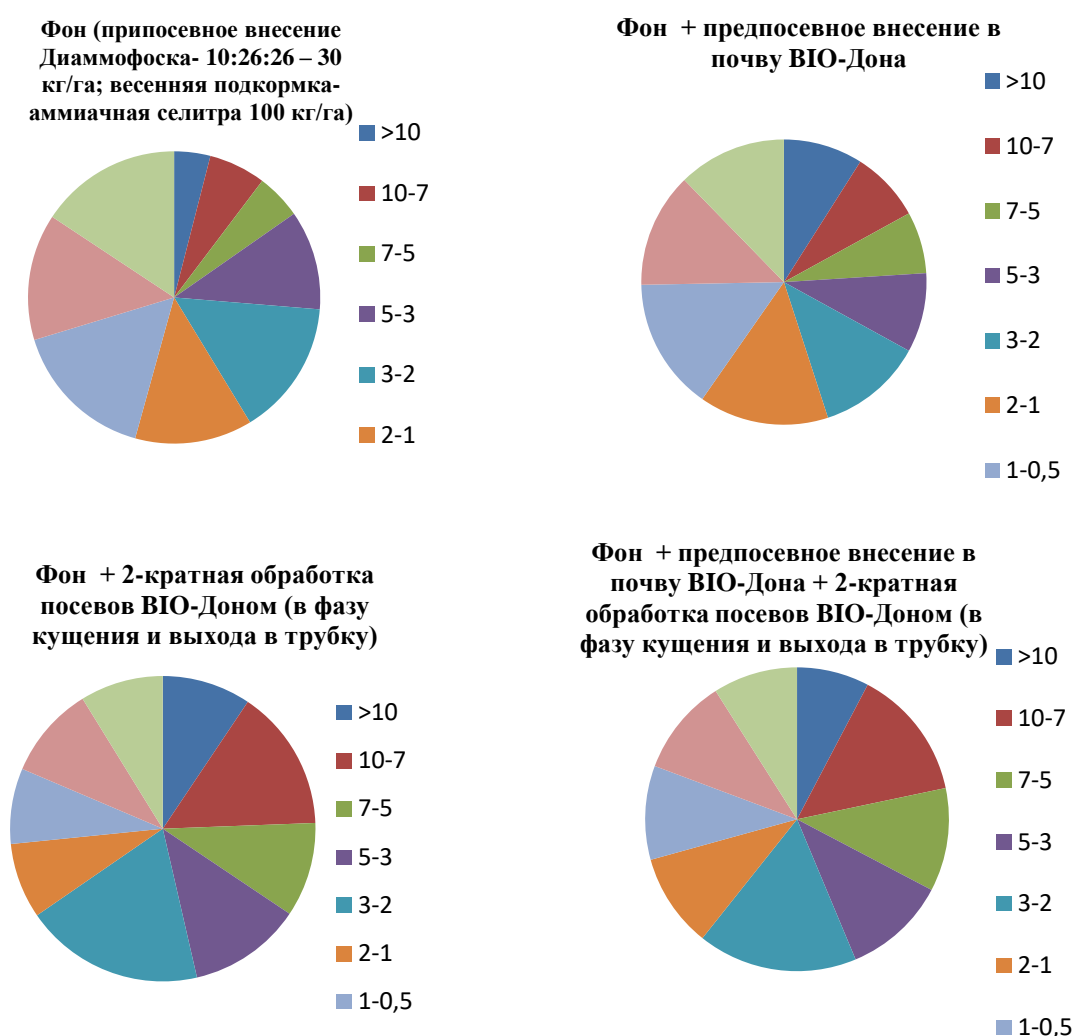


Рисунок 24 – Распределение агрегатов по фракциям в черноземе обыкновенном по вариантам опыта с гуминовым препаратом ВЮ-Дон (стационар ДЗНИИСХ, озимая пшеница, фаза кущения)

На момент первого отбора (фаза кущения), как видно из рисунка 22, почва характеризовалась очень хорошей структурностью, содержание агрономически неценных фракций на всех вариантах не превышает 21 %, при этом максимальное содержание в составе структуры приходится на отдельности 3–2 мм – от 12 и до 19 %, как следствие, высокое значение коэффициента структурности. Результаты последующего отбора (фаза выхода в трубку) представлены на рисунке 25.

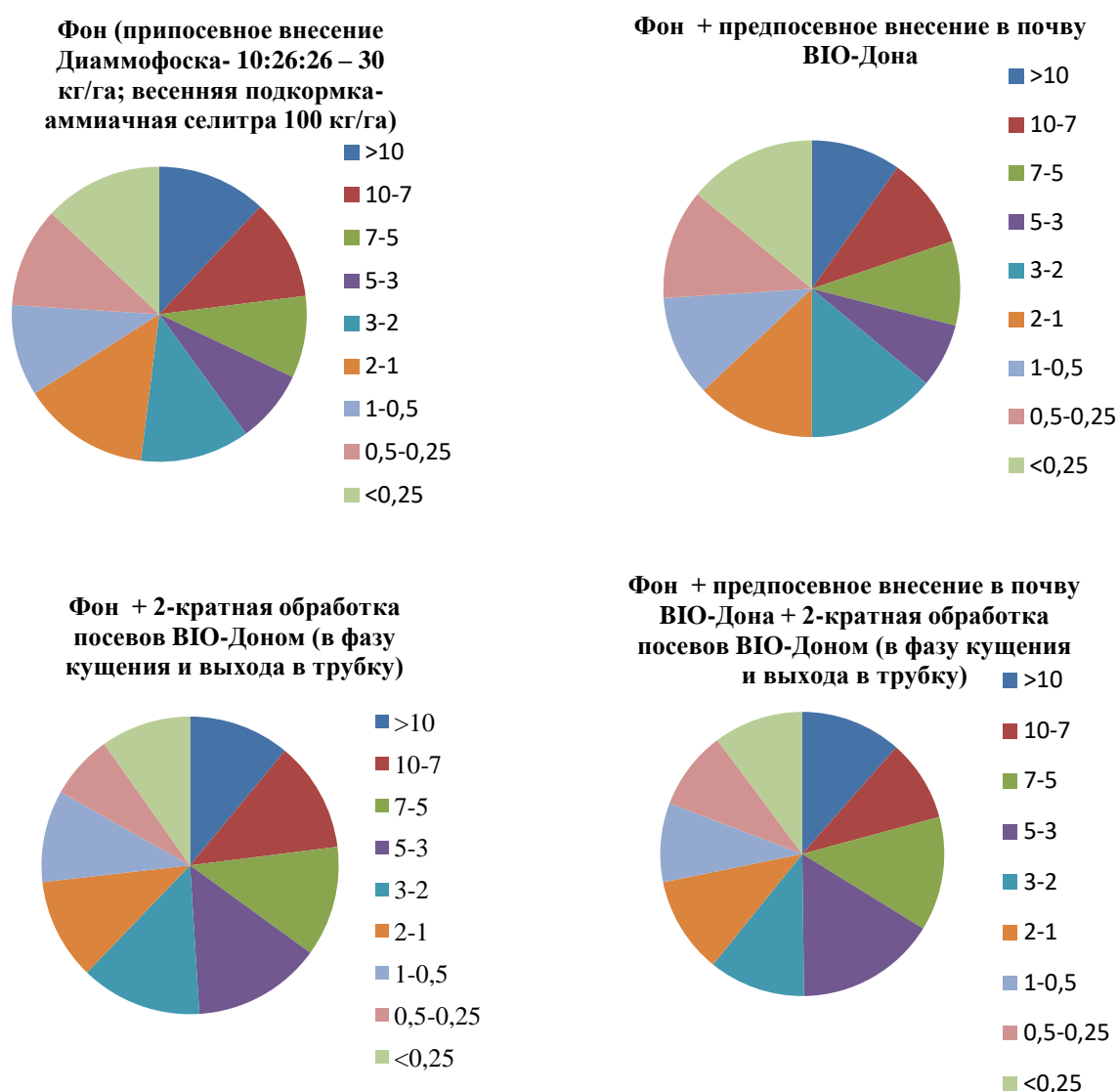


Рисунок 25 – Распределение агрегатов по фракциям в черноземе обыкновенном по вариантам опыта с гуминовыми удобрениями (фаза выхода в трубку)

Из представленного рисунка 25 видно, что за время между двумя вегетационными фазами, в течение которых были проведены отборы почвенных образцов, произошли изменения в распределении фракций почвенных агрегатов.

На момент фазы выхода в трубку, на фоновом варианте увеличилось содержание глыбистой фракции в три раза: с 4 до 12 %. Одновременно на 2,7 % снизилась доля пылеватых отдельностей: с 15,7 до 13 %. В то же время, на варианте с внесением препарата ВЮ-Дон в почву данная тенденция сохраняется, но выражена значительно слабее: процент агрономически неценных агрегатов увеличился только на 0,8 % (глыбистая фракция) и 1,7 % (пылеватая фракция), данный тренд характерен и для двух других вариантов с применением гуминового препарата.

На момент уборки урожая, как видно на рисунке 26, содержание глыбистой и пылеватой фракций на фоновом варианте увеличилось до 15,5 % и 19 %, соответственно. Данная тенденция характерна и для вариантов с внесением гуминового препарата.

Таким образом, за вегетационный сезон под озимой пшеницей произошло ухудшение структурного состояния почвы, коэффициент структурности снизился в 2 раза, но качественного изменения, согласно существующим критериям оценки состояния структуры по коэффициенту структурности, не произошло. По всем вариантам результаты сухого просеивания показали, что коэффициент структурности выше 1,5. Тем не менее, в численном выражении данный показатель на вариантах с внесением гуминового препарата все-таки выше, чем на фоне (1,9). И хотя статистически такое превышение недостоверно, однако позволяет сделать вывод о тенденции к улучшению структурного состояния в результате обработки почвы и вегетирующих растений пшеницы гуминовым препаратом.

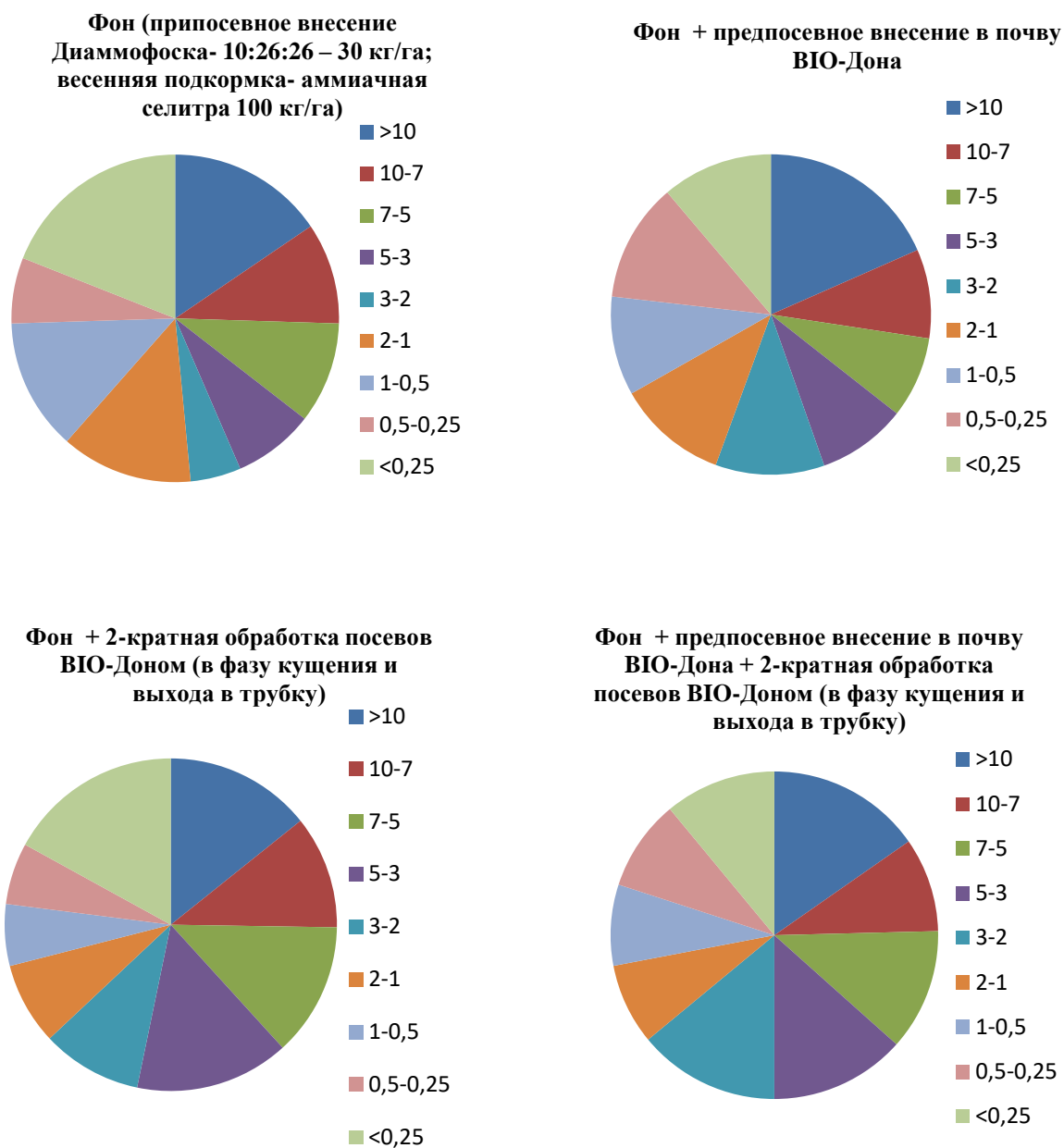


Рисунок 26 – Распределение агрегатов по фракциям в черноземе обыкновенном по вариантам опыта с гуминовыми удобрениями (уборка)

А вот результаты определения водоустойчивости и расчета коэффициента АФИ, представленные в таблице 24, свидетельствуют и о качественных изменениях в состоянии структуры за период вегетации.

**Таблица 24 – Критерий водопрочности агрегатов
(критерий АФИ)**

Фаза	Вариант							
	Фон		Фон + предпосевное внесение в почву ВЮ-Дона		Фон + 2-кратная обработка посевов ВЮ-Доном (в фазу кущения и выхода в трубку)		Фон + предпосевное внесение в почву ВЮ-Дона + 2-кратная обработка посевов ВЮ-Доном (в фазу кущения и выхода в трубку)	
	%	Оценка	%	Оценка	%	Оценка	%	Оценка
Кущение	93	Удовл.	99	Удовл.	94	Удовл.	93	Удовл.
Выход в трубку	97	Удовл.	109	Хорош.	104	Хорош.	175	Хорош.
Уборка	68	Удовл.	105	Хорош.	170	Хорош.	172	Хорош.

Согласно результатам, представленным в таблице 24, водоустойчивость агрегатов за период вегетации на фоновом варианте снизилась с 93 до 68, оценка в данном случае не изменилась. На вариантах с внесением гуминового препарата критерий АФИ увеличился: при внесении в почву с 99 до 105, на варианте с обработкой растений с 94 до 170, на варианте с 2-х кратной обработкой с 93 до 172. Таким образом, согласно критерию АФИ обработка почвы и посевов гуминовым препаратом способствовала росту водоустойчивости структуры почвы от удовлетворительной до хорошей. На первый взгляд, такой результат кажется парадоксальным: казалось бы, внесение препарата в почву должно действовать напрямую, и, следовательно, проявляться явственнее. Мы же получили данные, указывающие на предпочтение обработки гуминовым препаратом по листу. Почему? Ответ на этот вопрос был получен при изучении биологической активности почвы.

3.3 Связь структурного состояния с биологической активностью почвы и влияние на этот показатель гуминовых препаратов

Роль ферментов в циклах почвообразования: трансформации углерода, азота, фосфора, серы и других элементов, а также окислительно-восстановительных процессах, несомненна. Ферментативная активность иллюстрирует скорость и направленность протекающих реакций в почве (Галстян, 1959; Тазабекова, 1997, Clapp et al, 2001).

Использование биологически активных веществ, в том числе и гуминовых препаратов, оказывает разнонаправленное воздействие на ферментативную активность почвы. В последнее время среди гуминовых удобрений все большее внимание уделяется изучению вермикомпостов, а также гуминовых препаратов, получаемых их вермикомпостов. В работе Srivastava et al. (2012) отмечается значительное повышение активности таких ферментов как бета-глюкозидаза, целлюлаза, дегидрогеназа и щелочная фосфатаза при внесении в почву вермикомпоста или его совместном внесении с минеральным удобрением. При этом наилучшие показатели урожайности получены при сочетанном внесении вермикомпоста и минеральных удобрений, в то время как наибольший эффект на биологическую активность почвы оказало внесение только гуминового удобрения. Отмечено также повышение протеазной активности почвы при внесении вермикомпоста в качестве удобрения при культивировании кукурузы (Marinari et al., 2000), дегидрогеназной активности и микробной биомассы в почве под клубникой (Arancon et al., 2004, Arancon et al., 2006), численности микроорганизмов и активности инвертазы, фосфатазы и пероксидазы под озимой пшеницей (Vi et al., 2004).

По-видимому, усиление ферментативной активности при внесении вермикомпоста или гуминовых препаратов на его основе

связано с двумя процессами. Высокая активность дегидрогеназ, являющихся внутриклеточными ферментами, напрямую зависит от увеличения популяции почвенных микроорганизмов. Повышенная активность внеклеточных гидролаз (протеазы, фосфатазы, инвертазы, арилсульфатазы и др.) может объясняться как увеличением их продуцирования возросшей микробной биомассой, так и повышением стабильности данных ферментов в почвенной среде за счет формирования комплексов с гуминовыми кислотами, с последующей фиксацией данных комплексов на глинистых минералах. Вносят вклад также непрямые механизмы, включающие стимуляцию растений и микроорганизмов гормоноподобными веществами, входящими в состав гуминовых удобрений.

Значительную роль играет исходное сырье для получения вермикомпоста. В трехлетнем эксперименте по сравнению вермикомпоста на основе коровьего навоза и вермикомпоста на основе фитомассы было показано, что вермикомпост из навоза сильнее повлиял на микробную биомассу и активность уреазы, фосфатазы, бета-глюкозидазы и арилсульфатазы. Однако содержание иммобилизованных на органическом веществе почвы ферментов было выше в варианте с удобрением на основе фитомассы (Tejada et al., 2010). Происхождение гуминовых удобрений влияет не только на их эффективность, но и на направленность действия данных веществ. Так, лигногуматы оказывали значительное стимулирующее действие на активность дегидрогеназ, но практически не влияли на активность фосфатазы. Активность фосфатаз повышалась при внесении гуминового удобрения на основе растительных остатков с высоким содержанием фульвокислот, что объясняется образованием стабильных фермент-фульватных комплексов. Гуматы же, полученные из торфа, не оказывали достоверного влияния на ферментативную активность почвы (Lizarazo et al., 2005).

В полевом эксперименте в УОХ ЮФУ «Недвиговка» контролировали активность таких важных ферментов, как каталаза и инвертаза. Выбор ферментов был обусловлен их возможным участием в формировании структурных отдельностей и их водопрочности, так как известно, что каталаза участвует в разложении органических соединений почвы, активность этого фермента увеличивается с увеличением содержания органического вещества (Гончарова и др., 1990). Инвертаза, осуществляет гидролиз сахарозы (и других углеводов) с образованием редуцирующих сахаров – глюкозы и фруктозы, в свою очередь, углеводы участвуют в агрегировании почвенной массы (Безуглова, 2001). Изначально степень обогащенности чернозема обыкновенного ферментом каталаза была богатой (по Звягинцеву, 1973). Внесение удобрений изменяло активность ферментов. В таблице 25 представлена динамика каталазной активности в течение всего периода.

Таблица 25 – Динамика каталазной активности в черноземе обыкновенном карбонатном по вариантам опыта с биологически активными веществами, мл O₂/ г/мин

Дата отбора образца	Вариант			
	Контроль	Фон (ЖКУ)	Фон+ЛГ лист	Фон+ЛГ почва
27.09.2009	18,3	21,1	21,8	15,6
10.05.2010	19,3	17,9	20,2	20,6
23.06.2010	19,6	18,7	21,1	21,4
07.08.2010	20,2	19,1	21,5	21,9
19.09.2010	20,4	19,4	21,7	22,2
22.04.2011	20,9	19,4	22,9	22,7
20.08.2011	23,5	20,5	23,5	23,3
22.09.2011	24,3	21,1	24,1	23,8
15.04.2012	23,1	19,8	22,7	22,7
07.07.2012	20,5	20,0	21,4	21,5

Исходя из данных, приведенных в таблице 25, видно, что внесение лигногумата увеличивает активность фермента. В выделенных жирным шрифтом вариантах достоверность разницы подтверждается статистически, а в остальных вариантах различия с контролем ниже стандартного значения критерия Стьюдента, и об усилении активности каталазы под влиянием гумата можно говорить только как о тенденции.

Для наглядного изображения отмеченной закономерности – увеличения активности каталазы при использовании лигногумата, представлен следующий график (рисунок 27). На графике также четко отображается, что внесение ЖКУ способствовало снижению активности каталазы, хотя об этом снижении можно говорить только как о тенденции, т.к. статистически оно не было доказано.

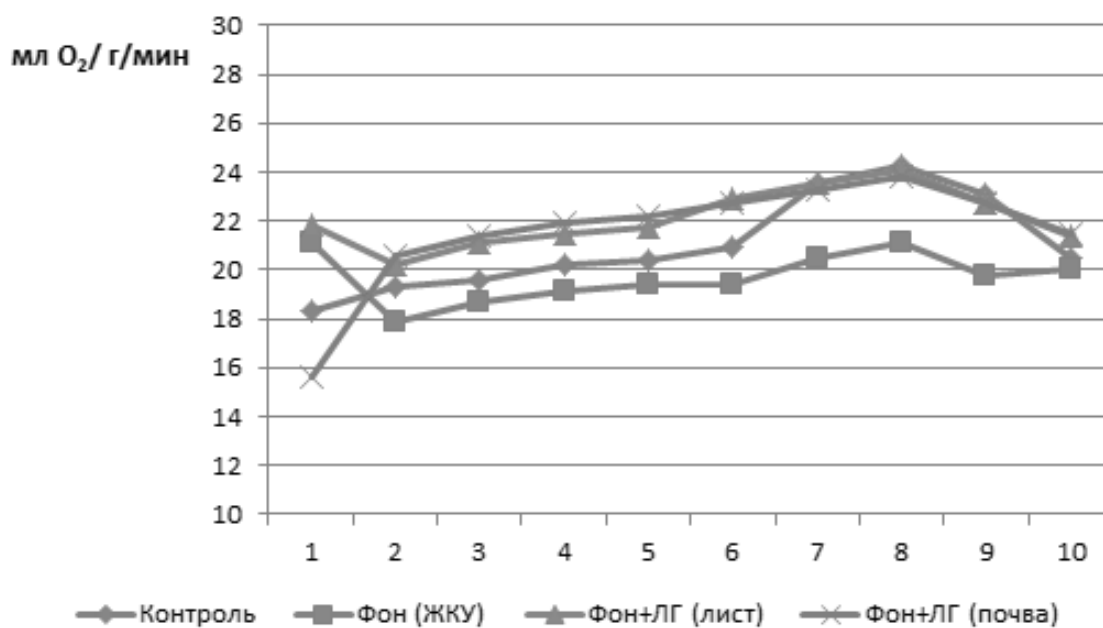


Рисунок 27 – Динамика активности каталазы в черноземе обыкновенном карбонатном по вариантам опыта удобрениями и биодобавками:

1 – 27.09.2009, **2** – 10.05.2010, **3** – 23.06.2010, **4** – 07.08.2010,
5 – 19.09.2010, **6** – 22.04.2011, **7** – 20.08.2011, **8** – 22.09.2011,
9 – 15.04.2012, **10** – 07.07.2012

Наблюдается заметное увеличение активности каталазы после пятого внесения удобрений и небольшой спад ближе к окончанию опыта. Последствие удобрений проявляется достаточно заметным влиянием на активность каталазы, так как выравнивания с контролем не произошло.

Еще более информативна при оценке влияния последствий удобрения и препарата на почву активность инвертазы (таблица 26). По степени обогащенности инвертазой чернозем обыкновенный является среднеобогаченным (по шкале Звягинцева, 1973). В отличие от активности каталазы, усиление активности инвертазы достоверно подтвердилось в вариантах с внесением ЖКУ и лигногумата в почву. Это связано с большей чувствительностью данного фермента по отношению к различным факторам.

Таблица 26 – Динамика инвертазной активности в черноземе обыкновенном карбонатном, мл глюкозы/ г/ 24 часа

Дата отбора	Контроль	Фон (ЖКУ)	Фон+ЛГ (лист)	Фон+ЛГ (почва)
27.09.2009	15,87	16,13	16,37	16,50
10.05.2010	16,05	16,38	16,33	16,35
23.06.2010	16,18	16,48	16,47	16,47
07.08.2010	16,32	16,60	16,67	16,68
19.09.2010	16,47	16,77	16,85	16,85
22.04.2011	16,56	16,97	17,10	17,03
20.08.2011	16,77	17,13	17,33	17,17
22.09.2011	16,93	17,33	17,43	17,40
15.04.2012	16,63	16,50	16,37	16,70
07.07.2012	16,00	16,17	15,97	16,17

На рисунке 28 представлено наглядное изменение активности инвертазы по вариантам в течение всего опыта. Из рисунка видно, что внесение ЖКУ положительно повлияло на активность инверта-

зы, что подтверждается достоверно в выделенных жирным шрифтом отборах. Помимо этого внесение гуминового препарата непосредственно в почву также усиливает активность инвертазы. Как и активность каталазы, инвертазная активность более высокая в вариантах с лигногуматом.

Согласно литературным источникам, удобрения на минеральной основе, неблагоприятно сказываются на микроорганизмах, и как следствие, ухудшается один из параметров потенциальной активности почвы, а именно, ферментативная активность. Как уже отмечалось ранее, минеральные удобрения способны угнетать все биологические процессы в почве, однако, в данном случае, этот феномен отчетливо не выражен, что вероятно, обусловлено видом, а главное, формой удобрения – стресс от внесения жидких удобрений меньше, чем при использовании сухих удобрений (Калашник, 2002).

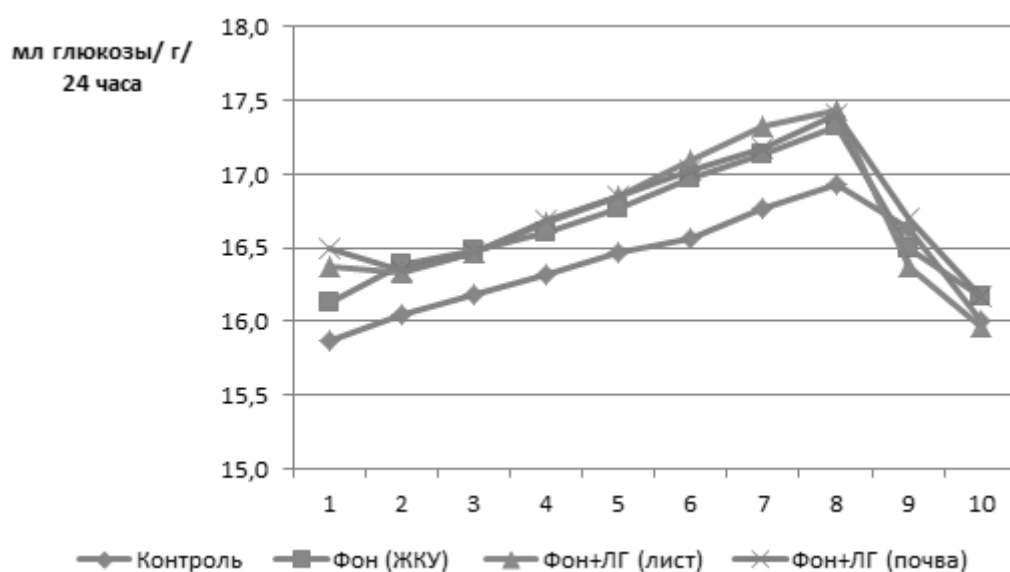


Рисунок 28 – Динамика активности инвертазы в черноземе обыкновенном карбонатном по вариантам опыта удобрениями и биодобавками:

1 – 27.09.2009, **2** – 10.05.2010, **3** – 23.06.2010, **4** – 07.08.2010,
5 – 19.09.2010, **6** – 22.04.2011, **7** – 20.08.2011, **8** – 22.09.2011,
9 – 15.04.2012, **10** – 07.07.2012

Динамика инвертазы, по сравнению с каталазой, более информативна при оценке последствий влияния лигногумата. Изучение динамики инвертазной активности в течение всего периода наблюдений показало, что в отличие от активности каталазы, происходит достоверное усиление по сравнению с контролем активности инвертазы в варианте с внесением лигногумата в почву (Безуглова и др., 2013). Однако расчеты показали, что прямая корреляционная связь средней степени существует между коэффициентом структурности и активностью каталазы ($r = 0,51$; $m_r = 0,107$; $t_r = 4,82$). В тоже время с активностью инвертазы связь оценивается как слабая. Слабая прямая связь обнаружена и между коэффициентом водопрочности и активностью каталазы ($r = 0,106$; $m_r = 0,142$; $t_r = 0,73$), коэффициентом водопрочности и активностью инвертазы ($r = 0,233$; $m_r = 0,136$; $t_r = 1,71$). Коэффициент корреляции между устойчивостью агрегатов к разрушению в стоячей воде и активностью каталазы выше ($r = 0,380$; $m_r = 0,123$; $t_r = 3,09$), тем не менее, и в этом случае связь оценивается как слабая.

Проверка полученных результатов в условиях производственного эксперимента была проведена в 2013–2015 гг. на территории ДЗНИИСХ (Федерального Ростовского аграрного научного центра). Почва – чернозем обыкновенный карбонатный. Данные, показывающие влияние гуминового препарата на активность ферментов в черноземе обыкновенном карбонатном (североприазовском) под посевами озимой пшеницы представлены в таблице 27.

Почва в исходном состоянии, до посева озимой пшеницы, по шкале Д.Г. Звягинцева (1973) по активности каталазы характеризовалась как среднеобогатенная. В течение всего эксперимента, с момента посева озимой пшеницы, по активности инвертазы почва характеризовалась как «среднеобогатенная».

Таблица 27 – Влияние гуминового удобрения ВЮ-Дон на активность каталазы, на стационаре ФГБНУ «ДЗНИИСХ», $p=0,95$, $n = 9$, $tst = 2,26$

Вариант	Дата отбора образцов						
	17.10.13	17.11.13		23.04.14		11.07.14	
	мл O ₂ /Г за мин	мл O ₂ /Г за мин	t	мл O ₂ /Г за мин	t	мл O ₂ /Г за мин	t
1	7,36	7,6	-	10,2	-	13,8	-
2		10,3	2,70	10,5	0,46	11,5	3,50
3		7,8	0,34	12,8	2,14	12,6	2,84
4		6,7	5,61	12,3	3,92	14,0	0,23

На протяжении всего эксперимента наблюдалась положительная динамика каталитической активности, и к фазе созревания зерна почва по обеспеченности каталазой характеризуется как богатая (рисунок 29).

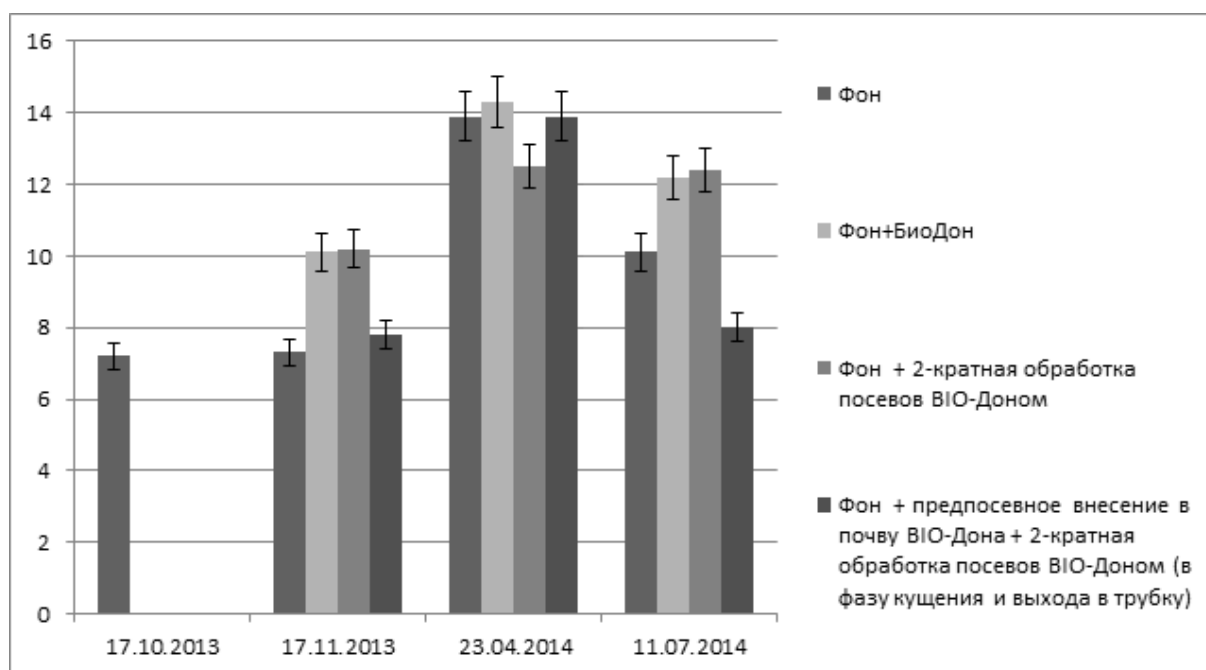


Рисунок 29 – Влияние гуминового препарата ВЮ-Дон на активность каталазы в черноземе обыкновенном карбонатном (мл O₂/г почвы за мин.)

Применение минеральные удобрений сказывается на величине активности каталазы в почве в отрицательную сторону (Галстян, 1974, 1978). Данный факт, связан с проявлением действия кислотных остатков удобрений. При посеве озимой пшеницы вносили диаммофоску (N:P:K = 10:26:26) в дозе 30 кг/га. Каталаза – фермент класса оксиредуктаз, содержащий в себе атом железа, который активно вступает в реакцию замещения с кислотными остатками вносимых минеральных удобрений, исключая возможность образования промежуточных перекисных соединений, что приводит к инактивации каталазы, ввиду невозможности присоединения пероксида водорода к ферменту. Весной ситуация выравнивается, активность каталазы возрастает на всех вариантах, включая фон. Максимальный результат получен на втором варианте (внесение препарата в почву). Следует также отметить некоторое снижение активности каталазы на вариантах 3 и 4, где обработка гуминовым препаратом ВЮ-Дон производилась дважды за сезон. Однако отличия с контролем (фон) статистически недостоверны.

Инвертаза – фермент, относящийся к группе гликозидгидролаз и катализирующий по гликозильным связям процесс гидролиза полисахаридов. Под действием фермента инвертазы сахароза, рафиноза, генцианоza, стахиоза, содержащиеся в органическом веществе почвы, подвергаются биохимическим превращениям.

Отдельно можно подчеркнуть отзывчивость данного фермента на минеральные удобрения, в особенности при условии улучшения фосфатного режима почв (Тазабекова, 1997). Припосевное внесение диаммофоски через месяц после посева привело к значительному увеличению активности инвертазы. Вариант с двукратной обработкой посевов показал более высокое значение (рисунок 30).

Итак, на основании анализа результатов данного эксперимента следует подчеркнуть, что с помощью кислотных остатков гумино-

вое удобрение сдерживает активность каталазы. В тоже время показатели воздействия удобрения ВЮ-Дон на активность инвертазы могут трактоваться неоднозначно. При условии того, что вариация признака в пределах варианта невысока, нельзя с уверенностью заявлять, что рост значений показателей инвертазной активности в почве связан с использованием гуминового препарата, так как данный фермент также проявляет высокую отзывчивость и на минеральные удобрения.

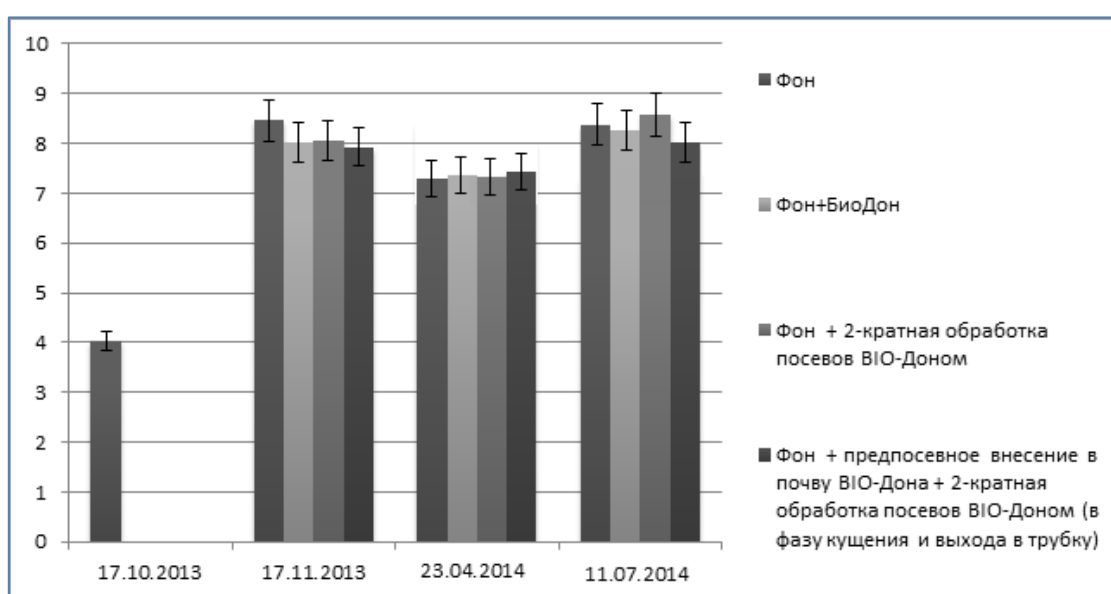


Рисунок 30 – Влияние гуминового препарата ВЮ-Дон на активность инвертазы в черноземе обыкновенном карбонатном (мг глюкозы/ мл)

Однако расчет коэффициента корреляции между показателями биологической активности и коэффициентом водопрочности агрегатов в стоячей воде показал наличие прямой сильной связи с активностью инвертазы ($r = 0,704$; $m_r = 0,072$; $t_r = 9,78$). Следует отметить, что наличие прямой сильной связи между водопрочностью агрегатов и содержанием углеводов обнаруживали и другие авторы (Минеев, 1988; Безуглова, 2001).

Усиление ферментативной активности на вариантах с гуминовым препаратом сопровождалось изменением подвижности элементов питания, в частности, на протяжении всего эксперимента во всех вариантах опыта с гуминовым препаратом наблюдалось существенное увеличение содержания подвижных форм фосфора (таблица 28). В условиях дефицита фосфора, свойственного карбонатным черноземам, это явилось одним из факторов оптимизации питания растений.

При закладке опыта на черноземе южном нами были получены несколько отличающиеся результаты. Данные по динамике ферментативной активности отражены на рисунке 31.

Согласно оценке по шкале Д.Г. Звягинцева, чернозем южный характеризуется как среднеобогатенный каталазой.

Таблица 28 – Динамика подвижного фосфора в черноземе обыкновенном под озимой пшеницей при воздействии гуминовым препаратом ВЮ-Дон (стационар ФГБНУ «ДЗНИИЭСХ»)

Вариант	Дата отбора					
	17.11.13		23.04.14		11.07.14	
	мг/кг	±	мг/кг	±	мг/кг	±
1. Фон	24,03	-	63,84		29,1	
2. Фон + внесение в почву ВЮ-Дона	35,64	8,44	66,37	0,7	58,5	6,32
3. Фон + 2-кратная обработка растений	39,99	7,81	53,17	2,26	46,3	3,44
4. Фон + внесение в почву ВЮ-Дона + 2-кратная обработка растений	37,02	17,79	55,22	2,23	39,4	4,49
НСР _{0,05}		3,09		2,65		2,25

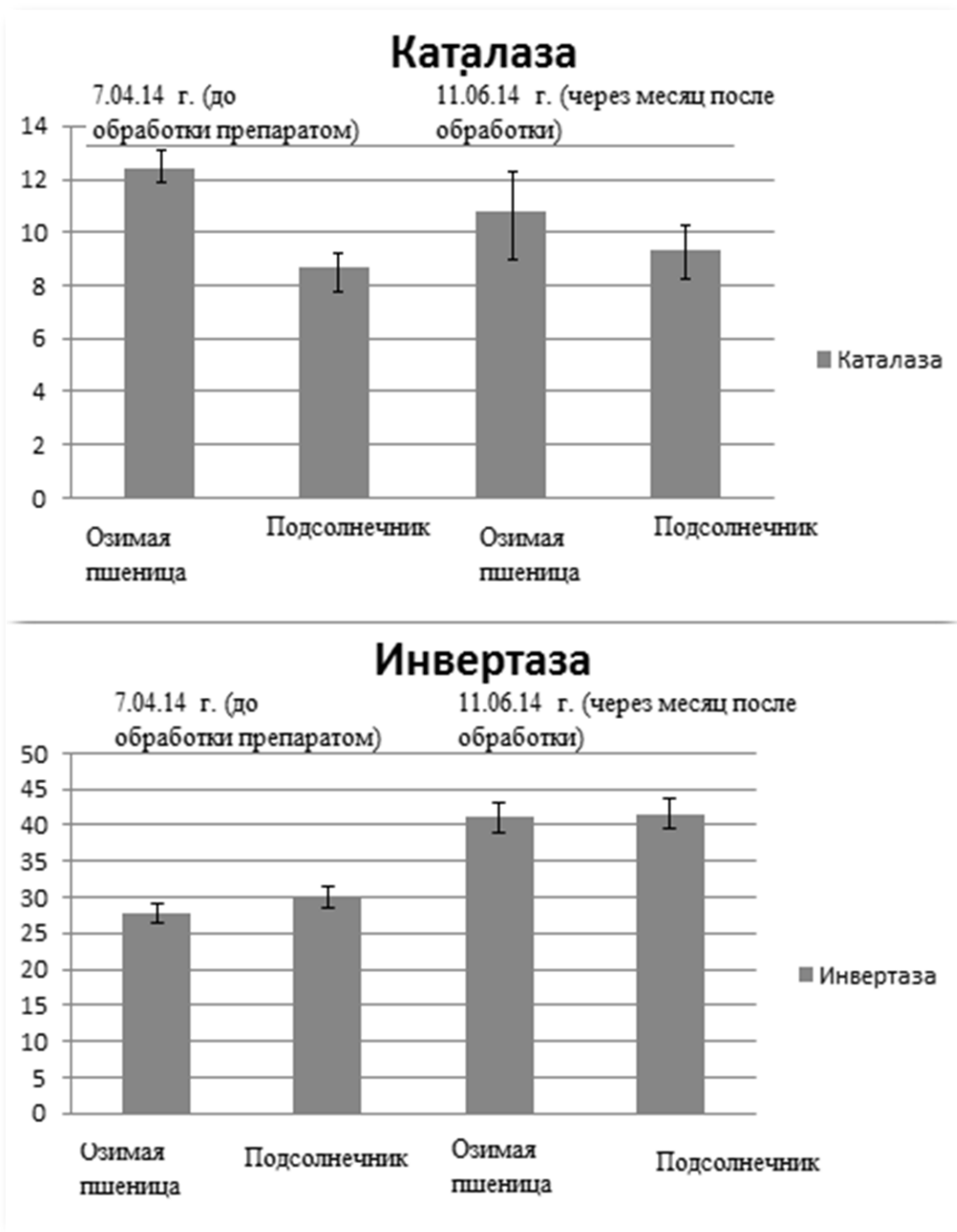


Рисунок 31 – Динамика активности ферментов в черноземе южном на экспериментальных полях ЗАО «Шумилинское»

Небольшое снижение показателей активности каталазы после применения препарата ВЮ-Дон находится в пределах ошибки опыта ($t < 2,57$). При этом в своих работах А.Ш. Галстян (1974) говорит о

том, что в под действием кислотных остатков в почве происходит подавление активности окислительно-восстановительных ферментов (каталазы и пероксидазы). В то же время опытным путем была определена прямая связь ферментативной активности и количества основных питательных элементов в почве.

По результатам исследования показатель активности инвертазы в первый отбор, согласно шкале Д.Г. Звягинцева, можно трактовать как среднюю величину. Вследствие обработки гуминовым препаратом данный показатель заметно увеличивается по сравнению с первым отбором, при этом по состоянию на 11.06.2014 активность инвертазы остается в пределах «средней» величины.

Стоит отметить, что в этом эксперименте расчет коэффициента корреляции между показателями ферментативной активности и коэффициентом структурности демонстрирует наличие положительной значительной связи с активностью инвертазы ($r = 0,700$; $m_r = 0,11$; $t_r = 6,15$). Итак, можно заключить, что полученные в мелкоделяночном опыте на черноземе обыкновенном карбонатном результаты подтверждены на такой же почве в условиях производственного стационара и в производственном посеве на другом подтипе чернозема: наблюдается увеличение активности инвертазы под воздействием обработки растений гуминовым препаратом.

Результаты эксперимента на темно-каштановой почве отражены на рисунке 32.

Как показывают данные (рисунок 33), почва характеризуется средней активностью каталазы (по шкале Д.Г. Звягинцева). Незначительное уменьшение активности каталазы на 11.06.2014 находится в пределах ошибки опыта ($t < 2,57$).

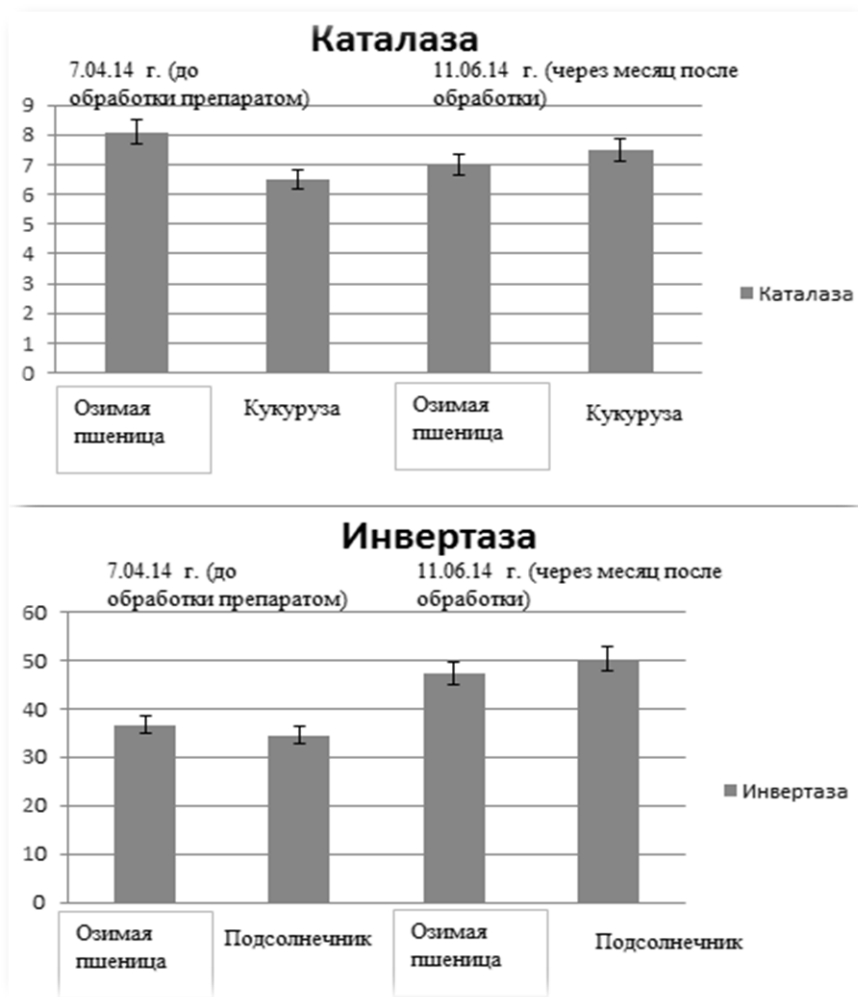


Рисунок 32 – Динамика активности ферментов в темно-каштановой почве на полях ЗАО им. Ленина, $p=0,95$, $n = 5$, $tst = 2,57$

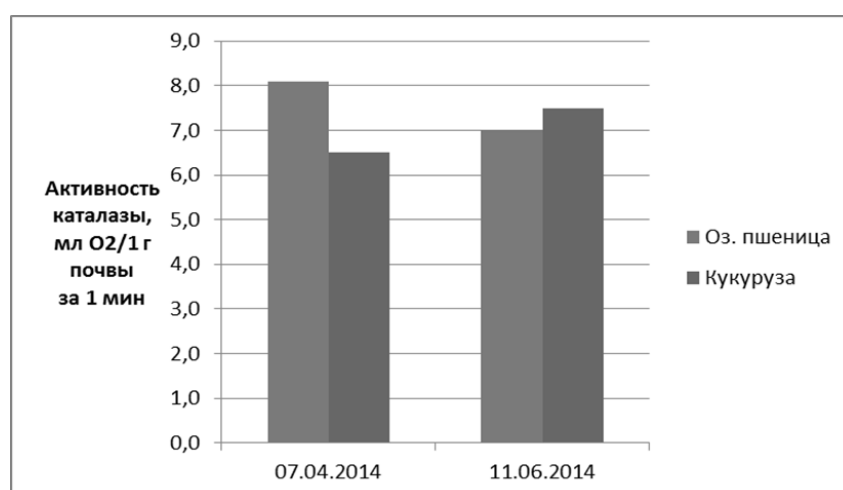


Рисунок 33 – Динамика активности каталазы в почве под озимой пшеницей и кукурузой, ЗАО им. Ленина

Активность инвертазы по шкале Д.Г. Звяинцева можно оценить как высокую. При этом по состоянию на 11.06.2014 активность данного показателя увеличивается, что связано с внесением минеральных удобрений (рисунок 34).

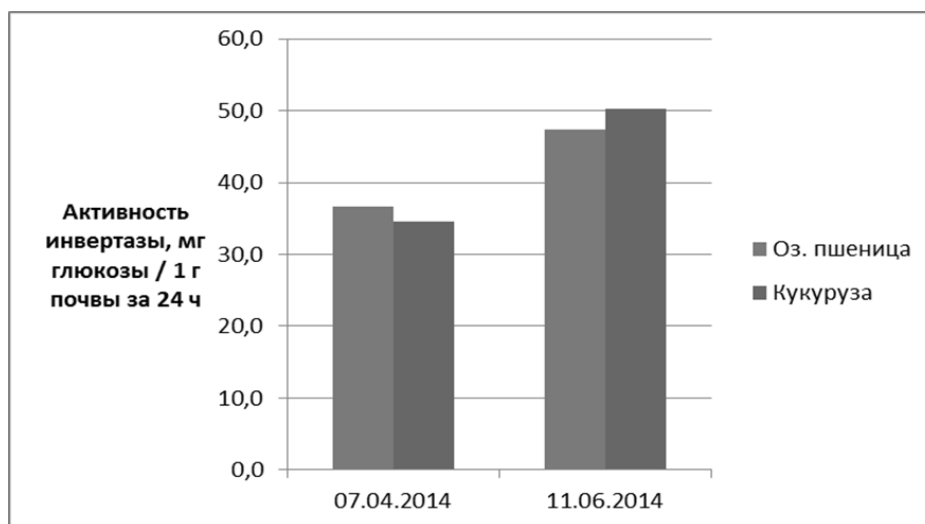


Рисунок 34 – Динамика активности инвертазы в почве под озимой пшеницей и кукурузой, ЗАО им. Ленина

Использование растениями минеральных удобрений влияет на повышение активности инвертазы (Галстян, 1974), однако, под действием минеральных удобрений, можно наблюдать снижение активности каталазы и пероксидазы. При этом, корреляционная связь между активностью инвертазы и коэффициентом структурности значительная ($r = 0,82$; $m_r = 0,17$; $t_r = 4,9$), с активностью каталазы – слабая.

В рамках изучения влияния гуминовых препаратов на биологическую активность почв, был проведен микробиологический анализ (рисунок 35), При обработке гуминовым препаратом ВЮ-Дон сезонное снижение численности ряда групп микроорганизмов в черноземе обыкновенном карбонатном, обусловленное почвенной засухой, оказалось сглаженным.

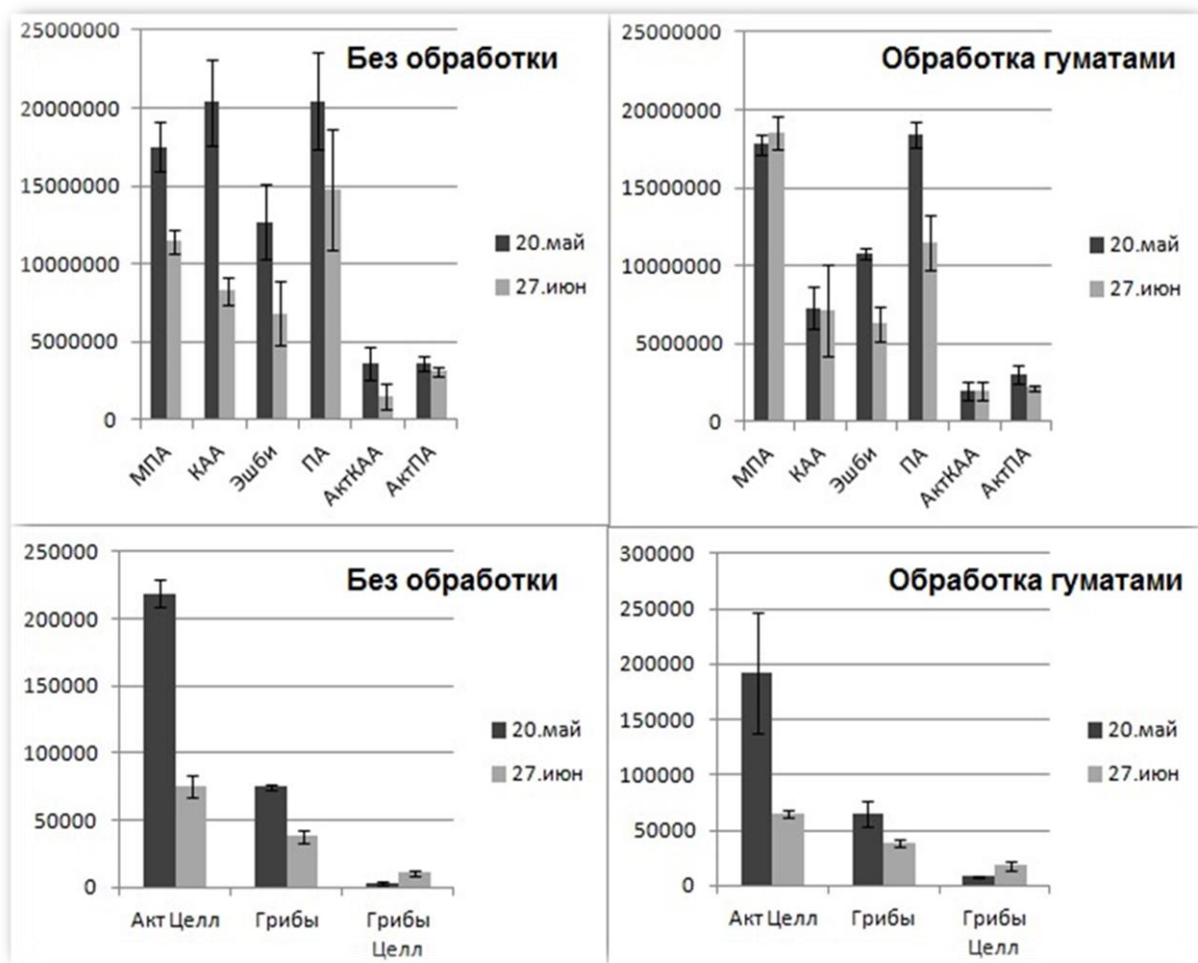


Рисунок 35 – Сезонная динамика численности ряда эколого-трофических групп микроорганизмов в черноземе обыкновенном карбонатном (предкавказском) на фоне обработки гуминовым препаратом сахарной свеклы

Так, по сравнению с весенним отбором достоверно не снизилась численность аммонификаторов (на среде МПА), аминокавитрофов (КАА) и актиномицетов, растущих на КАА. Численность почвенных микромицетов была по-прежнему ниже, чем в весенний период, но по сравнению с контролем сезонное снижение стало на 27 % меньше. Динамика ряда других групп на внесение гуминового препарата отреагировала незначительно – это олигонитрофильные микроорганизмы (Эшби), олиготрофы (ПА), актиномицеты, учитываемые на ПА, а также целлюлозолитические грибы и актиномице-

ты. По-видимому, такую картину можно объяснить тем, что для разных групп выраженность сезонного снижения численности связана с преобладающим вкладом различных факторов. Копиотрофные микроорганизмы сильно зависимы от поступления в почву свежего и легкодоступного органического вещества, в то время как олиготрофные и олигонитрофильные зависят от него в меньшей степени. Целлюлозолитические организмы используют труднорастворимый источник углерода – целлюлозу, и слабее реагируют на поступление легко доступной органики. Кроме того, вероятно, внесение гуминового препарата стимулирует корневую секрецию у растений, что положительно сказывается на копиотрофном звене микробоценоза почвы (рисунок 36). В то же время, для олиготрофных и использующих целлюлозу микроорганизмов данный эффект не компенсирует негативных воздействий абиотических факторов, и их численность остается сниженной.

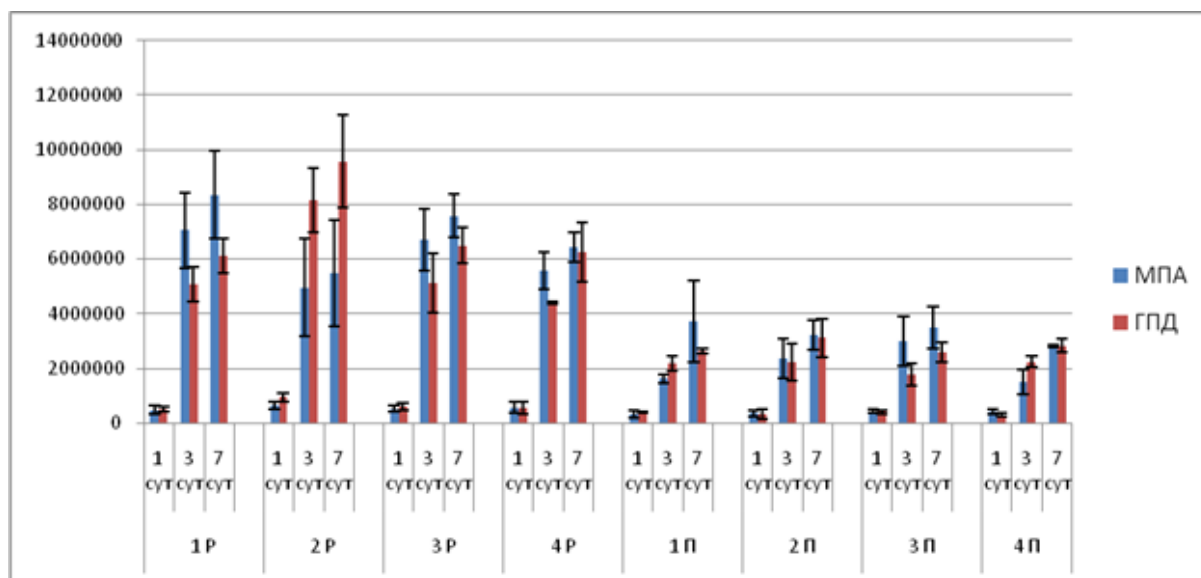


Рисунок 36 – Численность копиотрофных бактерий в ризосфере и окружающей почве перед началом кущения (чернозем обыкновенный карбонатный, озимая пшеница)

На графике (рисунок 36) отчетливо видно увеличение численности копиотрофов в ризосфере озимой пшеницы по сравнению с окружающей почвой. Отражена и тенденция к росту численности этих микроорганизмов на варианте с внесением гуминового препарата в почву, в то же время в вариантах 2 и 4 (обработка по листу) такой тенденции нет.

Корреляционный анализ между численностью аммонификаторов и водопрочностью структурных отдельностей показал наличие положительной значительной связи между этими показателями ($r = 0,52$; $m_r = 0,16$; $t_r = 3,3$).

Процессу гумификации и гумусообразованию способствует все то, что способствует получению устойчивых и высоких урожаев...

Д.С. Орлов Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М., 1990. С. 301

4. ВЛИЯНИЕ ГУМИНОВЫХ ПРЕПАРАТОВ НА УРОЖАЙНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

При обосновании целесообразности использования изучаемых удобрений и препаратов основными показателями являются урожайность и качество полученной сельскохозяйственной продукции. Несмотря на существующий недостаток сведений о влиянии гуминовых препаратов на агроэкосистемы, некоторые аспекты их применения изучены лучше других. Наибольшее количество работ рассматривает влияние гуматов на состояние сельскохозяйственных культур. При этом обработка гуматами обычно оказывает более выраженное действие на однодольные растения, по сравнению с двудольными (Canellas et al., 2015).

Положительное влияние гуминовых биопрепаратов на растения отмечалось, начиная с 50-х годов 20 века. Многочисленными исследованиями установлено положительное влияние гуминовых соединений на всхожесть, рост и развитие проростков при замачивании семян (Христева, 1950, 1957; Кононова, 1950; Кравец и др., 2011). И.М. Курбатов и соавторы (1968) отмечали, что гуминовые

кислоты стимулируют укоренение черенков томатов. Р.А. Егорова описала влияние гумата аммония на биометрические показатели зеленых культур, гороха и овса (Егорова и др., 2014). Обработка всходов льна-долгунца 0,01 % растворами гуматов натрия позволила получить выход дополнительной продукции по сравнению с минеральным фоном, который составил для соломки льна – 22,2 ц/га, для семян – 0,23 т/га (Виноградова, 2001).

Хорошие результаты были получены при обработке гуминовыми биопрепаратами зерновых культур. Так, исследования по применению стимуляторов роста на орошаемой пшенице на светло-каштановых солонцовых почвах севера Астраханской области (Россия) показали, что обработка гуминовым препаратом Лигногумат в виде подкормок в фазу кущения, выхода в трубку и цветения позволила получить прибавку урожая 1,4 т/га по сравнению с контролем (Бондаренко, 2014).

Краткосрочные мелкоделяночные опыты по внекорневой обработке пшеницы гуминовым препаратом на основе сапропеля, показали, что на высоком агрофоне обработка вегетирующих растений озимой пшеницы в фазу кущения этим удобрением в дозе 2 л/га дает достоверное увеличение выхода основной и побочной продукции. Препарат способствовал увеличению содержания белка в зерне, а также возрастанию концентрации ряда биогенных элементов в зерне и соломе (Панасин, Рымаренко, 2012).

Стимуляция растений гуматами при обработке по листу показана для таких культур, как картофель (Azam Shah et al., 2016; Suh et al., 2014), озимая пшеница (Полиенко и др., 2015), виноград (Abdel-Salam, 2016), салат (Hernandez et al., 2015), лук (Bettoni et al., 2016).

К настоящему моменту сложно найти культивируемое растение, для которого не было бы исследовано стимулирующее влияние гуминовых кислот. Тем не менее, до сих пор нет ясного представ-

ления о механизме их действия. В основном, существующие исследования концентрируются на конечных проявлениях эффектов применения гуминовых препаратов, заключающихся в увеличении биомассы, урожайности, длины побегов, числа боковых корней и подобных показателях. Так, было показано, что опрыскивание растений растворами гуминовых кислот в условиях водной культуры приводило к увеличению массы, как побегов, так и корней, причем влияние на корни было выражено сильнее. Предполагается, что основное влияние оказывают низкомолекулярные компоненты, отделяющиеся от гуминовых кислот и проникающие в клетки растений, что приводит к увеличению поглощения элементов минерального питания (Flaig, 1965; Chen et al., 1990). Обработка томатов растворами, как гуминовых кислот, так и фульвокислот, приводила к достоверному увеличению биомассы побегов и плодов, а также повышенному поглощению элементов минерального питания. При этом не наблюдалось прямой зависимости от дозы, более того, обработка препаратами в концентрации 8 л/га приводила к более выраженному эффекту, чем применение дозы 80 л/га, хотя в обоих вариантах наблюдалась прибавка по сравнению с контролем (Patti et al., 2013). При изучении влияния гуминовых препаратов на посевные качества семян, урожайность и качество лука репчатого установлена сортовая отзывчивость растений лука репчатого на предпосевную обработку луковиц и полив раствором регулятора роста. Гуминовые препараты продлевали активную деятельность листового аппарата, что способствовало росту фотосинтетического потенциала листьев, увеличивались линейные размеры луковиц, и существенно повышалась урожайность (Литвиненко и др., 2015). Данные результаты подтверждают существование сложного регуляторного механизма в воздействии гуминовых веществ на растения.

Данные по урожайности, полученные нами в условиях мелкоделяночного полевого эксперимента, представлены в таблице 29.

В целом урожайность озимой пшеницы в 2010 г. была немного ниже, чем в 2012 г. Это объясняется не совсем благоприятными для этой культуры погодными условиями осеннего периода 2009 года. Посев был проведен в первой декаде октября после того, как только в конце сентября выпали осадки, по данным областного гидрометеорологического центра, причем, ниже нормы

Таблица 29 – Урожайность зерновых культур и прибавка от внесения удобрений и лигногумата, ц/га

Вариант	2010: озимая пшеница		2011: яровой ячмень		2012: озимая пшеница	
	урожай- жай- ность	при- бавка	урожай- ность	при- бавка	урожай- жай- ность	при- бавка
Контроль	28,9	-	15,1	-	30,9	-
Фон (ЖКУ)	29,4	+0,5	10,7	-4,4	31,0	+0,1
Фон + Лигногумат (обработка по листу)	35,4	+6,5	17,3	+2,2	34,4	+3,5
Фон + Лигногумат (внесение в почву)	36,6	+7,7	21,7	+6,6	37,7	+6,8
НСР _{0,95}		2,0		4,4		3,1

В зиму растения ушли средне раскустившимися, что в дальнейшем отрицательно сказалось на величине урожайности озимой пшеницы. Внесение удобрений и биологически активных веществ положительно сказалось на урожайности пшеницы. Наибольшая прибавка (+7,7 ц/га по сравнению с контролем) оказалась в варианте с внесением гуминового удобрения в почву. Озимая пшеница, посеянная в конце первой декады сентября 2011 г. в хорошо увлажненную почву, укоренилась перед началом холодов, раскустилась и успешно перезимовала. Поэтому озимая пшеница сформировала более высокую урожайность, чем в 2010 году. Несмотря на благоприятные

условия, отзывчивость на последствие внесения удобрений была существенной. В отличие от 2010 г. прибавка урожая в 4 варианте составила 6,8 ц/га. Но этот факт как раз хорошо согласуется с литературными данными. Известно, что именно в менее благоприятных условиях отзывчивость растений на гуминовые удобрения и препараты выше (Flaig, 1967; Христева, 1950, 1977; Егорова и др., 2014).

В таблице 30 показаны результаты определения качества зерна озимой пшеницы по таким важным показателям, как клейковина и сырой протеин.

Таблица 30 – Влияние удобрений и биологически активных веществ на качество озимой пшеницы

Годы	2010				2012			
	клейковина, %	Δ	протеин, %	Δ	клейковина, %	Δ	протеин, %	Δ
Контроль	19,34	-	12,25	-	20,28	-	13,3	-
Фон (ЖКУ)	20,25	+0,91	12,59	+0,34	22,01	+1,73	14,6	1,3
Фон + Лигногумат (обработка по листу)	19,84	+0,5	13,31	+1,06	22,9	+2,62	13,05	0,25
Фон + Лигногумат (внесение в почву)	19,37	+0,03	9,99	+2,26	23,33	+3,05	13,63	0,33
НСР 0,95		0,02		0,01		2,46		0,25

Примечание: Δ – разница с контролем, ±.

Применение удобрений улучшает качество озимой пшеницы. Наибольший процент содержания клейковины в зерне озимой пшеницы урожая 2010 г. содержится при использовании гуминового удобрения по листу. Наивысший процент протеина наблюдается

в 3 варианте при использовании гуминового удобрения по листу, причем это подтвердилось статистически. Однако в варианте 4 наблюдается минимальное содержание протеина. В урожае, полученном в 2012 г., качество зерна выше из-за благоприятных погодных условий перед посевом и хорошей перезимовки. Более высокое содержание клейковины объясняется в основном сложившимися метеорологическими условиями конца вегетации озимой пшеницы: выпадающими осадками, не резкой сменой температурного режима. Процент протеина также выше, чем в 2010 г. Лигногумат аналогично проявил себя и в 2011 году на другой зерновой культуре – яровом ячмене, а именно: способствовал повышению содержания протеина в зерне, но лишь на уровне тенденции (таблица 31).

Таблица 31 – Влияние удобрений и биологически активных веществ на качество ярового ячменя, 2011 г., $t_{st}=2,18$ при $P=0,95$; $n=12$

Вариант	Протеин, %	Разница с контролем, ±	Td
Контроль	13,91	-	-
Фон (ЖКУ)	13,94	0,03	0,08
Фон + Лигногумат (обработка по листу)	14,08	0,17	0,57
Фон + Лигногумат (внесение в почву)	13,97	0,06	0,20
НСР 0,95		0,17	

Данный тренд прослеживается и при использовании другого гуминового препарата – ВЮ-Дона в производственном эксперименте на территории ФГБНУ ДЗНИИСХ (таблица 32). Эксперимент показал, что прибавка урожайности озимой пшеницы при использовании удобрения ВЮ-Дон составила от 2,2 до 12,8 ц/га, то есть до 35 % по сравнению с фоном – минеральным питанием согласно рекомендациям технологической карты для данной зоны.

Погодные условия года вносят корректировку, и степень эффективности того или иного приема использования гуминового препарата менялась. Так, если в 2014 и 2016 году наиболее эффективным было сочетание предпосевного внесения препарата в почву с двукратной обработкой посевов по листу, то в 2015 году большая прибавка была получена на варианте 3, где гуминовый препарат применялся только для обработки по вегетирующим растениям. В то же время и вариант 4 дал достаточно высокую прибавку в урожайности озимой пшеницы.

Таблица 32 – Урожайность озимой пшеницы Донэко при использовании гуминового препарата ВЮ-Дон (2014 г.) и Донская лира (2015-2016 гг.)

Вариант	2014 год		2015 год		2016 год	
	ц/га		ц/га		ц/га	
	урожай- ность	при- бавка	урожай- ность	при- бавка	урожай- ность	при- бавка
Фон	35,5	-	47,5	-	35,4	
Фон + предпосевное внесение в почву ВЮ-Дона	42,4	+6,9	51,9	+4,4	37,6	+2,2
Фон + 2-кратная обработка посевов ВЮ-Доном (в фазу кущения и выхода в трубку)	46,0	+10,7	57,0	+9,5	39,4	+4,0
Фон + предпосевное внесение в почву ВЮ-Дона + 2-кратная обработка посевов ВЮ-Доном (в фазу кущения и выхода в трубку)	48,3	+12,8	55,3	+7,8	42,4	+7,0
НСР _{0,05}		3,9		6,9		2,7

Сравнивая эффективность применения удобрения по годам, нельзя не отметить такую закономерность: чем засушливее год, тем выше отдача от гуминового препарата (рисунок 35).

Согласно данным представленным в таблице 32 и на рисунке 37, максимальная урожайность наблюдается на варианте 3 (Фон + 2-кратная обработка растений) – 57 ц/га в 2015 году, когда вегетационный год сложился оптимально: хорошая обеспеченность осадками предпосевного периода (сентябрь) позволила в осенний период растениям достаточно хорошо развиваться. Весна также характеризовалась лучшей обеспеченностью влагой, чем предыдущий вегетационный сезон. Как следствие, отзывчивость на гуминовый препарат оказалась ниже, что вполне согласуется с литературными данными.

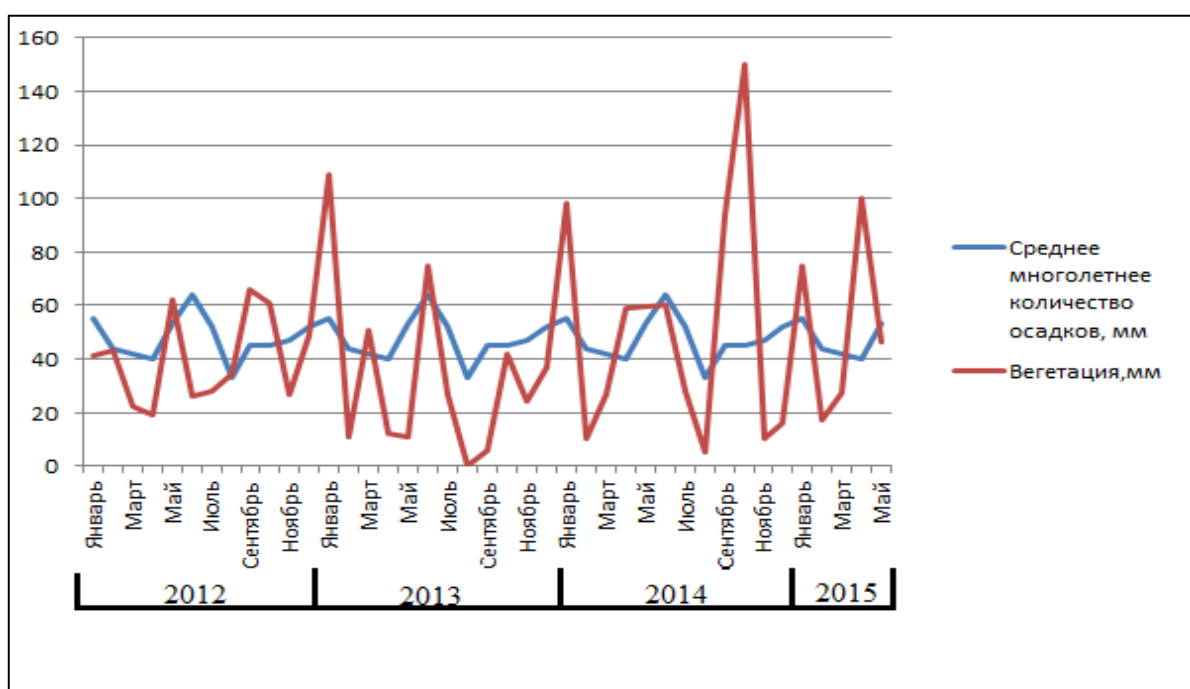


Рисунок 37 – Количество осадков за период вегетации озимой пшеницы Донэко и Донская лира на стационаре ФГБНУ «ДЗНИИСХ», мм

Расчет экономической эффективности от применения гуминового препарата был сделан для условий 2014 года, когда была

получена максимальная эффективность от его использования (таблица 33).

Таблица 33 – Экономическая эффективность использования гуминового препарата ВЮ-Дон при возделывании озимой пшеницы Донэко

Вариант	Зерно			Затраты на 1 га, руб.
	ц/га	Прибавка		
		ц/га	%	
Фон (припосевное внесение Диаммофоска- 10:26:26 – 30 кг/га; весенняя подкормка- аммиачная селитра 100 кг/га)	35,5	-	-	-
Фон + предпосевное внесение в почву ВЮ-Дона	42,4	6,9	19,4	80
Фон + 2-кратная обработка посевов ВЮ-Доном (в фазу кущения и выхода в трубку)	46	10,5	29,6	160
Фон + предпосевное внесение в почву ВЮ-Дона + 2-кратная обработка посевов ВЮ-Доном (в фазу кущения и выхода в трубку)	48,3	12,8	36,1	240
НСР _{0,05}		3,9		

Максимально эффективным способом при сложившихся в 2014 году погодных условиях, как уже было отмечено, был вариант совмещения предпосевного внесения и двукратной обработки по листу. При данной комбинации была получена прибавка в 12,8 ц/га. При использовании данного способа применения гуминового удобрения на всем поле площадью 48 га было бы получено дополнительно 61,44 т зерна, при стоимости на рынке семян озимой пшеницы Донэко (суперэлита) 16 500 руб/т (источник: <http://zerno.avz.ru>) экономическая эффективность в рублях составила бы 1 014 тыс. рублей.

Таким образом, эффективность применения гуминовых препаратов зависит от дозировки, способа его применения (обработка семян, внесение в почву, внекорневая обработка растений, или сочетание этих приемов), почвенно-климатических условий, вида сельскохозяйственной культуры. Одной из причин положительного влияния гуминового препарата на сельскохозяйственные растения является корректировка содержания доступных форм фосфора. Другой – улучшение агрофизического состояния почвы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, многочисленные работы по изучению влияния гуминовых веществ на широкий спектр сельскохозяйственных культур показали, что гуматы, несомненно, стимулируют рост и развитие растений, повышают их сопротивляемость к негативным воздействиям окружающей среды. При этом чрезвычайно важным оказывается подбор оптимальной дозировки, способа внесения и учет фенологической фазы растений. Применение гуминовых удобрений позволяет растениям легче переносить недостаток или избыток влаги, заморозки, повышает сопротивляемость растений к различным заболеваниям, нивелирует отрицательное воздействие пестицидов. Исследования подтверждают перспективность использования гуминовых препаратов в растениеводстве с целью повышения урожайности и качества продукции.

Значительно меньше известно о том, как гуминовые вещества действуют на состояние почвы. Особенно если они в составе гуминовых препаратов используются для фоллиарной обработки растений. Ранее нами было показано, что гуминовые препараты усиливают процессы мобилизации фосфора в черноземе обыкновенном карбонатном, черноземе южном, темно-каштановой почве (Безуглова и др., 2019). Иными словами достоверное увеличение содержания подвижных форм фосфора в почве под влиянием гуминового препарата наблюдается во всех агробиоценозах независимо от типа почвы, особенностей выращиваемых растений, и фазы, в которую проводились наблюдения (кущение, выход в трубку, созревание зерна). Повышенная мобилизация фосфора обусловлена усилением микробиологической и биохимической активности почвы, что

связано, вероятнее всего, с влиянием корневых выделений растений, обработанных гуминовым препаратом.

Однако наблюдается не только оптимизация питательного режима, но и изменение структурного состояния почвы. В пахотном слое чернозёма обыкновенного карбонатного до начала эксперимента с гуминовым препаратом преобладают агрономически неценные отдельности: крупные агрегаты размером более 10 мм, и пылеватая фракция размером менее 0,25 мм. При последующих отборах на вариантах с внесением лигногумата в почву и по листу наблюдается постепенное сокращение доли пылеватых и глыбистых фракций в пользу агрономически ценных структурных отдельностей размером от 0,5 мм до 0,25 мм. По сравнению с контролем варианты с внесением гуминового препарата характеризуются меньшей долей глыбистой фракции: 17 % на варианте «лигногумат по листу», 12 % – на варианте «лигногумат в почву», 18,6 % – на контроле. Также меньше по сравнению с контролем доля агрегатов пылеватой фракции на варианте с внесением лигногумата в почву (18 % – контроль, 14 % – лигногумат в почву).

Применение гуминовых препаратов благоприятно сказывается на устойчивости к сезонному ухудшению структурности чернозема обыкновенного карбонатного: сезонное изменение соотношения фракций структурного состояния на вариантах с гуминовым препаратом не такое сильное, как на фоне. Критерий АФИ показал, что на вариантах с внесением гуминового препарата происходит улучшение состояния структуры: при внесении гумата в почву критерий АФИ к моменту уборки возрастает с 99 до 105, на варианте с обработкой растений – с 94 до 170, на варианте с 2-х кратной обработкой – с 93 до 172. Таким образом, гуминовый препарат способствует улучшению водоустойчивости почвы от удовлетворительного состояния до хорошего. Данная закономерность подтвердилась

также при проведении испытаний на черноземе южном и на темно-каштановой почве.

При многолетнем использовании гуминового препарата изучение коэффициентов структурности и водопрочности в динамике – от начала эксперимента и до прекращения внесения препаратов показало, что наблюдается сокращение доли агрономически неценных отдельностей по всему полевому опыту, однако на контроле данный процесс проходит не так интенсивно. На контроле коэффициенты структурности и водоустойчивости изменились за два года соответственно с 0,69 и 63 %, до 1,7 и 79 %. В то время как на вариантах с применением лигногумата данные показатели возросли вдвое. Одновременно с уменьшением доли агрономически неценных отдельностей, произошел прирост количества наиболее ценных агрегатов – размерами от 0,5 мм до 5 мм.

Структурное состояние коррелирует с биологической активностью почвы, теснота связи между показателями ферментативной активности и состоянием структуры оценивается от слабой до значительной. Установлено наличие прямой связи средней силы между величиной коэффициента структурности и активностью каталазы ($r = 0,51$; $m_r = 0,107$; $t_r = 4,82$) и прямой сильной связи между коэффициентом водопрочности агрегатов и активностью инвертазы ($r = 0,704$; $m_r = 0,072$; $t_r = 9,78$) в черноземе обыкновенном карбонатном. В черноземе южном была отмечена положительная сильная связь между коэффициентом структурности и активностью инвертазы ($r = 0,700$; $m_r = 0,11$; $t_r = 6,15$). В темно-каштановой почве этот показатель был еще выше ($r = 0,82$; $m_r = 0,17$; $t_r = 4,9$). Однако такие значительные зависимости обнаруживаются не всегда, теснота связи обусловлена также влиянием погодных условий и культуры.

Установлена зависимость между состоянием структуры и микробиологической активностью: численность аммонификаторов

и водопрочность структурных отдельностей показали наличие положительной средней связи ($r = 0,52$; $mr = 0,16$; $tr = 3,3$). Применение гуминового препарата стимулирует корневую секрецию у растений, что положительно сказывается на копиотрофном звене микробоценоза, и, опосредованно, на структурном состоянии почвы.

Применение гуминового препарата ВЮ-Дон под озимую пшеницу способствует получению более высоких урожаев зерна, по сравнению с контрольным (фоновым) вариантом: прибавки по сравнению с фоном в разные годы в зависимости от способа использования препарата составили от 2,2 до 12,8 ц/га. Наиболее эффективно сочетание предпосевного внесения гуминового препарата в почву с двукратной обработкой им посевов в фазы «кущение» и «выход в трубку». Положительное влияние гуминового препарата на сельскохозяйственные растения обусловлено не только известными ранее причинами физиологического характера, но и изменением под действием гуминового препарата почвенной обстановки: усилением биологической активности почвы, корректировкой содержания доступных форм фосфора, улучшением агрофизического состояния почвы.

Таким образом, гуминовые вещества являются структурообразующей частью почвы, но не инертной, они принимают непосредственное и самое активное участие в функционировании как наземных, так и водных экосистем. Согласно образному выражению Verbara и García (2014), гуминовые вещества являются своеобразной “памятью” растительного покрова и микробных сообществ почвы. Они находятся в постоянном взаимодействии с организмами, населяющими почву, являются одновременно продуктами микробного метаболизма, и источником новых веществ, обладающих биологической активностью. При этом они влияют как на растения, так и на микроорганизмы, и опосредованно на

почву, выполняя одновременно средообразующие, защитные и регуляторные функции.

К настоящему моменту можно констатировать, что использование этих уникальных природных соединений в виде удобрений и препаратов носит во многом эмпирический характер. Несмотря на длительную историю изучения гуминовых соединений, и накопленный опыт применения их практически на всех известных сельскохозяйственных культурах, до сих пор остается немало белых пятен в понимании механизмов их действия. Это влечет за собой сложности в подборе оптимальных дозировок, отсутствие ясного понимания схемы и сроков обработки для каждой отдельно взятой культуры.

Тем не менее, положительное воздействие гуминовых удобрений и препаратов на почвенные свойства, и в частности, на структурное состояние, убеждает в необходимости гораздо более широкого их использования в растениеводстве и земледелии с целью как получения более высоких и устойчивых урожаев, так и повышения уровня почвенного плодородия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абросимова Л. Н., Ревут И. Б. Биологическая активность и состав воздуха пахотного слоя // Почвоведение, 1964. № 7. С. 34–35.
2. Азаров В.И., Буров А.В., Оболенская А.В. Химия древесины и синтетических полимеров: учебник для ВУЗов. СПб.: СПбЛТА, 1999. 628 с.
3. Александрова И.В. О физиологической активности гумусовых веществ и продуктов метаболизма микроорганизмов // Органическое вещество целинных и освоенных почв. М.,1972. С.30–69.
4. Александрова Л. Н. Гумус как система полимерных соединений // Труды юбилейной сессии, посвященной 100-летию со дня рождения В.В. Докучаева. М.-Л., 1949. С. 225–232.
5. Анспок П.И. Микроудобрения. Л.: Колос, 1978. 272 с.
6. Антипов-Каратаев И. Н. Физико-химические исследования почв. М.–Л.: 1939. 123 с.
7. Антипов-Каратаев И.Н. О почвенном агрегате и методах его исследования. М.- Л.: АН. СССР, 1948. 83 с.
8. Антипов-Каратаев И. Н. Физико-химические исследования почв. Адсорбционные и изотопные методы. М.: Наука, 1966. 200 с.
9. Апарин Б. Ф. Почвоведение. М.: ИЦ «Академия», 2012. 272 с.
10. Аристовская Т.В., Чугунова М.В.. Экспресс-метод определения биологической активности почв //Почвоведение, 1989. № 11. С. 142–147.
11. Артемьева З.С. Органическое вещество и гранулометрическая система почвы. М.: ГЕОС, 2010. 240 с.
12. Афонин М.И. Слово о пользе, знании, собирании и расположении чернозему особливо в хлебопашестве. М.: печатано при Императорском Московском Университете, 1771. 28 с.

13. Бакшеев В.Н. Обоснование технологий и технических средств для добычи и использования сапропеля в сельскохозяйственном производстве. Автореф. ... д.с.-х. наук. Новосибирск, 1996. 40 с.
14. Безносиков В.А. Трансформация азотных удобрений и влияние их на физико-химические свойства подзолистых почв и продуктивность агроценоза // Агрохимия, 1997. № 4. С. 5–12.
15. Безуглова О.С. Гумусное состояние почв юга России. Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦВШ, 2001. 228 с.
16. Безуглова О.С. Гуминовые удобрения и стимуляторы роста: Учебно-методическое пособие. Ростов-на-Дону, 2009. 53 с.
17. Безуглова О.С., Лыхман В.А., Горюцов А.В., Полиенко Е.А. Влияние гуминового удобрения на структуру и микробиологическую активность чернозёма южного под различными культурами // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 17, №6. 2015. С.164–168. http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2015/2015_6_164_168.pdf
18. Безуглова О.С., Лыхман В.А., Отрадина Л.Н. Влияние биологически активных веществ на содержание гумуса в черноземе обыкновенном карбонатном // Наследие И.В.Тюрина в современных исследованиях в почвоведении: мат. междунар. научн. конф., Казань, 15–17 октября 2013 г. Казань: Отечество, 2013. С. 29–32.
19. Безуглова О.С., Полиенко Е.А., Горюцов А.В., Лыхман В.А. Способ получения жидкого гуминового препарата. Патент на изобретение №2612210 от 10.02.2017 // Изобретения. Полезные модели. Официальный бюллетень Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. №7. 2017. С 1–7.
20. Безуглова О.С., Полиенко Е.А., Горюцов А.В., Лыхман В.А. Влияние гуминовых препаратов на почвы и растения. Ростов-

- на-Дону – Таганрог: Изд-во Южного федерального университета, 2019. 154 с.
21. Безуглова О. С., Хырхырова М. М. Почвы Ростовской области. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2008. 352 с.
 22. Бирецкий М. Повышение плодородия легких почв Польши // Докл. на науч.-метод. совещ. по повышению плодородия и производительности легких почв. Минск: Минсельхоз БССР, Акад.с.-х. наук, 1959. 31 с.
 23. Бондаренко А.Н. Научно обоснованное применение современных агроприемов при возделывании зерновых культур в условиях бурых полупустынных почв Астраханской области// Сб. докладов Междунар. научно-практ. конф. молодых ученых и специалистов, НИИСХ Юго-Востока Россельхозакадемии, Саратов, 2014. С. 337–341.
 24. Брыкалов А.В., Гладков О.А., Романенко Е.С., Иванова Р.Г. Лигногумат: миф и реальность. Ставрополь, 2005. 108 с.
 25. Булынецв С.В. Нут. 2001. <http://www.olegmoskalev.ru/agro/technologij/82.html>
 26. Бушинский В.П. Коренная переделка почв – основа создания эффективного их плодородия // Сборник памяти акад. В.Р. Вильямса. М., 1942. С.41–62.
 27. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
 28. Вальков В. Ф. Генезис почв Северного Кавказа. Ростов-на-Дону, 1977. 160 с.
 29. Верховцева Н.В., Милановский Е.Ю., Шеин Е.В., Тюгай З.Н. Распределение микроорганизмов и гумусовых веществ по гранулометрическим и агрегатным фракциям чернозема // Почвы – национальное достояние России: материалы IV съезда Общест-

- ва почвоведов им. В.В. Докучаева. Кн.1. Новосибирск: Наука-Центр, 2004. С. 30–32.
30. Вершинин П. В. Методы определения размываемости почв при помощи объективного нефелометра // Доклады ВАСХНИЛ, 1939. № 8. С. 32–40.
 31. Вершинин П. В. Формирование почвенной структуры: Автореф. дисс. ... доктора с.-х. наук, 1953. 30 с.
 32. Вершинин П.В., Константинова В.П. Физико-химические основы искусственной структуры почв. М.-Л.: Сельхозгиз, 1935. 180 с. (Основные проблемы физики почв / Под общ. ред. акад. А.Ф. Иоффе; вып. 2).
 33. Вершинин П.В., Константинова В.П. Пористость и удельная поверхность почвенных агрегатов // Труды лаборатории физики почв АФИ, 1937. Вып. 2. С. 15–24.
 34. Вершинин П.В., Константинова В.П. Явления водоустойчивости и сопротивления сжатию почвенных образцов в зависимости от влажности затворения // Почвоведение, 1937. № 2. С. 11–24.
 35. Вершинин П.В., Ревут И.Б. Новый метод определения размываемости почв // Труды по агроном. физике, вып. 5. М.-Л.: Сельхозгиз, 1951. С. 20–27.
 36. Виленский Д.Г. и др. Систематическое описание почв Мещерской низменности // Исследование природных условий сельского хозяйства Мещерской низменности. М.: Изд-во МГУ, 1961. С. 22–109.
 37. Вильямс В.Р. Общее земледелие. Изд. студентов Петровской сельскохозяйственной академии, 1919. 219 с.
 38. Вильямс В. Р. Прочность и связность структуры почв // Почвоведение, 1935. № 5—6; Собр. соч., т. VII, стр. 160...161.
 39. Вильямс В. Р. Травопольная система земледелия. Труды, т. VII. Сельхозгиз, 1952. 117 с.

40. Вильямс В.Р. Работы по почвоведению (1898–1931) / под ред. В.П. Бушинского/ // Избранные сочинения. Том 1. М.: Издательство Академии Наук СССР, 1950. 792 с.
41. Виноградова В.С. Агроэкологическое обоснование повышения урожайности сельскохозяйственных культур и качества продукции при использовании нетрадиционных органических удобрений и гуминовых препаратов в условиях Центрального района Нечерноземной зоны России. Дис. ... доктора с.-х. наук. Кострома, 2001. 269 с.
42. Владыченский С.А., Лебедева Н.Л. Строение макроагрегатов некоторых южных чернозёмов // Почвоведение, 1949. № 10. С. 5–19.
43. Воеводина Л.А. Структура почвы и факторы, изменяющие ее при орошении // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, 2016. № 1(21). С.134–154. http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec1068-field12.pdf
44. Волков О.И. Влияние корневых выделений прорастающих семян ячменя (*Hordeum vulgare* L.) на качественный и количественный состав органических компонентов почвы // Журнал общей биологии, 2010. Том 71, № 4. С. 359–368.
45. Володько И.К. Микроэлементы и устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды. Минск: Наука и техника, 1983. 192 с.
46. Воробьев С.А., Буров Д.И., Туликов А.М. Земледелие. М.: Колос, 1977. 479 с.
47. Воробьев С. А., Шваров Ю. В. Программы для обработки поисковых геохимических данных на микрокалькуляторе «Электроника БЗ-21» // Методы разбраковки и оценки перспектив геохимических аномалий и аномальных площадей. Магадан, 1982. 102 с.
48. Вронский В.А. Прикладная экология. М.: Мир, 1998. 450 с.

49. Гаврилюк Ф.Я., Безуглова О.С. Особенности гумусообразования и качественный состав гумуса // Научные основы рационального использования и повышения производительности почв Северного Кавказа. Ростов-на-Дону, 1983. С.74–89.
50. Гаврилюк Ф.Я., Вальков В.Ф., Клименко Г.Г. Генезис и бонитировка черноземов Нижнего Дона и Северного Кавказа // Научные основы рационального использования и повышения производительности почв Северного Кавказа. Ростов-на-Дону, 1983. С. 10–73.
51. Галстян А.Ш. Об активности ферментов и интенсивности дыхания почвы // Доклады АН СССР, 1959. Т. 127. № 5. С. 1092–1102.
52. Галстян А. Ш. Ферментативная активность почв Армении. Ереван: Айастан, 1974. 275 с.
53. Галстян А.Ш. Унификация методов исследования активности ферментов почв // Почвоведение, 1978. № 2. С. 107–114.
54. Гедройц К. К. Коллоидальная химия в вопросах почвоведения. В 2-х чч. Ч. 1. Коллоидальные вещества в почвенном растворе. Образование соды в почве. Солонцы и солончаки. СПб.: Бюро по земледелию и почвоведению Уч. комиссии Гл. упр-я землеустройства и земледелия, 1912. 58 с.
55. Гедройц К.К. Положение вопроса о структуре почвы // Избранные научные труды. М.: Наука, 1975. С. 558–568.
56. Гельцер Ф.Ю. Значение микроорганизмов в образовании пористой и прочности структуры почвы. М.: Сельхозгиз, 1940. 120 с.
57. Гельцер Ф.Ю. Влияние бактериализации семян трав на урожай трав и накопление почвенной структуры почвы // Почвоведение, 1945. № 8. С.35–39.
58. Головина Л.П., Лысенко М.Н., Барнаш З.С., Котвицкий Б.Б. Биологический круговорот микроэлементов под сельскохозяйственными культурами на дерново-подзолистых почвах в Полесье УССР // Химия в сельском хозяйстве, 1984. Т. 12, № 2. С. 20–24.

59. Гончарова Л.Ю., Безуглова О.С., Вальков В.Ф. Сезонная динамика содержания гумуса и ферментативной активности чернозема обыкновенного карбонатного // Почвоведение, 1990. №10. С.86–93.
60. Горовая А.И. Роль физиологически активных гуминовых веществ в адаптации растений к действию ионизирующей радиации и пестицидов // Гуминовые вещества в биосфере. М.: Наука, 1993. С. 144–151.
61. Горовая А.И., Орлов Д.С., Щербенко О.В. Гуминовые вещества. Строение, функции, механизм действия, протекторные свойства, экологическая роль. Киев: Наукова думка, 1995. 302 с.
62. Горовцов А.В., Безуглова О.С., Полиенко Е.А., Лыхман В.А. Влияние культуры-предшественника на микробиологическую активность почвы под озимой пшеницей на фоне внесения гуминового препарата // Сб. мат. Междунар. науч.-практ. конф. «Научное обеспечение агропромышленного комплекса на современном этапе». Рассвет, 2015. С. 207–213.
63. Горовцов А.В., Безуглова О.С., Полиенко Е.А., Наими О.И., Лыхман В.А. Способ получения комбинированного бактериально-гуминового препарата для разложения пожнивных остатков: Патент РФ № 2728391 29.07. 2020.
64. Грабовец А.И., Фоменко М.А. Озимая пшеница /ред. А.И. Грабовец. Ростов-на-Дону: Юг, 2007. 543 с.
65. Гречин И. П., Кауричев И. С., Никольский Н. И., и др. Практикум по почвоведению. Учебное пособие для высших сельскохозяйственных заведений. М.: Колос, 1964. 424 с.
66. Грязнов А.А. Ячмень Карабалыкский (корм, крупа, пиво). Кустанай, 1996. 448 с.
67. Дегтярев В.В. К вопросу об адгезионном и когезионном поглощении гумуса минеральной частью почв// Сб. научн. тр. Харьков. СХИ. 1984. С. 89–90.

68. Демин В.В., Бирюков М.В., Семенов А.А., Завгородняя Ю.А. Природа биологического действия гуминовых веществ. Часть 2. Локализация биопротекторного действия гуминовых веществ в почвах // Доклады по экологическому почвоведению, 2006. Вып. 1, № 1. С. 80–91.
69. Дерягин Б.В., Абрикосова И.И. Прямые измерения молекулярного притяжения твердых тел, части 1—2. // Журнал экспериментальной и теоретической физики, 1956. Т. 30, вып. 6, т. 31, вып. 1 (7). С. 993–1006.
70. Добровольский Г.В., Можарова Н.В., Палечек Л.А., Терешина Т.В. Практикум по географии почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1984. 224 с.
71. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Функции почв в биосфере и экосистемах. М.: Наука, 1990. 261 с.
72. Докучаев В.В. Русский чернозем // Избранные сочинения. Том 1. Русский чернозем. М., 1945. С. 328.
73. Докучаев В.В. Лекции по почвоведению. Третья лекция // Избранные соч., Т.3. М., 1949. С.354
74. Докучаев В.В. Учение о зонах природы и классификация почв // Соч., т. 6. М.-Л., 1951. С. 17–42.
75. Дорохова Е.Н., Прохорова Г.В. Аналитическая химия. Физико-химические методы анализа. 1991. 255 с.
76. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
77. Егорова Р.А., Чимитдоржиева Г.Д., Андреева Д.Б., Чимитдоржиева Э.О., Давыдова Т.В. Влияние гумата аммония на биометрические показатели сельскохозяйственных культур // Материалы Международной конференции «Проблемы и перспективы биологического земледелия»: п. Рассвет, 23-25 сентября 2014. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2014. С. 127–129.

78. Звягинцев Д.Г. Взаимосвязь микроорганизмов с твердыми поверхностями. М.: Изд-во МГУ, 1973. 176 с.
79. Зубкова Т. А., Карпачевский Л. О. Матричная организация почв. М.: Рузаки, 2001. 295 с.
80. Ибрагимова К. К. Экология и охрана природы. Словарь-справочник. М., 2005. 501 с.
81. Изосимов А.А. Физико-химические свойства, биологическая активность и детоксицирующая способность гуминовых препаратов, отличающихся генезисом органического сырья: дис... к.б.н. М.: МГУ, 2016. 156 с.
82. Ильин В.Б. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 229 с.
83. Ильин И.Р. Содержание свободного и связанного воздуха в почвенных агрегатах // Почвоведение, 2006. № 2. С. 190–198.
84. Ильинова М.И. Изменение свойств черноземов и солонцов Ставропольской возвышенности при сельскохозяйственном использовании. Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Краснодар, 2009. 24 с.
85. Калашник Г.И. Эффективность жидких форм азотных удобрений при возделывании яровой пшеницы и кукурузы в условиях лесостепи Заволжья. Дисс. ... канд с.-х. наук. Кинель, 2002. 232 с.
86. Касимова Л.В., Порываева О.В. Органическое вещество торфа. Микробиологическая активация торфа как основа создания нового вида органического удобрения. ГНУ СибНИСХиТ РАСХН, 2004. 294 с.
87. Качинский Н.А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы ее изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 150 с.
88. Качинский Н.А. Физика почвы. Ч.1. М.: Высшая школа, 1965. 257 с.

89. Качинский Н.А., Мосолова А.И., Таймуразова Л.Х. Использование полимеров для оструктурирования и мелиорации почв // Почвоведение, 1967. № 12. С. 98–106.
90. Келлерман В.В. Физико-химические свойства водоустойчивых агрегатов в различных типичных почвах СССР // Тр. Почвенного ин-та: Вопросы физико-химии почв и методические исследования // М.: Изд-во АН СССР, 1959. С. 3–104.
91. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 343 с.
92. Ковалев И.В. Биохимия лигнина в почвах. Автореф. дисс. ... доктора с.-х. наук. М., 2015. 50 с.
93. Когут Б.М., Сысуев С.А., Холодов В.А. Водопрочность и лабильные гумусовые вещества типичного чернозема при разном землепользовании // Почвоведение, 2012. №5. С. 555–561.
94. Комов И.М. О земледелии. Москва: В Типографии Пономарёва, 1788. 378 с.
95. Кононова М. М. Воздействие гумусовых веществ на рост и развитие растений // Доклады АН СССР, 1950. Т. 73. № 5. С. 1069–1071.
96. Королев В. А. Современное физическое состояние черноземов центра Русской равнины. Воронеж: Изд-во ГУП ВО «Воронежская областная типография – изд-во им. Е.А. Болховитинова», 2008. 313 с.
97. Костычев П.А. Общедоступное руководство к земледелию: с рисунками. Изд. 6-е. М.: Тип. Вильде, 1911. 192 с.
98. Кравец А.В., Бобровская Д.Л., Касимова Л.В., Зотикова А.П. Предпосевная обработка семян яровой пшеницы гуминовым препаратом из торфа // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2011. № 4 (78). С. 22–24.
99. Кречетова Е.В. Гуминовые кислоты горючих сланцев, их свойства и строение. Автореф. дисс. ... к.б.н. М.: МГУ, 1994. 20 с.

100. Крупеников И.А., Роговская Н.И. Влияние полимеров на структуру и плодородие почвы // Химия в сельском хозяйстве, 1966. №6. С.55–59.
101. Крыщенко В.С., Рыбьянец Т.В., Бирюкова О.А., Кравцова Н.Е. Компенсационный принцип анализа гумус-гранулометрических соотношений в полидисперсной системе почв // Почвоведение, 2006. № 4. С. 473–483.
102. Кудрина Е.С. Влияние гуминовой кислоты на некоторые группы почвенных микроорганизмов и её значение для этих организмов как источника питательных веществ // Тр. Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева. Т.38. М.,1951. С.185–253.
103. Кулаковская Т.Н., Стефанькина Л.М. Взаимосвязь показателей биологической активности с содержанием гумуса и урожаем ячменя на дерново-подзолистой супесчаной почве // Тез. докл. V съезда Всесоюзн. микроб. общ-ва. Ереван, 1975. 75 с.
104. Куликова Н.А. Защитное действие гуминовых веществ по отношению к растениям в водных и почвенных средах в условиях абиотических стрессов: автореферат дисс. ... д.б.н., М.: МГУ, 2008. 48 с.
105. Кураченко, Н.Л. Лабильные гумусовые вещества в формировании почвенных агрегатов. Красноярск, 2001. 82 с.
106. Кураченко Н.Л., Ульянова О.А., Луганцева М.В., Бабаев М.В. Влияние удобрений на гумусное и агрофизическое состояние чернозема выщелоченного // Вестник КрасГАУ, 2008. № 1. С. 33–38.
107. Курбатов М.С., Назарова Н.И., Ясынов Р. Влияние гуминовых удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур в Киргизии // Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. Киев, 1968. Ч. 3. С. 372–374.

108. Лазарев Н.М. Типы биоорганоминеральных систем различных почв // Труды Всес. научно-иссл. ин-та с.-х. микробиологии за 1944–1945 гг. Вып. 1, 1949. С. 23–45.
109. Левинский Б.В., Курченко С.М. Способ получения гуматов щелочных металлов: Патент РФ № 2243194 27.12. 2004.
110. Литвиненко Н.В., Грехова И.В., Сузан В.Г. Рост и развитие лука репчатого при применении гуминового препарата // Вестник Кемеровского государственного университета, 2015. Т. 4, № 1 (61). С. 22–23.
111. Лыхман В.А., Безуглова О.С. Влияние биологически активных веществ на структурное состояние, ферментативную активность и плодородие чернозема обыкновенного карбонатного // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. Краснодар: КубГАУ, 2014. №04 (098). С. 783–797. IDA [article ID]: 0981404059. Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/-2014/04 /pdf/59.pdf>
112. Лыхман В.А, Безуглова О.С., Горюнов А.В, Полиенко Е.А. Влияние гуминового препарата на структурное состояние и биологическую активность чернозема обыкновенного карбонатного под пропашными культурами // Сборник материалов международной научно-практической конференции «Научное обеспечение агропромышленного комплекса на современном этапе». Рассвет, 2015. С. 188–195.
113. Ляпшина З.Ф. Зависимость продуктивности различных органов мягких и твердых пшениц от размера листовой поверхности и накопления веществ в онтогенезе // Сб. науч. трудов ВНИИЗХ, 1969. Т. 3. С. 107–111.
114. Макаров Б.Н. Газовый режим почвы. Москва: Агропромиздат, 1988. 104 с.

115. Медведев В.В. Изменение микростроения и водно-физических свойств черноземов при внесении минеральных удобрений // Микроморфология антропогенно-измененных почв. М.: Наука, 1988. С. 55–63.
116. Медведев В.В. Структура почвы (методы, генезис, классификация, эволюция, география, мониторинг, охрана). Харьков, 2008. 406 с.
117. Методы общей бактериологии: В 3-х т. / Под ред. Ф. Герхардта и др.; Пер. с англ. под ред. Е.Н. Кондратьевой, Л.В. Калакуцкого. М.: Мир 1983. 536 с.
118. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под. Ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
119. Миллер В.Р., Беккер З.Э. Роль микроэлементов в устойчивости хлопчатника к вертицилезному вилту // Сельскохозяйственная биология, 1983. № 11. С. 54–56.
120. Минеев В.Г. Экологические проблемы агрохимии. М.: МГУ, 1988. 285 с.
121. Мирошниченко Л.А. Микробиологические основы применения углегуминовых удобрений // Гуминовые удобрения, теория и практика их применения. Т.2. Днепропетровск, 1962. С. 215–231.
122. Мишустин Е.Н. Роль микробиологического фактора в образовании почвенной структуры // Микробиология, 1941. Т. 10. Вып. 3. С.342–356.
123. Мишустин Е.Н., Пушкинская О.И. Роль микробиологического фактора в образовании почвенной структуры // Микробиология, 1942. Т. 1, вып. 3. С. 60–68.
124. Мишустин Е.Н. Лабильная часть почвенной макроструктуры // Почвоведение, 1945. № 2. С. 122–130.
125. Морозов А.И. О почве и почвоведении (взгляд со стороны). М.: ГЕОС, 2007. 285 с.

126. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М., 1990. 325 с.
127. Орлов Д.С., Малинина М.С., Мотузова Г.В., Садовникова Л.К., Соколова Т.А. Химическое загрязнение почв и их охрана. М.: Агропромиздат, 1991. 303 с.
128. Панов Н.П., Кулаков Е.В. Василий Робертович Вильямс // Вестник АН СССР, 1984. № 6. С. 101–108.
129. Панасин В.И., Рымаренко Д.А. Действие органоминерального удобрения гумат «Плодородие» на урожай и качество озимой пшеницы // Известия КГТУ, 2012. № 27. С.186–192.
130. Пахненко (Дурынина) Е.П., Великанов Л.Л. Поведение *V. sorokinianum* в агроценозе в условиях интенсивной химизации почв // Изучение грибов в биогеоценозах: матер. III Всес. конф. Ташкент, 1985. С. 30–32.
131. Перминова И.В. Гуминовые вещества вызов химикам XXI века // Химия и жизнь, 2008. №1. 60 с.
132. Перминова И.В., Жилин Д.М: Гуминовые вещества в контексте зеленой химии // Зеленая химия в России. М.: изд-во МГУ, 2004. С. 146–162.
133. Полиенко Е.А. Экологическая оценка влияния гуминовых препаратов на состояние почв и растений: автореферат дисс. ... к.б.н., Юж.федер.ун-т, Ростов-на-Дону, 2016. 22 с.
134. Полиенко Е.А., Безуглова О.С., Горюцов А.В., Лыхман В.А., Павлов П.Д. Применение гуминового препарата ВЮ-Дон на посевах озимой пшеницы // Достижения науки и техники АПК, 2016. Т. 30. № 2. С. 24–28.
135. Полиенко Е.А., Безуглова О.С., Горюцов А.В., Лыхман В.А., Шимко А.Е., Бондарева А.М., Захарова И.А. Влияние гуминового удобрения ВЮ-Дон на качество зерна мягкой озимой пшеницы ДонЭко // Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 2015. №3 (53). С. 171–173.

136. Полтавская И.А., Коваленко В.Д. Динамика плодородия чернозема под влиянием удобрений // Научные основы рационального использования и повышения производительности плодородия почв Северного Кавказа. Ростов-на-Дону: РГУ, 1983. С. 134–147.
137. Плынов Б. Б Избранные труды. Москва: Высшая школа. 1966. 392 с.
138. Поляков А.Н., Шевцова Л.К. Изменение свойств дерново-подзолистых и черноземных почв под влиянием длительного применения удобрений // Микроморфология антропогенно-измененных почв. М.: Наука, 1988. С. 74–80.
139. Прудникова А.Г. Влияние длительного применения удобрений, севооборота в бессменных посевах на физико-механические и технологические свойства дерново-подзолистой почвы длительного опыта. Отчет по теме №4. 1975. С. 372–383.
140. Раманн Э. Мартин Эвальд Вольни // Почвоведение, 1901. Т. 3. № 2. С. 117–122.
141. Ростовцева О.С., Аваева М.И. Роль многолетних трав в создании прочной структуры почв // Почвоведение, 1935. № 5–6. С. 41–50.
142. Рудаков К.И. Микроорганизмы и структура почвы. Сельхозгиз, 1951. 48 с.
143. Рыбалкина А.В. Влияние гуминовой кислоты на развитие *Clostridium Pasterianum*// Тр. ин-та Микробиологии АН СССР, 1958. Вып.5. С.136–149.
144. Саввинов Н.И. Влияние многолетних трав и некоторых агрономических приемов на прочность структуры в разных зонах // Физика почв в СССР. М.-Л.: Сельхозгиз, 1936. 58 с.
145. Саввинов Н.И. О физических («структурообразующих») удобрениях для почв // Физика почв в СССР. М.-Л.: Сельхозгиз, 1936а. С.104–108.

146. Сапожников Н.А. Роль механической обработки в окультуривании суглинистых и глинистых подзолистых почв // Материалы научно-метод. совещания по обработке почвы. М., 1961. С. 71–87.
147. Семенов В.М., Когут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
148. Смирнова Н.Н., Карцева Л.Н., Потатуева Ю.А. Перспективы применения удобрений в мире // Агрохимия, 1985. № 10. С. 120–127.
149. Соборникова И.Г. Изменение поглотительной способности черноземов при сельскохозяйственном использовании // Тез. докл. 8 Всесоюз. Съезда почвоведов, Комис.2-3. Кн.2. Новосибирск, 14–18 августа, 1989. Новосибирск, 1989. 142 с.
150. Солодченко С.Н., Кураченко Н.Л. Сезонные изменения структуры чернозема обыкновенного в условиях целины и агроценозов // Молодежь Сибири – науке России: Материалы межд. научн. конф. Ч.2. Красноярск, 2003.С. 237–241.
151. Тазабекова Е.Т. Ферментативная активность почв и пути её регулирования. Алматы, 1997. 184 с.
152. Теории и методы физики почв / ред. Шеин Е.В., Карпачевский Л.О. М.: Гриф и К, 2007. 616 с.
153. Титов И.Н., Белик Е.В. Биопрепараты на основе вермикомпостов: получение, применение и перспективы // Проблемы и перспективы биологического земледелия. Рассвет, 2014. С. 8–13.
154. Тихонов В.В., Якушев А.В., Завгородняя Ю.А., Бызов Б.А., Демин В.В. Действие гуминовых кислот на рост бактерий // Почвоведение. 2010. № 3. С. 333–341.
155. Туев Н.А. Микробиологические процессы гумусообразования. М.: Агропромиздат, 1989. 239 с.

156. Тюлин А.Ф. Органо-минеральные коллоиды в почве, их генезис и значение для корневого питания растений. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 258 с.
157. Фагелер П. Режим катионов и воды в минеральных почвах. М.-Л.: Сельхозгиз, 1938. С. 201–207.
158. Францессон В.А., Герасимова А.В. Вопросы структуры и сохранения плодородия вновь освоенных черноземных почв Северного Казахстана и Западной Сибири // Земледелие, 1959. № 3. С. 40–49.
159. Францессон В.А. Избранные труды. Черноземные почвы СССР. М.: Сельхозиздат, 1963. 73 с.
160. Хан Д.В. Органо-минеральные соединения и структура почвы // Тр. Почв. ин-т им. В. В. Докучаева. М.: Наука, 1969. 142 с.
161. Хасанова Р.Ф. Агроэкологический анализ структурного состояния и оптимизация свойств черноземов Зауралья при фитомелиорации: автореф. дисс. ... д. б. н. Уфа: БГАУ, 2016. 44 с.
162. Христева Л. А. Природа непосредственного воздействия гуминовой кислоты на рост и развитие растений // Доклады ВАСХНИЛ. Вып. 11. М., 1950. С. 10–16.
163. Христева Л.А. Стимулирующее влияние гуминовой кислоты на рост высших растений и природа этого явления// Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. Т.1. Харьков. 1957. С.75–94.
164. Христева Л.А. К природе действия физиологически активных веществ на растения в экстремальных условиях // Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. Т. 6. Днепрпетровск, 1977. С.3–15.
165. Шеин Е.В., Дембовецкий А.В., Болотов А.Г., Скворцова Е.Б., Суздалева А.В., Калнин Т.Г., Абросимов К.Н. Функциональное значение и томографическое строение порового простран-

- ства суглинистых почв // Материалы II Международной научной конференции «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего», посвящённой памяти академика Е.И.Ермакова. Санкт-Петербург, 02-04 октября 2019. СПб: ФГБНУ АФИ, 2019. С. 55–60.
166. Шейн Е.В., Милановский Е.Ю. Органическое вещество и структура почвы: учение В.Р. Вильямса и современность // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии, 2014. № 1. С. 42–51.
167. Шейн Е.В., Милановский Е.Ю., Русанов А.М., Засыпкина Д.И., Николаева Е.И., Анилова Л.В. Почвенная структура и органическое вещество типичных чернозёмов Приуралья под лесом и многолетней пашней // Вестник Оренбургского государственного университета, 2005. № 2. С. 113–117.
168. Шишкина Д.Ю. Экологическая оценка динамики сельскохозяйственных земель Ростовской области // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2017. №3-1. С. 122-128. DOI 10.23683/0321-3005-2017-3-1-122-128
169. Шишов Л. Л., Лебедева И. И., Тонконогов В. Д. Классификация почв России и перспективы ее развития // Почвоведение: история, социология, методология. М.: Наука, 2005. 230 с.
170. Шконде Э.И., Благовещенская З.К. Изменение физических свойств почвы при длительном применении минеральных удобрений М., 1982. 51 с.
171. Шульга С.А., Санжаров А.И., Санжарова С.И. Об антропогенных изменениях физических свойств черноземов// Структура и функционирование заповедных лесных экосистем. М., 1988. С.28–43.
172. Экономическая оценка сельскохозяйственных угодий Ростовской области. Ростов-на-Дону: РГУ, 1991. 240 с.

173. Якименко О.С. Химическая структура и свойства промышленных гуматов различного происхождения // *Материалы Междунар.конф. «Гумінові речовини і фітогормони в сільському господарстві»*. Днепропетровск, 2010. С. 48–50.
174. Якименко О.С., Применение гуминовых продуктов в РФ: результаты полевых опытов (обзор литературы) // *«Живые и биокосные системы»*, 2016. № 18: URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-18/article-4>.
175. Abdel-Salam M. M. Effect of Foliar Application with Humic Acid and Two Antioxidants on Ruby Seedless Grapevine // *Middle East J*, 2016. 5(2). P. 123–131.
176. Abiven S., Menasseri S., Chenu C. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability – a literature analysis // *Soil Biology and Biochemistry*, 2009. 41. P. 1–12.
177. Arancon N.Q., Edwards C.A., Bierman P., Welch C., Metzger J. D. Influences of vermicomposts on field strawberries: Part 1. Effects on growth and yields // *Bioresource technology*, 2004. 93(2). P. 145–153.
178. Arancon N.Q., Edwards C.A., Bierman P. Influences of vermicomposts on field strawberries: Part 2. Effects on soil microbiological and chemical properties // *Bioresource Technology*, 2006. 97(6). P. 831–840.
179. Azam Shah S., Mohammad W., Shahzadi S., Elahi R., Ali A., Basir A. The effect of foliar application of urea, humic acid and micronutrients on potato crop // *Iran Agricultural Research*, 2016. 35(1). P. 89–94.
180. Berbara R.L., García A.C. Humic substances and plant defense metabolism // In: *Physiological mechanisms and adaptation strategies in plants under changing environment*. Springer New York, 2014. P. 297–319.

181. Bassett J. R. Tree growth as affected by soil moisture availability // Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1964. № 28. P. 436–438.
182. Baver L. D., Winterkorn H. F. Sorption of liquids by soil colloids: II. Surface behavior in the hydration of clays // Soil Sci., 1935. P. 403–419.
183. Bettoni M.M., Mogor Á.F., Pauletti V., Goicoechea N., Aranjuelo I., Garmendia I. (). Nutritional quality and yield of onion as affected by different application methods and doses of humic substances // Journal of Food Composition and Analysis, 2016. 51. P. 37–44.
184. Bezuglova O.S., Polienko E.A., Gorovtsov A.V., Lyhman V.A., Pavlov P.D. The effect of humic substances on winter wheat yield and fertility of ordinary chernozems // Annals of Agrarian Science, 2017. №15. P. 239–242: DOI: 10.1016/j.aasci.2017.05.006.
185. Bezuglova O.S., Gorovtsov A.V., Polienko E.A. Zinchenko V.E., Grinko A.V., Lykhman V.A., Dubinina M.N., Demidov A. Effect of humic preparation on winter wheat productivity and rhizosphere microbial community under herbicide-induced stress // J. Soils Sediments, 2019. V.19, Is.6, June 2019: 2665–2675. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-02240-z>.
186. Bi J., Xia G., Bi Y., Zhang P., Shi G., Zhu G. Effect of humic bioactive fertilizer on winter wheat and soil microbial activity // Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2004. 11(1). P. 99–103.
187. Blackwood C.B., Dell C.J., Smucker A.J.M., Paul E.A. Eubacterial communities in different soil macroaggregate environments and cropping systems // Soil Biology and Biochemistry, 2006. 38. P. 720–728.
188. Cairo Cairo P., Lopez Delgado J.F., Cabrero Paez R. Influencia del residual de la fabrica de glucose de cienfuegos sobre algunas propiedades fisical de un suelo pesado// Centro agr., 1985.12.1. P. 3–12.

189. Canellas L.P., Olivares F.L., Aguiar N.O., Jones D.L., Nebbioso A., Mazzei P., Piccolo A. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture // *Scientia Horticulturae*, 2015. 196. P. 15–27.
190. Chaney K., R.S. Swift. The influence of organic matter on aggregate stability in some British soils // *J. Soil Sci.*, 1984. 35. P.223–230.
191. Chen Y., Aviad T. Effects of humic substances on plant growth // In: P. MacCarthy, C.E. Clapp, R.L.Malcolm, P.R. Bloom (eds.) *Humic Substances in Soil and Crop Sciences: Selected Reading*, Soil Sci.Soc.Am., Madison, WI, 1990. P.161–186.
192. Clapp C.E., Chen Y., Hayes M.H.B., Cheng H.H. Plant growth promoting activity of humic substances // In: R.S. Swift, K.M. Sparks (eds.), *Understanding and Managing Organic Matter in Soils, Sediments and Waters*, International Humic Science Society, Madison, 2001. P. 243–255.
193. Clark G.J., Sale P.W.G., Tang C. Organic amendments initiate the formation and stabilisation of macroaggregates in a high clay sodic soil // *Australian Journal of Soil Research*, 2009. 47. P. 770–780: doi:10.1071/ SR09119.
194. Costa Ohana Y.A., Raaijmakers Jos M., Kuramae Eiko E. Microbial Extracellular Polymeric Substances: Ecological Function and Impact on Soil Aggregation // *Frontiers in Microbiology*, 2018. July, Volume 9, Article 1636. DOI: 10.3389/fmicb.2018.01636.
195. Dakora F.D., Phillips D.A. Root exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient environments // *Plant and Soil*, 2002. 245. P. 35–47.
196. Edwards A.P., Bremner J.M. Dispersion of soil particles by sonic vibration // *J. Soil Sci.*, 1967. V. 18, № 1. P. 47–63. doi: 10.1111/j.1365-2389.1967.tb01487.x.

197. Endlweber K., Scheu S. Interactions between mycorrhizal fungi and Collembola: effects on root structure of competing plant species // *Biol. Fertil. Soils*, 2007. P. 741–749.
198. Flaig W. Effect of lignin degradation products on plant growth // *Isotopes and radiation in soil plant nutrition studies*. Intern. atomic energy agency. Vienna, 1965. P.3–19.
199. Flaig W. Einwirkung von Ligninabbaprodukten auf das pflanzenwachstum // *Qualitas plantarum et Material vegetabilis*, 1967. V.14,10-1. №1-2.
200. Frimmel F.H., Christman R.F. Humic Substances and their Role in the Environment: Report of the Dahlem Workshop, Berlin 1987, March 29-April 3. John Wiley, 1988. 271 pp.
201. Gonet S.S., Czachor H., Markiewicz M. Organic Carbon and Humic Substances Fractions in Soil Aggregates // In: *Functions of Natural Organic Matter in Changing Environment*, 2013. Springer Netherlands. P. 385–389.
202. Gupta V.V.S.R., Germida J.J. Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregate size classes as affected by cultivation// *Soil Biol. and Biochem.* 1988.20. №6. P.777-786.
203. Hardan A., Al-Ani A.N. Improvement of soil structure by using date and sugar beet waste products // In: *Modification of soil structure* / W.W. Emerson, R.D.J. Bond, A.R. Dexter (eds.). Wiley, Chichester, England. 1978. P. 305–308.
204. Hinkley T.M., Ritchie G. A. A theoretical model for calculation of xylem sap pressure from climatological data // *Am. Midl. Nat.*, 1973. P. 56–69.
205. Hernandez O.L., Calderín A., Huelva R., Martínez-Balmori D., Guridi F., Aguiar N.O., Canellas L.P. Humic substances from vermicompost enhance urban lettuce production // *Agronomy for Sustainable Development*, 2015. 35(1). P. 225–232.

206. Ioder R.E.J. The effect of long-time cropping systems and tillage practices upon soil aggregation // Amer. Sos. of Agroh., 1936. 28, 5. P. 86–89.
207. Jansa J., Mozafar A., Frossard E. Phosphorus acquisition strategies within arbuscular mycorrhizal fungal community of a single field site // Plant Soil, 2005. 276. P.163–176.
208. Jia J.W. Study on the relationship between the soil physical–chemical properties and soil enzymatic activities of plastic greenhouse // Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition), 2001. Vol. 32, № 4. P. 427–432.
209. Johnson J.M.-F., Allmaras R.R., Reicosky D.C. Estimating source carbon from crop residues, roots and rhizodeposits using the National Grain-Yield Database // Agronomy J., 2006.V. 98. P. 622–636.
210. Le Guillou C., Angers D.A., Maron P.A., Leterme P., Menasseri-Aubry S. Linking microbial community to soil water-stable aggregation during crop residue decomposition // Soil Biology and Biochemistry, 2012. 50. P. 126–133.
211. Lizarazo L.M., Jordá J.D., Juárez M., Sánchez-Andreu J. Effect of humic amendments on inorganic N, dehydrogenase and alkaline phosphatase activities of a Mediterranean soil // Biology and fertility of soils, 2005. 42(2). P. 172–177.
212. Mac Colla. Influence of microorganisms and some organic substances on soil structure // Soil. Sci., 1945. V. 59, №24. P. 287–297.
213. Mac Henry, Russel U. Elementary mechanics of aggregation of puddled materials // Soil. Sci., V. 57, N25, 1944. P. 351–357.
214. Maciaszek Wiestaw. Badania struktury agregatowej gleb wytworzonych ze skat flizowych Beskidy Zywieckiego i Niskiego. Cz.II. Wodoopornosc i inne wlasciwosci fizycznochemiczne agregatow glebowych// Roczn. gleborn. 186.37.N1:37-48.

215. Marinari S., Masciandaro G., Ceccanti B., Grego S. Influence of organic and mineral fertilisers on soil biological and physical properties // *Bioresource technology*, 2000. 72(1). P. 9–17.
216. Marinari S, Masciandaro G, Ceccanti B, Grego S. Evolution of soil organic matter changes using pyrolysis and metabolic indices: a comparison between organic and mineral fertilization // *Bioresource Technology*, 2007. 98. P. 2495–2502.
217. Martin J. Influence of bacterial polysaccharides on soil structure // *Soil. Sci.*, 1946. V. 61, №22. P. 157–166.
218. Martin J., Anderson A. Adaptation of various bacteria to growth in the presence of sodium chloride // *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.*, 1942. V. 7, №23. P. 215.
219. Meyers H. E. Growth fluctuations of virgin hemlock from northern Pennsylvania // *Soil. Sci.*, 1937. V. 44, №25; 1941. V. 52, №26. P. 20–23.
220. Mosley R. The effects of humates on remediation of hydrocarbon and salt contaminated soils // *Proc. of the 5-th International Petroleum Environmental Conference, Albuquerque, New Mexico, Oct. 20th–23rd, 1998.* http://www.bioag.com/images/Effects_of_Humate_on_Salt_Contaminated_Soil.pdf.
221. Patti A.F., Jackson W.R., Norng S., Rose M.T., Cavagnaro T.R. Commercial humic substances stimulate tomato growth // *In: Functions of Natural Organic Matter in Changing Environment.* Springer Netherlands, 2013. P. 1079–1084.
222. Peele T.C.J. Microbial activity in relation to soil aggregation // *Amer. Soc. of Agron.*, 1940. V. 32, №23. P. 204–212.
223. Penman H.L. Physics in agriculture // *Sci. Instrum*, 1948. 25. P. 425–432.
224. Piccolo A., Conte P., Cozzolino A. Chromatographic and spectrophotometric properties of dissolved humic substances compared

- with macromolecular polymers// *Soil Science*, 2001. 166. P. 174–185.
225. Pillai U.P., McGarry D. Structure Repair of a Compacted Vertisol with Wet-Dry Cycles and Crops // *Soil Science Society of America Journal*, 1999. Vol. 63, No. 1. P. 201–210.
226. Robinson G.W. *Soils: Their Origin, Constitution and Classification*. Thomas Murby, London, 1932. 25 p.
227. Rogers W.S. The relation of soil moisture to plant growth, illustrated by moisture meter experiments with strawberries // *East Malling Res. Sta. Ann. Rept.* 1939. P.111–120.
228. Savvinov N.I. Engrais physiques «constructeurs» des sols // *Transactions of the first commission of the International society of soil science. Problemes de la physique du sil.* Vol. 2. Moscou, 1934. P. 69–72.
229. Shiel R.S., Adey M.A., Lodder M. The effect of successive wet/dry cycles on aggregate size distribution in a clay texture soil // *J. Soil Sci.*, 1988. 39. P. 71–80.
230. Singh P.K., Singh Y. Effect of Reduced Tillage on Soil Properties, Root Growth and Grain Yield in Rice-Wheat System // *Indian Journal of Agricultural Research*, 1996. Vol. 30. P.179–185.
231. Smith V.H. Effects of resource supplies on the structure and function of microbial communities/ *Antonie Van Leeuwenhoek*, 2002. Aug; 81(1–4) P. 99–106. DOI: 10.1023/a:1020533727307.
232. Sollins P., Homann P., Caldwell B.A. Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls // *Geoderma*, 1996. 74. P. 65–105.
233. Srivastava P.K., Gupta M., Upadhyay R.K., Sharma S., Singh N., Tewari S.K., Singh B. Effects of combined application of vermicompost and mineral fertilizer on the growth of *Allium cepa* L. and soil fertility // *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2012. 175(1). P. 101–107.

234. Suh H.Y., Yoo K.S., Suh S.G. Tuber growth and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.) as affected by foliar or soil application of fulvic and humic acids // *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 2014. 55(3). P. 183–189.
235. Swaby R. J. The Relationship between Micro-organisms and Soil Aggregation // *Journal of General Microbiology*, Vol. 3, No. 2. P.236–254. First Published: 01 May 1949 <https://doi.org/10.1099/00221287-3-2-236>.
236. Tamfuh P.A., Woumfo E.D., Bitom D., Njopwouo D. Petrological, Physico-Chemical and Mechanical Characterization of the Topomorphic Vertisols from the Sudano- Sahelian Region of North Cameroon // *The Open Geology Journal*, 2011.Vol. 5. P. 33–55.
237. Tejada M., Gómez I., Hernández T., García, C. Utilization of vermicomposts in soil restoration: effects on soil biological properties // *Soil Science Society of America Journal*, 2010. 74(2). P. 525–532.
238. Tisdall J.M., Oades J.M. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass // *Aust. J. Soil Res.*, 1979. 17. P. 429–441.
239. Thomas L. *Coal Geology* // John Wiley & Sons, 2002. 396 p.
240. Vetter Y.A., Denning J.W., Jumars P.A., Krieger-Brockett B.B. A predictive model of bacterial foraging by means of freely released extracellular enzymes // *Microbial Ecology*, 1998. 36. P. 75–92.
241. Waksman S.A. The soil as a source of microorganisms antagonistic to disease-producing bacteria // *Journal of bacteriology*, 1940. Vol. 40. P.581.
242. Weintraub M.N., Schimel J.P. The seasonal dynamics of amino acids and other nutrients in Alaskan Arctic tundra soils // *Biogeochemistry*, 2005. 73. P. 359–380.
243. William J. Orts, Aicardo Roa-Espinosa, Robert E. Sojka, Gregory M. Glenn, Syed H. Imam, Kurt Erlacher, Jan Skov. Use of Syn-

thetic Polymers and Biopolymers for Soil Stabilization in Agricultural, Construction, and Military Applications // Pedersen Journal: Journal of Materials in Civil Engineering, 2007. Vol. 19, No 1. P. 58.

Научное издание

Безуглова О.С., Лыхман В.А., Полиенко Е.А., Горовцов А.В.

**ГУМИНОВЫЕ ПРЕПАРАТЫ И
СТРУКТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ ЧЕРНОЗЕМНЫХ И
КАШТАНОВЫХ ПОЧВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

Монография

Подписано к печати 05.11.2020 г.
Объём 6,4 уч.-изд.л. 11,75 усл.п.л. Печать цифровая. Бумага офсетная
Гарнитура «Таймс». Формат 60х84/16. Заказ № 915.
Тираж 500 экз.

ФГБНУ ФРАНЦ, 346735, Ростовская обл., п. Рассвет, ул. Институтская, 1.

Издательство: ООО «АзовПринт»
346780, г. Азов, ул. Привокзальная, 6 а, Тел.: (86342) 5-37-57

Отпечатано: ООО «АзовПринт»