

Рус. УДК 631.4: 630*114.68

Взаимосвязь микробиологических параметров и физических свойств черноземов сегрегационных

Чевердин Юрий Иванович¹, Титова Татьяна Витальевна¹, Беспалов Владимир Алексеевич¹, Сапрыкин Сергей Владимирович¹, Гармашова Любовь Васильевна¹, Чевердин Александр Юрьевич¹

¹*Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Центрально-Черноземной полосы им. В.В. Докучаева, Каменная Степь, Россия;*
cheverdin62@mail.ru

Аннотация:

Важным компонентом плодородия почв является состав почвенной микрофлоры. Исследования проведены в ФГБНУ «НИИСХ ЦЧП им. В.В. Докучаева» в условиях агроценозов и ненарушенных экосистем. В слое 0—20 см изучалась структура микробного ценоза и активность почвенных ферментов во фракциях различного размера (1—2 мм; 2—3 мм; 3—5 мм; 5—10 мм; больше 10 мм). Численность эколого-трофических групп микроорганизмов определяли методом посева на твердые питательные среды. Учет организмов, усваивающих органические формы азота – посев на мясопептонный агар (МПА); учет организмов, ассимилирующих минеральные формы азота – посев на крахмально-аммонийной среде (КАА); учет организмов, минерализующих гумус – посев на нитратном агаре; учет грибов – среда Чапека; учет количества азотобактера – на почвенных пластинках; учет нитрификаторов – на голодном агаре; учет организмов, разлагающих клетчатку – среда Виноградского. Определение активности почвенных ферментов (инвертазы, каталазы и фосфатазы) – по унифицированным методикам А. Ш. Галстяна (1978); структурный состав – по Н. И. Саввинову.

Установлена взаимосвязь физических свойств почв, одним из которых является структурный состав, с интенсивностью почвенно-биологических процессов. Количество аммонификаторов больше в мелких фракциях, как и иммобилизаторов углерода. Размер почвенных агрегатов определяет и количество почвенных микроорганизмов, развивающихся в них.

Активность почвенных ферментов фосфатазы, инвертазы, уреазы выше в почве естественно сохранившегося биоценоза по сравнению с почвой агроценоза. Активность каталазы выше в почве агроценоза, чем в почве естественно сохранившегося биоценоза. Наибольшую активность почвенные ферменты показали во фракциях меньшего размера. Регулируя физические свойства почвы, одним из которых является структурное состояние, можно влиять на количество почвенных микроорганизмов и ферментов, определяющих интенсивность почвенно-биологических процессов, происходящих в почве, и, как следствие этого, на её плодородие.

Ключевые слова: чернозём, микробиологические параметры, физические свойства.

Eng. *The relationship of microbiological parameters and physical properties of chernozems segregation*

Cheverdin Yuri I.¹, Titova Tatiana V.¹, Besspalov Vladimir A.¹, Saprikin Sergey V.¹, Garmashova Lubov V.¹, Cheverdin Alexander Yu.¹

¹*Scientific Research Institute of Agriculture the Central black-earth zone named of V.V. Dokuchayev, Stone Steppe, Russia; cheverdin62@mail.ru*

Abstract:

An important component of soil fertility is the composition of the soil microflora. Research performed in FEDERAL state budgetary institution "Scientific Research Institute of Agriculture the Central black-earth zone named of V.V. Dokuchayev" in terms of agricultural lands and undisturbed ecosystems. In the layer 0—20 cm was applied to study the structure of the microbial cenosis and the activity of soil enzymes in the fractions of different sizes (1—2 mm; 2—3 mm; 3—5 mm; 5—10 mm; greater than 10 mm). The number of ecological-trophic groups of microorganisms was determined by seeding on solid nutrient medium. The account of organisms assimilate organic forms of nitrogen seeding on mastopathy agar (MPA); the account of organisms assimilating mineral forms of nitrogen seeding on starch-ammonium medium (КАА); consideration of organisms mineralizing humus – sowing nitrate-agar; accounting mushrooms – Wednesday Capek; given the number of Azotobacter on soil plates; accounting of nitrifying microorganisms – on starvation agar; consideration of organisms decomposing the cellulose – viticultural environment. Determination of the activity of soil enzymes (invertase, catalase and phosphatase) – for uniform methods A. S. Galstyan (1978); the structural composition of N. I. Savvinova.

The interrelation of the physical properties of soils, one of which is structural composition, with the intensity of soil biological processes. The number of ammonifying more in the finer fractions, and immobilization of carbon. The size of soil aggregates determines the number of soil microorganisms developing in them.

The activity of soil enzymes phosphatase, invertase, urease is higher in the soil naturally preserved biocenosis in comparison with the soil of agrocenosis. Catalase activity is higher in the soil of agrocenosis than in the soil naturally preserved biocenosis. The highest activity of soil enzymes was shown in the fractions of a smaller size. Adjusting physical properties of the soil, one of which is a structural condition, it is possible to influence the amount of soil microorganisms and

enzymes that determine the intensity of soil-biological processes in the soil, and, consequently, its fertility.

Key words: chernozem, microbiological parameters, physical properties.

Введение. Вопросы влияния микроорганизмов на различные сферы почвенного плодородия и процессы, происходящие в почве, занимают важное место в литературных источниках. Биологическая активность почвы, характеризующая взаимосвязь живых организмов, обитающих в почве, с почвенной средой, является важным показателем способности почвы обеспечивать культурные растения необходимыми факторами жизни и, в значительной степени, зависит от наличия в почве энергетического материала. Роль биологических факторов в сохранении и воспроизводстве плодородия почвы постепенно возрастает. В современных условиях это обусловлено значительным сокращением запасов гумуса в почвах и накоплением в них физиологически активных веществ, обладающих токсическими свойствами и снижающими интенсивность обмена веществ в системе «почва – растение» [19]. Микроорганизмы играют важную роль в почвообразовании и плодородии почв, а также участвуют в формировании почвенной структуры, образовании гумуса и других важных процессах, происходящих в почвах. Важнейшая функция почвенных организмов – создание прочной комковатой структуры почвы пахотного слоя. Последнее, в решающей степени, определяет водно-воздушный режим почвы, создает условия высокого плодородия почвы. Почвенные организмы выделяют в процессе жизнедеятельности различные физиологически активные соединения, способствуют переводу одних элементов в подвижную форму и, наоборот, закреплению других в недоступной для растений форме.

В обрабатываемой почве функции почвенных организмов сводятся к поддержанию оптимального питательного режима (частичное закрепление минеральных удобрений с последующим освобождением по мере роста и развития растений), оструктуриванию почвы, устранению неблагоприятных экологических условий в почве.

Количественный состав и соотношение отдельных представителей в микробном ценозе почвы значительно зависит от способа обработки почвы, поступления в почву растительных остатков, которые, в первую очередь, трансформируются под влиянием спорных бактерий и микроскопических грибов, а на поздних стадиях этого процесса – бацилл и актиномицетов [25].

Изучение почвенной биодинамики, в которой отражается состояние системы почва – микроорганизмы – растения, приобретает всё большую актуальность. Поэтому важными представляются данные, полученные в условиях агроценозов и нарушенных экосистем.

Чевердин Ю. И., Титова Т. В., Беспалов В. А., Сапрыкин С. В., Гармашова Л. В., Чевердин А. Ю., Взаимосвязь микробиологических параметров и физических свойств черноземов сегрегационных // «Живые и биокосные системы». – 2017. – № 21; URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-21/article-2>

Переход черноземов из целинного состояния в пашню, по мнению И. И. Лебедевой и др. [8], обязательно сопровождается переорганизацией минеральной массы почвы, дезинтеграцией естественной структуры в агрогоризонте. Структура черноземов нуждается в ежегодном возобновлении, за которое ответственны коагуляционный, копрогенный и корневой механизмы, наиболее действенные в первую половину лета. «Работа» этих механизмов в целинных и пахотных почвах не адекватна. Биологические и биохимические особенности культурной растительности, фенофазы развития, прижизненные, особенно корневые выделения, структура биологического круговорота, количество и характер новообразованных гумусовых веществ – все эти и другие факторы отличны от тех, которые складываются в естественных биоценозах. Соответственно, нарушается и воспроизводство характерной зернистой структуры. Естественный процесс дезинтеграции почвенной структуры, многократно усиленный различными нарушениями агротехники, в результате приводит к тому, что агрогоризонты черноземов сохраняют агрегированность только на микроуровне [8]. Несмотря на общую дезинтеграцию отдельностей и разрушение зернистых агрегатов, структурное состояние агрочерноземов Каменной Степи, даже в условиях старой пашни (120 лет освоения), остается достаточно хорошим [9]. В агрочерноземах и лесостепи, и южной степи более половины всей массы водопрочных агрегатов имеет размеры менее 0,25 мм и лишь 3—7 % относятся к агрономически ценной группе. Под целинной растительностью содержание этих агрегатов более 40 %. Естественным следствием низкой водопрочности макроагрегатов является консолидация, переуплотнение почвенной массы в агрогоризонтах при высыхании с образованием крупных (40–50 см в диаметре) полигональных блоков, разделенных трещинами. Сложение почвенной массы внутри блоков очень плотное – равновесная упаковка механических элементов в черноземах под пашней достигает 1,35—1,40 г/см³, особенно на уровне «плужной подошвы», становясь практически равной плотности почвообразующей породы. Дезинтеграция структурных агрегатов и консолидация почвенной массы приводят к переорганизации порового пространства. При этом, по существу, исчезает межагрегатная порозность, объем которой занимают трещины между полигональными блоками. Эти трещины, а также «сплошность» капилляров в самих монолитных блоках определяют подтягивание влаги к поверхностям испарения, способствуя непродуктивному ее расходу на физическое испарение, следствием чего является изменение почвенной биоты. Изменение биоты, вполне естественное при распашке черноземов, является как бы пусковым механизмом, первым звеном длинной цепи взаимосвязанных изменений гумусного состояния, водно-физических свойств, современных режимов – теплового и водного. Агрочерноземы представляют собой новое

Чевердин Ю. И., Титова Т. В., Беспалов В. А., Сапрыкин С. В., Гармашова Л. В., Чевердин А. Ю., Взаимосвязь микробиологических параметров и физических свойств черноземов сегрегационных // «Живые и биокосные системы». – 2017. – № 21; URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-21/article-2>

генетическое образование, обусловленное коренными изменениями в современных режимах и процессах. Вся физиология этих почв, практически все без исключения процессы в агрочерноземах иные по сравнению с целинными черноземами [8].

Поэтому вопросы плодородия агрочерноземов и целинных черноземов, важным компонентом которого является почвенная микрофлора, вызывают интерес многих исследователей.

В этой связи установление взаимосвязи физических свойств почв, одним из которых является структурный состав, с интенсивностью почвенно-биологических процессов понятен и обоснован. В работах некоторых авторов поднимались вопросы, связанные с данной проблемой.

Исследования почвенной микрофлоры проводились в почвах Каменной Степи с помощью новейших методов анализа, таких как метагеномика, при помощи анализа генетического материала, т.к. почва, как самый обширный депозитарий микробного разнообразия на планете, привлекает большое количество исследований в этой области [23, 24]. Неподдельный интерес вызывают работы многих авторов, связанные с исследованиями микрофлоры черноземов [4; 10-13].

Количество микроорганизмов и интенсивность почвенно-биологических процессов в агрегатах чернозема миграционно-мицелярного постагрогенного, по данным Василенко Е. С. и др. [2], связано с их размерами. По мнению авторов, размер агрегатов является одним из факторов, определяющих и численность различных эколого-трофических групп микроорганизмов, и интенсивность почвенно-биологических процессов, происходящих в черноземе миграционно-мицелярном постагрогенном. Трансформация органических веществ, особенно разрушение сложных органических соединений, более интенсивно происходит в мелких агрегатах (< 1 мм), за счет наибольшей численности микроорганизмов углеродного цикла. Процессы азотного цикла, значимые для развития растений, наиболее интенсивно протекают в агрегатах средних размеров – агрономически ценных агрегатах (1,0—5,0 мм); за счет наибольшей численности диазотрофов может также повышаться водопрочность этих агрегатов [2].

Исследованиями Е. А.Ивановой и др. [6] было выявлено, что агрегатные фракции мелкого размера ($< 0,25$ мм) отличались большими показателями разнообразия, нежели более крупные структурные отдельности. Наибольшее количество прокариотной биомассы (бактерии, археи) было зафиксировано во фракциях $< 0,25$ мм и агрегатах размером 2—5 мм. Наибольшим разнообразием, по данным авторов, отличались образцы залежи, при этом, статистически значимые максимумы индексов разнообразия Шеннона и филогенетического разнообразия (PD) были зафиксированы в залежи во фракциях $< 0,25$ и 2—5 мм. [6]. С увеличением диаметра почвенных

Чевердин Ю. И., Титова Т. В., Беспалов В. А., Сапрыкин С. В., Гармашова Л. В., Чевердин А. Ю., Взаимосвязь микробиологических параметров и физических свойств черноземов сегрегационных // «Живые и биокосные системы». – 2017. – № 21; URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-21/article-2>

агрегатов, по данным Степанова и др. [15], увеличивается выделение закиси азота из агрегатов крупнее 1 мм, где складываются анаэробные условия, достаточные для протекания денитрификации. В центре агрегатов, по сравнению с периферией, обнаружено большее количество клеток бактерий и актиномицетного мицелия, а также более интенсивное накопление закиси азота культурами бактерий и актиномицетно-бактериальными ассоциациями [13].

Таким образом, вопросы, связанные с взаимосвязью физических свойств почв с интенсивностью почвенно-биологических процессов, занимают важное, но недостаточное место в научных исследованиях. В этой связи, **целью** наших исследований было выявление взаимосвязи почвенного плодородия, показателем которого является наличие почвенной микрофлоры, с физическими свойствами почвы.

Материал и методы исследования. Объектами исследования были почвы Каменной Степи – залежи косимой 1882 г. (естественно сохранившегося биоценоза, фото 1) и почвы пашни 1952 г. (агроценоза). Почвы залежи 1882 г. представлены черноземами обыкновенными (автоморфными). Участок расположен между лесополосой № 40 (на западе) и заросшей деревьями и кустарником некосимой залежью (на востоке).



Фото 1 – Участок залежи косимой в заповеднике Каменная Степь

По классификации почв 1977 года эти почвы относятся к черноземам обыкновенным среднетощим среднегумусным легкоглинистым на лессовидных глинах, подстилаемых коричнево-бурыми покровными глинами; по классификации 2004 года они относятся к черноземам сегрегационным. Почвы пахотного участка представлены черноземами обыкновенными (автоморфными). Участок расположен на поле № 2 Южного селекционного севооборота. По классификации 1977 года это черноземы обыкновенные среднетощие среднегумусные легкоглинистые на лессовидных глинах, подстилаемых коричневатобурыми покровными глинами; по классификации 2004 года их относят к агрочерноземам сегрегационным [17—19].

В почве залежи косимой и пашни в слое 0-20 см изучалась структура микробного ценоза и активность почвенных ферментов во фракциях различного размера (1—2 мм; 2—3 мм; 3—5 мм; 5—10 мм; больше 10 мм).

Химические анализы проводили по следующим методикам: определение микробиологической активности почв включало определение структуры микробного ценоза почв. Численность эколого-трофических групп микроорганизмов определяли методом посева на твердые питательные среды. Учет организмов, усваивающих органические формы азота – посев на мясопептонный агар (МПА); учет организмов, ассимилирующих минеральные формы азота – посев на крахмально-аммонийной среде (КАА); учет организмов, минерализующих гумус – посев на нитратном агаре; учет грибов – среда Чапека; учет количества азотобактера – на почвенных пластинках; учет нитрификаторов – на голодном агаре [16]; учет организмов, разлагающих клетчатку – среда Виноградского [14]. Определение активности почвенных ферментов (инвертазы, каталазы и фосфатазы) – по унифицированным методикам А. Ш. Галстяна (1978) [3]; структурный состав – по Н. И. Саввинову [1]. Почвенные пробы отбирались на глубине 0—20 см. Календарный срок проведения исследований – середина вегетации полевых зерновых культур (фаза трубкования – колошение).

Результаты исследования и их обсуждение. Распашка почв естественных ценозов приводит к существенной перестройке почвенной матрицы. И, в первую очередь, происходят изменения физических параметров верхнего обрабатываемого слоя почвы. При агрогенном воздействии существенным образом происходит перегруппировка в составе почвенных агрегатов. Проведенные исследования структурного состояния черноземов с различным характером использования выявили существенное снижение доли агрономически ценных агрегатов в почвах, подверженных интенсивному агрогенному воздействию. Наиболее контрастно изменялась доля глыбистой части фракции (>10 мм). При практическом отсутствии ее в

Чевердин Ю. И., Титова Т. В., Беспалов В. А., Сапрыкин С. В., Гармашова Л. В., Чевердин А. Ю., Взаимосвязь микробиологических параметров и физических свойств черноземов сегрегационных // «Живые и биокосные системы». – 2017. – № 21; URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-21/article-2>

почвах залежи, в пахотных аналогах она резко увеличивалась. В почве пашни доля глыбистой фракции составила 22,6 %, что почти в 9 раз превышает аналогичный показатель залежного аналога (табл.1).

Таблица 1 – Структурный состав черноземов обыкновенных различного характера использования (2015—2016 гг.), %

Вариант	Глубина, см	Размер агрегатов, мм										
		>10	10-5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	< 0,25	$\sum_{10-0,25}$	$\sum_{>10+<0,25}$	Kc
Залежь, с 1882 г.	0—20	2,6	12,7	23,4	21,4	25,7	3,9	6,3	4,0	93,4	6,6	14,0
Пашня, с 1952 г.	0—20	22,6	11,9	14,8	19,5	25,1	2,1	2,9	1,1	76,3	23,7	3,2

Общей закономерностью является незначительное количество содержания доли пылевой фракции. Она варьировала в пределах 1,1—4,0 %. Причем, меньшие значения характерны для пахотного аналога. Это явление служит подтверждением дезагрегирующей роли механического воздействия почвообрабатывающих орудий на почвенный покров.

В почве как агрогоризонтов, так и естественных ценозов, лидирующее положение в составе агрономически ценных агрегатов занимает фракция размером 1—5 мм. Но, в относительном выражении, между этими угодами отмечается существенное различие. В почвах залежи на структурные отдельности размером 1—2, 2—3 и 3—5 мм приходилось примерно равное количество агрегатов. Их доля составила, соответственно: 25,7; 21,4 и 23,4 %. В общей сложности, на агрегаты размером 1—5 мм приходилось 70,5 % от общей массы.

В пахотной почве, несмотря на превалирование в структуре мезоагрегатов от 1 до 5 мм, их относительное содержание существенно изменялось. Фракцией доминантой являлись агрегаты размером 1—2 мм. На их долю приходилось 25,1 % агрегатов. Это значение, практически, равновелико значению залежной почвы (25,7 %). С увеличением размера структурных отдельностей, отмечается снижение их относительного содержания по отношению к почве естественных ценозов. Так, доля агрегатов 2—3 мм в агрогенной почве составила 19,5 % против 21,4 на залежи. Количество почвенных частиц размером 3—5 мм равнялось, соответственно, 23,4 и 14,8 %.

Несмотря на близкие значения содержания фракции 5—10 мм в сравниваемых почвах, в условиях агрогенного воздействия все же отмечается

незначительное уменьшение их количества. И еще несколько слов о фракции с минимальным размером (0,25—1,0 мм) из агрономически ценных агрегатов. В агрогенном слое почвы также характерно снижение их доли по сравнению с почвой залежи. В первом случае на долю агрегатов 0,25—1,0 мм приходилось 5,0 % от общего количества, во втором – практически в два раза больше – 10,2 %.

Таким образом, подводя итоги анализа структурного состояния залежных и агрогенных почв, необходимо отметить следующее. В условиях интенсивного использования пашни общей закономерностью являлось существенное снижение доли агрономически ценных агрегатов. Подтверждением этого явления служит существенное снижение коэффициента структурности – 3,2 на пашне, против 14,0 – на залежи. Вместе с этим, несмотря на незначительное количество пылеватой части почвенных агрегатов, в условиях агрогенного воздействия отмечено троекратное снижение их доли. К наиболее чувствительным компонентам почвенной агрономически ценной структуры можно отнести мезоагрегаты размером в интервале от 2 до 5 мм. При агрогенном воздействии отмечалось наиболее заметное уменьшение их относительного содержания (наряду с глыбистыми частицами).

Изменения в структурном составе, вызванные интенсивным антропогенным воздействием, несомненно, сказываются на характере направленности и взаимосвязи с другими почвенными процессами. В результате проведенных исследований были установлены закономерности изменения активности почвенных микроорганизмов в почвенных агрегатах различных фракций.

Важным компонентом почвенной микробиоты являются микроорганизмы (аммонификаторы), использующие органические формы азота, и участвующее в деструкции растительных остатков и отмерших корней растений. Общее фоновое количество аммонификаторов было намного выше в почве агроценозов. Так, в почве залежного участка количество данной группы микроорганизмов варьировало в интервале 7,61—8,88 млн КОЕ в 1 г почвы (табл.2).

В агрогенно измененной намного выше – 8,06—12,9 млн КОЕ. При этом, максимальное количество аммонификаторов, как в почве естественного ценоза, так и в пахотной характерно для агрегатов с минимальным размером – 1—2 мм. Увеличение размера структурных отдельностей вызывает закономерное снижение их активности. Причем, минимальная активность в залежной почве отмечена в агрегатах размером 2—3 мм – 7,61 млн КОЕ, в агрогоризонте во фракции 3—5 мм – 8,06 млн КОЕ. Причем тренд снижения активности аммонификаторов наиболее ярко выражен в пахотной почве.

Таблица 2 – Состав микробного ценоза во фракциях различного размера черноземов обыкновенных естественных биоценозов и агроценозов Каменной Стены

Объект исследован., глубина	Размер фракц., мм	МПА	КАА	Минерализаторы гумуса	Актиномицеты	КАА/МПА
Залежь 1882 г. (0—20 см)	1-2	8,88	20,9	7,61	3,8	2,4
	2-3	7,61	18,7	9,85	3,8	2,5
	3-5	8,19	20,2	8,19	3,46	2,5
	5-10	8,56	16,2	9,2	3,17	1,9
	>10	8,62	18,2	10,5	3,52	2,1
Пашня 1952 г. (0—20 см)	1-2	12,9	19,2	5,72	3,43	1,5
	2-3	12,1	17,9	5,76	3,17	1,5
	3-5	8,06	11,8	5,18	2,02	1,5
	5-10	11,0	14,8	4,93	3,12	1,3
	>10	10,9	15,2	4,58	3,15	1,4

Таким образом, можно отметить довольно четкую зависимость увеличения численности микроорганизмов, утилизирующих органические формы азота, с уменьшением размера почвенных частиц. Можно предположить, что в мелких агрегатах эти процессы протекают несколько активнее, за счет большей их удельной поверхности и, соответственно, за счет улучшенной возможности использования кислорода, необходимого для окисления органических веществ [2].

Микроорганизмы, произрастающие на крахмало-аммиачном агаре (КАА) и использующие минеральные формы азота для построения собственных клеток, в своем распределении имели четкую зависимость от размера почвенных частиц и характера агрогенного воздействия. Эта группа микроорганизмов относится к активным иммобилизаторам (табл.2) легкодоступного углерода. Более высокое фоновое их количество характерно для почв естественных ценозов – 16,2—20,9 млн КОЕ на 1 г почвы. Интенсивное агрогенное воздействие приводит к снижению активности микроорганизмов, использующих минеральные формы азота, до 11,8—19,2 млн КОЕ. Общей закономерностью является снижение количества микроорганизмов с увеличением размера мезоагрегатов. Причем, наиболее контрастно данное явление прослеживается в агрогенно-измененной почве. Так, если в почве залежи максимальное снижение численности микроорганизмов с увеличением размера структурных отдельностей

составляет 29,0%, то в пахотной почве, соответственно, уже 62,7%. Подтверждением снижения активности данной группы микроорганизмов является достаточно высокий коэффициент корреляции – $r = -0,81 \pm 0,13$. По всей видимости, мелкие агрегаты, обладая большей удельной поверхностью, активизируют процессы иммобилизации легкодоступного углерода и, соответственно, за счет улучшенной возможности использования кислорода, необходимого для окисления органических веществ [2].

Соотношение КАА:МПА показывает отношение общей численности микроорганизмов, использующих минеральный азот к общему числу микроорганизмов, разлагающих органическое вещество, отражающее степень участия микрофлоры в процессе трансформации органического вещества почвы [20]. Причем, минерализационные процессы органического вещества, в данных исследованиях, максимально выражены в агрегатах более мелкого размера. Подтверждением этого служат расширение соотношения микроорганизмов, утилизирующих минеральные формы азота, к количеству микроорганизмов, утилизирующих органические формы азота. Вместе с тем, необходимо отметить интенсификацию минерализационных процессов в почвах естественного ценоза. Соотношение КАА: МПА в этом случае составило 1,9—2,5, в почвах пашни оно снижалось до 1,3—1,5. Это связано, по всей видимости, с разным количеством свежего органического вещества, поступающего в почву.

Актиномицеты относятся к большой группе микроорганизмов, обладающих способностью к деструкции и синтезу сложных органических соединений. Они обладают значительным набором разнообразных ферментов. Более высокая численность актиномицетов отмечается в почве естественного ценоза во фракциях более мелкого размера (табл. 2). В агрогенном горизонте пашни, при общем снижении их численности, также более высокая их активность характерна для агрегатов мелкого размера. Статистическая обработка установила среднюю отрицательную корреляционную взаимосвязь численности актиномицетов и размером почвенных агрегатов. Коэффициент парной корреляции равнялся $r = -0,60 \pm 0,11$.

Содержание актиномицетов во фракциях меньшего размера было больше, чем во фракциях более крупного размера, что, по-видимому, связано с тем, что актиномицеты являются прокариотами, требовательными к содержанию кислорода. В агрегатах меньшего размера больше удельный размер пор, и складываются лучшие условия аэрации. Вследствие этого, сложные органические вещества минерализуются актиномицетами до простых соединений [22]. Таким образом, с увеличением размера фракций количество актиномицетов уменьшалось.

Важным компонентом почвенной биоты является численность колоний минерализаторов гумуса. В почвенной массе с различной скоростью

Чевердин Ю. И., Титова Т. В., Беспалов В. А., Сапрыкин С. В., Гармашова Л. В., Чевердин А. Ю., Взаимосвязь микробиологических параметров и физических свойств черноземов сегрегационных // «Живые и биокосные системы». – 2017. – № 21; URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-21/article-2>

протекают процессы минерализации и гумификации растительно-корневых остатков. Оценка активности минерализаторов гумуса показала их существенную изменчивость, определяемую, в первую очередь, характером использования почвенного покрова. И, во-вторых, соотношением структурных отдельностей почвенных агрегатов. Наиболее активно минерализационные процессы гумуса, судя по количеству соответствующих микроорганизмов, протекают на залежи. Их численность варьировала в интервале от 7,61 до 10,5 млн КОЕ в 1 г почвы (табл. 2). Причем, в этом случае увеличение активности отмечается с ростом размера структурных отдельностей, с максимальным значением в глыбистых частицах.

В агрогенно-измененной почве отмечается общее, значительно меньшее, количество минерализаторов гумуса. Численность их изменялась в пределах от 4,58 до 5,76 млн КОЕ /1 г почвы. При этом, в данном случае, в отличие от пашни, увеличение размера мезоагрегатов вызывает снижение активности минерализаторов гумуса. В подтверждение этого служит высокий коэффициент парной корреляции, который составил величину $r = -0,96 \pm 0,23$.

Важной составляющей почвенного плодородия, связанной с азотным циклом в почве, является активность азотобактера. Наличие аэробной фиксации азота оценивается по встречаемости в почве бактерий рода *Azotobacter* [22]. Основным момент, на котором необходимо заострить внимание – это отсутствие азотобактера в почвах естественных ценозов. В агрогенном горизонте пахотной почвы выявлена следующая закономерность – незначительное варьирование количества колоний азотофиксирующих бактерий рода в мезоагрегатах различного размера. Численность их изменялась в пределах 363—383 колоний в 50 г почвы. Какую-либо существенную закономерность, связанную с размером почвенных агрегатов, выявить довольно проблематично. Необходимо лишь отметить наиболее высокую численность азотобактера в глыбистых частицах (>10 мм) и во фракции 1—2 мм – 373 и 383 колоний в 50 г почвы (табл. 3).

Таблица 3 – Структура микробного ценоза во фракциях различного размера чернозема обыкновенного пашни 1952 г. и залежи 1882 г. Каменной Степи

Объект исследован., глубина	Размер фракции, мм	Грибы, тыс. КОЕ/1г абс. сух. п-вы	Целлюлозолитические микроорганизмы, тыс. КОЕ/1 г абс. сух. п-вы	Азотобактер, шт. колоний в 50 г почвы
Пашня 1952 г. (0—20 см)	1—2	27,2	62,9	383
	2—3	13,0	57,6	368
	3—5	25,9	49,0	372

	5—10	27,6	49,3	363
	>10	31,5	74,4	377
Залежь 1882 г. (0—20 см)	1—2	24,2	28,5	0
	2—3	25,7	38,1	0
	3—5	25,5	34,7	0
	5—10	22,7	34,9	0
	>10	27,4	35,1	0

Разложение клетчатки происходит при участии специализированных групп микроорганизмов – целлюлозоразрушающих бактерий и грибов. В последнее время установлено, что и актиномицеты активно участвуют в этом процессе. По нашим данным, интенсивное агрогенное воздействие приводит к существенному увеличению численности целлюлозолитиков. В пахотной почве количество целлюлозолитических микроорганизмов изменялось в пределах 49,0—74,4 тыс. КОЕ, что существенным образом превышает показатели залежной почвы (табл.3). В почве естественного ценоза их численность варьировала в интервале 28,5—35,1 тыс. КОЕ /1 г почвы.

Максимальное количество целлюлозолитиков содержится в глыбистой фракции агрогенных почв (74,4 тыс. КОЕ), затем в агрегатах средних размеров уменьшается и стабилизируется на более низком уровне (49,0—49,3 тыс. КОЕ). Далее в агрегатах мелкого размера (1—3 мм) снова увеличивается на 17,6 —28,4%. Как следует из приведенных данных, максимальное значение отмечено во фракции размером более 10 мм. По всей видимости, это связано с тем, что при вспашке образуется больше агрегатов крупного размера, несущих в себе более грубые растительные остатки.

В почвах естественных биоценозов характер распределения содержания целлюлозолитиков, в зависимости от размера агрегатов, несколько отличался от степных почв. В глыбистой фракции (>10 мм) и в мезоагрегатах более крупного размера (5—10 и 3—5 мм) численность целлюлозоразлагающих микроорганизмов поддерживается на примерно одинаковом уровне. Отмечается лишь незначительное их варьирование – от 34,7 до 35,1 тыс. КОЕ в 1 г почвы. Дальнейшее снижение размера агрегатов (до 2—3 мм) увеличивает количество целлюлозолитиков до 38,1 тыс. КОЕ. Минимальное значение характерно для почвенных частиц размером 1—2 мм.

Содержание целлюлозолитических микроорганизмов почвы естественного биоценоза во фракции 1—2 мм также не совпадает с общей закономерностью – их в этой фракции содержалось минимальное количество (табл. 3) , что может быть связано с тем, что энергетическим материалом микробной деятельности в целинных черноземах является растительный опад, который остается в ненарушенном виде и не трансформируется так, как это происходит в почвах пашен при ежегодной перепашке, ускоряющей процессы минерализации.

Почвенные грибы представляют крупную экологическую группу, участвующую в минерализации органических остатков растений и животных и в образовании гумуса [5]. Грибы являются основными деструкторами таких сложных соединений, как лигнин, хитин, дубильные вещества, целлюлоза, гумус, делая возможным дальнейшее их использование другими организмами. Темная окраска мицелия некоторых микромицетов обусловлена накоплением меланиноподобных пигментов и имеет прогумусовый характер. Грибы требовательны к условиям аэрации, поэтому богаче представлены в верхних горизонтах почвы [7]. К основным деструкторам растительных остатков относятся микроскопические грибы [22].

Результаты проведенных исследований показывают, что распределение количества грибов по агрегатам относительно равномерное. Минимальное количество грибной микрофлоры, содержалось во фракции 2—3 мм почвы пашни и во фракции 5—10 мм почвы залежи (табл. 3). Наибольшее количество грибов содержалось как во фракциях меньшего размера – 1—2 мм почвы агроценоза, так и более крупных фракциях – 5—10 мм и >10 мм этой же почвы. В почве залежи наибольшее количество грибной микрофлоры приходилось на фракцию >10 мм. Вследствие этого, отмечается положительная корреляционная зависимость: коэффициент корреляции $r = 0,72 \pm 0,15$.

В наших исследованиях определялась также активность почвенных ферментов во фракциях различного размера почв естественного биоценоза и агроценоза.

Важную роль в обеспечении растений элементами минерального питания играет *фосфатаза*. Этот фермент отвечает за минерализацию органического фосфора. Фосфатазы гидролизуют разнообразные фосфомоноэфиры, осуществляют мобилизацию закрепленного в органическом веществе фосфора [22].

Интенсивное сельскохозяйственное использование почвенных ресурсов привело к существенному снижению фосфатазной активности. Её активность при этом варьировала в интервале от 44,0 до 92,5 мг фенолфталеина на 100 г почвы (табл.4).

Таблица 4 – Активность почвенных ферментов во фракциях различного размера чернозема обыкновенного залежи 1882 г. и пашни 1952 г. Каменной Степи (5.05.2015 г.)

Объект исследован., глубина	Размер фракций, мм	Фосфатаза, мг фенолфтала. на 100 г возд. - сух. почвы	Инвертаза, мг глюкозы на 100 г возд. - сух. почвы	Уреаза, мг NH ₃ на 100 г возд.-сух. почвы	Каталаза, выд. O ₂ за 3 мин на 1 г возд.- сух. почвы
Залежь 1882 г. (0—20 см)	1—2	122,5	6238	268	20,3
	2—3	137,5	6180	332	19,6
	3—5	145	5710	334	19,9
	5—10	160	5600	354	19,3
	>10	147,5	5260	276	18,8
Пашня 1952 г. (0—20 см)	1—2	44,0	4813	148	22,3
	2—3	47,5	4910	152	20,8
	3—5	66,0	4600	152	20,5
	5—10	90,0	4750	174	23,8
	>10	92,5	4813	160	23,1

В залежной почве отмечается существенное увеличение – до 137,5—160 мг фенолфталеина. Как в почве залежи, так и в агрогенноизмененной почве, минимальная активность фермента отмечается в агрегатах мелкого размера. С увеличением размера почвенных агрегатов происходит рост фосфатазной активности. Причем, в почве естественного биоценоза рост активности происходит более медленными темпами. Различие между минимальным показателем активности в агрегатах размером 1—2 мм и максимальным в глыбистой части почвенных частиц (>10 мм) составило примерно 30%. В то время, как в агрогенном горизонте эти различия составили более 227%. Причем, в пахотной почве максимально высокий показатель активности отмечен в глыбистой фракции – 92,5 мг фенолфталеина, в залежной – в агрегатах 5—10 мм. Для почв естественных ценозов была характерна более выравненная фосфатазная активность между структурными отдельностями, и изменения происходили более плавно. В пахотных же почвах отмечен скачкообразный характер изменения по мере увеличения размера агрегатов.

Инвертаза катализирует реакции гидролитического расщепления сахарозы на эквимолярные количества глюкозы и фруктозы, воздействует также на другие углеводы с образованием молекул фруктозы – энергетического продукта для жизни микроорганизмов, катализирует фруктозотрансферазные реакции. Исследования многих авторов показали, что активность инвертазы лучше других ферментов отражает уровень плодородия и биологической активности почв [22].

Оценка инвертазной активности чернозема различной направленности использования показала разнонаправленный характер ее изменения в зависимости от размера почвенных агрегатов. В почве залежного участка, при более высоких фоновых значениях, увеличение размера почвенных структур приводит к снижению активности инвертазы. Максимальные показатели отмечены в агрегатах 1—2 мм – 6238 мг глюкозы на 100 почвы. Минимальные – в глыбистой фракции (>10 мм) – 5260 мг глюкозы (табл. 4).

Распашка приводит к заметному снижению инвертазной активности – до 4600—4910 мг. В самой мелкой и, соответственно, наиболее крупной части структурных отдельностей отмечена одинаковая активность – 4813 мг глюкозы. По мере увеличения размера почвенных частиц с 1—2 до 2—3 активность инвертазы достигает максимального значения – 4910 мг. Минимальные значения отмечены во фракциях размером 3—5 и 5—10 мм – 4600 и 4750 мг глюкозы соответственно. Таким образом, агрогенное воздействие способствует снижению инвертазной активности чернозема.

Уреаза относится к ферментам, участвующим в превращении белковых веществ. Аммиак, образовавшийся в результате уреазной реакции, служит источником питания растений. Активность уреазы является одним из важнейших показателей биологической активности почвы. Уреаза катализирует распад мочевины на аммиак и углекислоту [22].

Анализ уреазной активности выявил общую закономерность для исследованных почв. По мере увеличения размера структурных отдельностей, отмечается повышение активности данного фермента, достигающего максимальных величин в агрегатах 5—10 мм. Затем, в глыбистой части отмечается заметное снижение. Агрогенное воздействие при этом снижает темпы биохимических процессов практически в два раза. В залежной почве активность уреазы варьировала в интервале от 268 до 354 мг NH_3 на 100 г. В условиях интенсивного агрогенного воздействия – от 148 до 174 мг NH_3 (табл.4). Причем, максимальные значения характерны для агрегатов более крупного размера 5—10 мм – 354 и 174 мг NH_3 .

Каталаза предохраняет клетки от повреждения при образовании в ходе биохимических реакций перекиси водорода [22].

Анализ активности каталазы, в зависимости от характера использования угодий, показывает на определенные различия. Более высокие значения отмечаются в пахотной почве. Особенностью, при этом, являются более близкие значения каталазной активности агрогенной и залежной почв. В почве естественного ценоза она варьировала в интервале 20,5—23,8 выделения O_2 за 3 минуты, в агроценозе – 18,8—20,3 (табл. 4). Но, несмотря на это, более высокая активность свойственна ненарушенной агрогенным воздействием почве.

Что касается влияния размера почвенных агрегатов, то необходимо отметить следующие особенности. В естественной почве, по мере

Чеве́рдин Ю. И., Титова Т. В., Беспалов В. А., Сапрыкин С. В., Гармашова Л. В., Чеве́рдин А. Ю., Взаимосвязь микробиологических параметров и физических свойств черноземов сегрегационных // «Живые и биокосные системы». – 2017. – № 21; URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-21/article-2>

увеличения размера структурных отдельностей, активность каталазы снижается. В агрогенном горизонте черноземной почвы увеличение размера агрегатов вначале способствует снижению активности (фракции 2—3 и 3—5 мм). Затем происходит существенный рост, достигающий максимальных значений в отдельностях размером 5—10 мм – 23,8 выделения O_2 за 3 минуты.

Заключение

Интенсивное агрогенное воздействие на почву приводит к существенным изменениям структурного состояния черноземов и связанных с этим биохимических почвенных процессов. Проведенные исследования позволили установить, что численность почвенных бактерий хорошо коррелирует с характером использования угодий, и обусловленное этим воздействием изменение физических параметров плодородия. Максимальная численность большинства групп микроорганизмов выявлена в агрономически ценных агрегатах. Увеличение численности отмечается при уменьшении размера почвенных структур.

Результаты проведенных исследований позволяют регулировать микробиологические и биохимические процессы в почве через оптимизацию структурного состояния черноземов. Количество аммонификаторов больше в мелких фракциях, как и иммобилизаторов углерода. Размер почвенных агрегатов определяет и количество почвенных микроорганизмов, развивающихся в них.

Активность таких почвенных ферментов, как фосфатаза, инвертаза, уреазы, выше в почве естественного биоценоза по сравнению с почвой агроценоза. Активность же каталазы, напротив, выше в почве агроценоза, чем в почве естественного биоценоза. Наибольшую активность почвенные ферменты показали во фракциях меньшего размера. Из всего вышесказанного можно сделать следующий вывод: регулируя физические свойства почвы, в частности, структурное состояние, можно влиять как на количество микроорганизмов, так и на количество почвенных ферментов, определяющих интенсивность почвенно-биологических процессов, происходящих в почве, и, как следствие этого, на плодородие почвы.

В почве залежи биохимические процессы направлены на запасание и сохранение азота в экосистеме. В почвах пашни усиление разложения органики на ранних стадиях сменяется исчерпанием её запасов и разложением гумусовых веществ.

Список литературы

1. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв / М. Агропромиздат, 1986. – 416 с.
2. Василенко Е. С., Кутовая О. В., Тхакахова А. К., Мартынов А. С. Изменение численности микроорганизмов в зависимости от величины агрегатов гумусового горизонта миграционно-мицелярного чернозема // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. № 73. 2014. – С. 150—173.
3. Галстян А. Ш. Определение активности ферментов почв. Ереван, 1978. – 275 с.
4. Городничев Р. Б., Полянская Л. М. Оценка влияния питательных веществ на размеры и рост численности разных размерных групп бактерий // Современные проблемы физиологии, экологии и биотехнологии микроорганизмов: материалы Всероссийского симпозиума с международным участием. Москва: МАКС Пресс, 2014. – С. 66.
5. Звягинцев Д. Г., Бабьева И. П., Зенова Г. М. Биология почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. – 445 с.
6. Иванова Е. И., Кутовая О. В., Тхакахова А. К., Чернов Т. И., Першина Е. В., Маркина Л. Г., Андронов Е. Е., Когут Б. М. Структура микробного сообщества агрегатов чернозема типичного в условиях контрастных вариантов сельскохозяйственного использования // Почвоведение. 2015. № 11. – С. 1367—1383.
7. Кутовая О. В., Тхакахова А. К., Чевердин Ю. И. Влияние поверхностного переувлажнения на биологические свойства лугово-черноземных почв Каменной Степи // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. № 82. 2016. – С. 56—70.
8. Лебедева И. И., Королева И. Е., Гребенников А. М. Концепция эволюции черноземов в условиях агроэкосистем // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. № 71. 2013. – С. 16—26.
9. Лебедева И. И., Чевердин Ю. И., Титова Т. В., Гребенников А. М., Маркина Л. Г. Структурное состояние миграционно-мицелярных (типичных) агрочерноземов Каменной Степи в условиях разновозрастной пашни // Почвоведение. 2017. № 2. – С. 227—238.
10. Кутовая О. В., Гребенников А. М., Чевердин Ю. И., Маркина Л. Г. Влияние длительности использования агрочерноземов в земледелии на мезофауну и активность микрофлоры // Аграрная Россия. 2017. № 1. – С. 2—9.
11. Кутовая О. В., Гребенников А. М., Чевердин Ю. И. Изменение свойств миграционно-мицелярных агрочерноземов при их использовании в земледелии // European research: сборник статей победителей VIII

Чевердин Ю. И., Титова Т. В., Беспалов В. А., Сапрыкин С. В., Гармашова Л. В., Чевердин А. Ю., Взаимосвязь микробиологических параметров и физических свойств черноземов сегрегационных // «Живые и биокосные системы». – 2017. – № 21; URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-21/article-2>

- международной научно-практической конференции. Пенза, 2017. – С. 90—97.
12. Полянская Л. М., Иванов К. Е., Звягинцев Д. Г. Изменение численности граммотрицательных бактерий в черноземе при инициации сукцессии увлажнением и внесением хитина и целлюлозы // Почвоведение. 2012. № 10. – С. 1089—1098.
 13. Полянская Л. М., Горбачева М. А., Милановский Ю. И., Звягинцев Д. Г. Оценка развития микроорганизмов в аэробных и анаэробных условиях в черноземе // Почвоведение. 2010. № 3. – С. 356—360.
 14. Практикум по микробиологии / Под ред. Егорова Н. С. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1976. – 307 с.
 15. Степанов А. Л., Манучарова Н. А., Полянская Л. М. Продуцирование закиси азота бактериями в почвенных агрегатах // Почвоведение. 1997. № 8. – С. 973—976.
 16. Теппер Е. З., Шильникова В. К., Переверзева Г. И. Практикум по микробиологии. М.: Дрофа, 2005. – 256 с.
 17. Титова Т. В. Трансформация физических и физико-химических свойств почв Каменной Степи в условиях сезонного переувлажнения: дис. ...канд. биол. наук: 03.02.13: утв. 29.05.12. Воронежский государственный университет. Каменная Степь, 2011. – 162 с.
 18. Титова Т. В. Трансформация физических и физико-химических свойств почв Каменной степи в условиях сезонного переувлажнения: автореф. на соиск. ученой степ. канд. биол. наук: 03.02.13 – почвоведение. Воронеж, 2011. – 23 с.
 19. Титова Т. В., Чевердин Ю. И., Беспалов В. А., А. Н. Рябцев, Гармашова Л. В., Рыбакова Н. П., Шеншина Н. А. Изменение дифференциальной порозности почв Каменной Степи в условиях сезонного переувлажнения // Агрофизика. 2016. № 2. – С. 1—10.
 20. Турусов В. И., Дронова Н. В. Влияние основной обработки и агрохимикатов на микробиологический состав почвы // Модернизация агротехнологий в адаптивно-ландшафтном земледелии Центрального Черноземья: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Каменная Степь, 18-19 июня 2014. – С. 141—144.
 21. Турусов В. И., Гармашов В. М., Абанина О. А., Дронова Н. В. Биологическая активность в посевах озимой пшеницы в зависимости от севооборотов и предшественников // Докучаевское наследие: итоги и перспективы развития научного земледелия в России: сборник научных докладов Международной научно – практической конференции. Каменная Степь, 26-27 июня 2012 г. Воронеж: «Истоки», 2012. 384 с. – С.319— 323.
 22. Чевердин Ю. И., Рябцев А. Н., Титова Т. В., Беспалов В. А., Чевердин А. Ю., Сапрыкин С. В. Научное обоснование и взаимосвязь

Чевердин Ю. И., Титова Т. В., Беспалов В. А., Сапрыкин С. В., Гармашова Л. В., Чевердин А. Ю., Взаимосвязь микробиологических параметров и физических свойств черноземов сегрегационных // «Живые и биокосные системы». – 2017. – № 21; URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-21/article-2>

- агрофизических параметров с эффективным плодородием почвы // Состояние почв Центрального Черноземья России и проблемы воспроизводства их плодородия: сборник научных докладов Всероссийской научно-практической конференции (23-24 июня 2015 г.). Каменная Степь. Воронеж: изд-во «Истоки», 2015. – С. 56—61.
23. Чернов Т.И., Тхакахова А. К., Иванова Е. А., Кутовая О. В., Турусов В. И. Сезонная динамика почвенного микробиома многолетнего агрохимического опыта на черноземах Каменной Степи // Почвоведение. 2015. № 12. – С. 1483—1489.
24. Чернов Т. И., Тхакахова А. К., Кутовая О. В., Железнова А. Д. Метагеномный анализ микробных сообществ генетических горизонтов почв // Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности страны: тезисы докладов VII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Всероссийской с международным участием научной конференции (Белгород, 15-22 августа 2016 г.). Изд-во: Издательский дом «Белгород». 2016. С. 246—247.
25. Электронный ресурс. - Режим доступа:
<http://www.agrocounsel.ru/mikroorganizmy-v-pochve>

Spisok literatury

1. Vadyunina A. F., Korchagina Z. A. *Metody issledovaniya fizicheskix svojstv pochv / M. Agropromizdat, 1986. 416 s.*
2. *Izmenenie chislennosti mikroorganizmov v zavisimosti ot velichiny agregatov gumusovogo gorizonta migracionno-micelyarnogo chernozema / E. S. Vasilenko, O. V. Kutovaya, A. K. Txakaxova, A. S. Martynov // Byulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva. № 73. 2014. S. 150—173.*
3. Galstyan A. Sh. *Opredelenie aktivnosti fermentov pochv. Erevan, 1978. 275 s.*
4. Gorodnichev R. B., Polyanskaya L. M. *Ocenka vliyaniya pitatel'nyx veshhestv na razmery i rost chislennosti raznyx razmernyx grupp bakterij // Sovremennye problemy fiziologii, e'kologii i biotexnologii mikroorganizmov: materialy Vserossijskogo simpoziuma s mezhdunarodnym uchastiem. Moskva: MAKS Press, 2014. S. 66.*
5. Zvyagincev D. G., Bab'eva I. P., Zenova G. M. *Biologiya pochv. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 2005. 445 s.*
6. *Struktura mikrobnogo soobshhestva agregatov chernozema tipichnogo v usloviyax kontrastnyx variantov sel'skoxozyajstvennogo ispol'zovaniya/ E. I. Ivanova, O. V. Kutovaya, A. K. Txakaxova, T. I. Chernov, E. V. Pershina, L. G. Markina, E. E. Andronov, B. M. Kogut // Pochvovedenie. 2015. № 11. S. 1367—1383.*
7. *Vliyanie poverxnostnogo pereuvlazhneniya na biologicheskie svojstva lugovo-chernozemnyx pochv Kamennoj Stepi/ O. V. Kutovaya, A. K. Txakaxova, Yu. I. Cheverdin // Byulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva. № 82. 2016. S. 56—70.*
8. *Lebedeva I. I., Koroleva I. E., Grebennikov A. M. Konceptiya e'voljucii chernozemov v usloviyax agroekosistem // Byulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva. № 71. 2013. S. 16—26.*
9. *Strukturnoe sostoyanie migracionno-micelyarnyx (tipichnyx) agrochernozemov Kamennoj Stepi v usloviyax raznovozrastnoj pashni/ I. I. Lebedeva, Yu. I. Cheverdin, T. V. Titova, A. M. Grebennikov, L. G. Markina // Pochvovedenie. 2017. № 2. S. 227—238.*
10. *Vliyanie dlitel'nosti ispol'zovaniya agrochernozemov v zemledelii na mezofaunu i aktivnost' mikroflory/ O. V. Kutovaya, A. M. Grebennikov, Yu. I. Cheverdin, L. G. Markina // Agrarnaya Rossiya. 2017. № 1. S. 2—9.*
11. *Kutovaya O. V., Grebennikov A. M., Cheverdin Yu. I. Izmenenie svojstv migracionno-micelyarnyx agrochernozemov pri ix ispol'zovanii v zemledelii // European research: sbornik statej pobeditelej VIII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Penza. 2017. S. 90—97.*
12. *Polyanskaya L. M., Ivanov K. E., Zvyagincev D. G. Izmenenie chislennosti gramotricatel'nyx bakterij v chernozeme pri iniciacii sukcesii uvlazhneniem*

Чеве́рдин Ю. И., Титова Т. В., Беспалов В. А., Сапрыкин С. В., Гармашова Л. В., Чеве́рдин А. Ю., *Взаимосвязь микробиологических параметров и физических свойств черноземов сегрегационных // «Живые и биокосные системы». – 2017. – № 21; URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-21/article-2>*

- i vneseniem xitina i cellyulozy // Pochvovedenie. 2012. № 10. S. 1089—1098.
13. Ocenka razvitiya mikroorganizmov v ae'robnyx i anae'robnyx usloviyax v chernozeme/ L. M. Polyanskaya, M. A. Gorbacheva, Yu. I. Milanovskij, D. G. Zvyagincev // Pochvovedenie. 2010. № 3. S. 356—360.
 14. Praktikum po mikrobiologii / Pod red. Egorova N. S. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1976. 307 s.
 15. Stepanov A. L., Manucharova N. A., Polyanskaya L. M. Producirovanie zakisi azota bakteriyami v pochvennyx agregatax // Pochvovedenie. 1997. № 8. S. 973—976.
 16. Tepper E. Z., Shil'nikova V. K., Pereverzeva G. I. Praktikum po mikrobiologii. M.: Drofa, 2005. 256 s.
 17. Titova T. V. Transformaciya fizicheskix i fiziko-ximicheskix svojstv pochv Kamennoj Step'i v usloviyax sezonnogo pereuvlazhneniya: dis. ...kand. biol. nauk: 03.02.13: utv. 29.05.12. Voronezhskij gosudarstvennyj universitet. Kamennaya Step', 2011. 162 s. S. 34.
 18. Titova T. V. Transformaciya fizicheskix i fiziko-ximicheskix svojstv pochv Kamennoj stepi v usloviyax sezonnogo pereuvlazhneniya: avtoref. na soisk. uchenoj step. kand. biol. nauk: 03.02.13 - pochvovedenie. Voronezh, 2011. 23 s. S. 6.
 19. Izmenenie differencial'noj poroznosti pochv Kamennoj Step'i v usloviyax sezonnogo pereuvlazhneniya/ T. V. Titova, Yu. I. Cheverdin, V. A. Bupalov, A. N. Ryabcev, L. V. Garmashova, N. P. Rybakova, N. A. Shenshina // Agrofizika. 2016. № 2. S. 1—10.
 20. Turusov V. I., Dronova N. V. Vliyanie osnovnoj obrabotki i agroximikatov na mikrobiologicheskij sostav pochvy // Modernizaciya agrotexnologij v adaptivno-landshaftnom zemledelii Central'nogo Chernozem'ya: materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Kamennaya Step', 18-19 iyunya 2014. S. 141—144.
 21. Turusov V. I., Garmashov V. M., Abanina O. A., Dronova N. V. Biologicheskaya aktivnost' v posevax ozimoy pshenicy v zavisimosti ot sevooborotov i predshestvennikov // Dokuchaevskoe nasledie: itogi i perspektivy razvitiya nauchnogo zemledeliya v Rossii: sbornik nauchnyx dokladov Mezhdunarodnoj nauchno – prakticheskoy konferencii. Kamennaya Step', 26-27 iyunya 2012 g. Voronezh: «Istoki», 2012. 384 s. S.319 —323.
 22. Cheverdin Yu. I., Ryabcev A. N., Titova T. V., Bupalov V. A., Cheverdin A. Yu., Saprykin S. V. Nauchnoe obosnovanie i vzaimosvyaz' agrofizicheskix parametrov s e'ffektivnym plodorodiem pochvy // Sostoyanie pochv Central'nogo Chernozem'ya Rossii i problemy vosпроизводства ix plodorodiya: sbornik nauchnyx dokladov Vserossijskoj

- nauchno-prakticheskoy konferencii (23—24 iyunya 2015 g.). Kamennaya Step'. Voronezh: izd-vo «Istoki», 2015. 362 s. S. 56-61.
23. Sezonnaya dinamika pochvennogo mikrobioma mnogoletnego agrohimicheskogo opyta na chernozemax Kamennoj Step'i/ T.I. Chernov, A. K. Txakaxova, E. A. Ivanova, O. V. Kutovaya, V. I. Turusov // Pochvovedenie. 2015. № 12. S. 1483—1489.
24. Chernov T. I., Txakaxova A. K., Kutovaya O. V., Zheleznova A. D. Metagenomnyj analiz mikrobnyx soobshhestv geneticheskix gorizontov pochv // Pochvovedenie – prodovol'stvennoj i e'kologicheskoy bezopasnosti strany: tezisy dokladov VII s"ezda Obshhestva pochvovedov im. V.V. Dokuchaeva i Vserossijskoj s mezhdunarodnym uchastiem nauchnoj konferencii (Belgorod, 15-22 avgusta 2016 g.). Izd-vo: Izdatel'skij dom «Belgorod». 2016. S. 246—247.
25. E'lektronnyj resurs. - Rezhim dostupa:
<http://www.agrocounsel.ru/mikroorganizmy-v-pochve>