

УДК 631.46

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.62

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА АГРОЛЕСОМЕЛИОРАТИВНЫХ ЛАНДШАФТОВ КАМЕННОЙ СТЕПИ

*М.Ю. Сауткина*¹, канд. с.-х. наук; ORCID: [0000-0001-9244-1177](https://orcid.org/0000-0001-9244-1177)

Ю.И. Чевердин^{2,3}, д-р биол. наук; ORCID: [0000-0002-9905-0547](https://orcid.org/0000-0002-9905-0547)

¹Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии, ул. Ломоносова, д. 105, г. Воронеж, Россия, 394087; e-mail: sautmar@mail.ru

²Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Центрально-Черноземной полосы им. В.В. Докучаева, д. 81, кв. 5, пос. 2-го участка Института им. В.В. Докучаева, Таловский р-н, Воронежская обл., Россия, 397463; e-mail: cheverdin62@mail.ru

³Каменно-Степное опытное лесничество, д. 64а, кв. 3, пос. 2-го участка Института им. В.В. Докучаева, Таловский р-н, Воронежская обл., Россия, 397463; e-mail: cheverdin62@mail.ru

Содержание микробной биомассы является наиболее информативным индикаторным признаком для ранней диагностики состояния почв. Почвенные микроорганизмы поддерживают гомеостаз лесных экосистем благодаря уникальной способности быстро адаптироваться к меняющимся условиям среды. В статье представлены результаты микробиологической оценки почв, проводимой в рамках комплексных мониторинговых исследований лесных экосистем Каменной Степи. В качестве объектов служили различные объекты агролесомелиоративного стационара: залежь косимая 1882 г.; лесная полоса № 40 1903 г. закладки, расположенная на водораздельном участке; лесная полоса № 133 1950 г. посадки; лесная полоса № 131 1959 г. посадки. Дополнительно в схему исследований были включены пахотные участки, прилегающие к лесным полосам № 40, 133 (водораздел, склон). Целью исследования являлось определение биологической активности почв Каменной Степи, а также направленности и интенсивности почвенно-биологических процессов при агролесокультурном обустройстве территории. Общую численность и структуру эколого-трофических групп микробного сообщества определяли по методике Е.З. Теппер путем высева на плотные питательные среды. Показано, что почвенный покров под древесными насаждениями характеризуется более высоким содержанием аммонификаторов и актиномицетов. Интенсивное сельскохозяйственное использование земель существенным образом снижает интенсивность микробиологических процессов. Проведенные исследования позволяют утверждать, что наиболее благоприятные условия для развития микромицетов складываются в почвах под древесной и аборигенной степной растительностью. Вовлечение черноземов в активное сельскохозяйственное производство приводит к снижению численности грибной микрофлоры. Выявлено повышенное содержание нитрификаторов на пахотных участках. Угодья с древесной растительностью и степными ценозами имели меньшие показатели и несколько уступали агрогенным почвам. Ежегодная обработка почв имеет решающее значение и способствует увеличению активности колоний бактерий рода *Azotobacter* на пахотных участках. Под древесными культурами и степной растительностью в большинстве случаев она значительно меньше, для исследуемых почв рассчитаны коэффициенты минерализации. В связи с тем, что данные коэффициенты во всех исследуемых объектах выше единицы (за исключением поля, находящегося под озимой пшеницей и граничащего с лесополосой № 133), можно сделать вывод, что процессы минерализации почвенного органического вещества преобладают над разложением органических остатков.

Для цитирования: Сауткина М.Ю., Чевердин Ю.И. Микробиологическая оценка состояния почвенного покрова агролесомелиоративных ландшафтов Каменной Степи // Лесн. журн. 2019. № 6. С. 62–78. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.62

Финансирование: Работа выполнена в рамках государственного задания Всероссийского научно-исследовательского института лесной генетики, селекции и биотехнологии.

Ключевые слова: лесные полосы, агролесомелиоративный комплекс, микробный пул, биологическая активность почв.

Введение

Создание лесных культур в нашей стране имеет более чем 300-летнюю историю. Уже к концу XIX в. был накоплен значительный практический опыт в лесокультурном деле. До революции в лесостепных и степных районах было создано всего 0,6 млн га лесных полос, а за всю историю лесоразведения в России – более 5,0 млн га защитных лесных насаждений, в том числе 2,9 млн га полезащитных лесных полос [19, 21, 27]. К сожалению, сохранились только 1,2 млн га. Сегодня искусственные леса являются важной составной частью единой системы леса. Их можно охарактеризовать как открытую биологическую систему, управляемую человеком в нужном для него хозяйственном направлении [13].

Наиболее важное значение защитное лесоразведение имеет в Центральном-Черноземном регионе (ЦЧР), где распаханно около 70 % земель и который характеризуется широкой сетью овражно-балочных систем, повторяющимися засухами, усиливающейся антропогенной нагрузкой в условиях меняющегося в последние десятилетия климата. Данные факторы в первую очередь наносят огромный ущерб почвенному покрову [27]. Известно, что защитные лесные насаждения обладают высокой способностью регулировать атмосферные явления, восстанавливать экологический баланс в деградированных ландшафтах и служат одним из основных препятствий, сдерживающих процессы остепнения южных районов ЦЧР [15, 18]. Создание лесных полос связано с особенностями биологии древесных пород, проблемами агротехники выращивания, долговечности, оптимальной густоты, породного состава и др. Посадка – основной прием их организации.

В России примером коренного переобустройства территории путем создания рукотворного агролесомелиоративного комплекса является Каменная Степь – уникальный научный объект, который вот уже более 125 лет изучают специалисты различного профиля: почвоведы, геологи, геоботаники, географы, климатологи, зоологи, агрономы, мелиораторы и др. Анализ почвенного покрова изначально был одной из центральных задач исследования природы Каменной Степи [28]. На основе его результатов и в комплексе с данными других компонентов природы вырабатывались способы и приемы рациональной организации территории для экономически эффективного и экологически сбалансированного развития региона [26]. Согласно теории лесных культур М.В. Колесниченко [9], выращиваемые древесные породы и насаждения в целом должны соответствовать лесорастительным условиям, в первую очередь климату и почвам. Поэтому и обратный процесс – влияние древесных пород на почвы, также актуален.

Почвенные микроорганизмы, являясь стабилизаторами экосистем, способствуют завершению многих биогеохимических циклов. Они регулируют потоки всех парниковых газов, поступающих из почвы в атмосферу [31, 32]; благодаря уникальной способности быстро адаптироваться к меняющимся условиям среды и очень высокой скорости размножения, обеспечивающей колонизацию поступающего субстрата, поддерживают гомеостаз лесных экосистем [17, 29, 30, 34–36]. Микробный пул почв является самым богатым субстратом на Земле. Выживаемость микробов в почве при неблагоприятных и стрессовых условиях максимальна по сравнению с другими средами обитания. Известно, что среднее количество бактерий в микробном пуле почвы составляет около 70 %, актиномицетов – 30 %, грибов – 1...3 % [26]. Структурные и количественные перестройки эколого-трофических групп микроорганизмов отражают направленность почвенно-биологических процессов и позволяют оценить состояние почв [2, 6, 25].

Несмотря на неплохую изученность биологической активности лесных почв и почв, включенных в сельскохозяйственное производство [7, 20], некоторые вопросы остаются неясными. В частности, не установлены направленность и интенсивность протекания почвенно-биологических процессов при агролесокультурном обустройстве территории, недостаточно выявлены взаимосвязи между численностью микроорганизмов и содержанием гумуса и кислотностью почв.

Целью исследования являлось определение биологической активности почв Каменной Степи, а также направленности и интенсивности почвенно-биологических процессов при агролесокультурном обустройстве территории.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования служили три полезащитные разновозрастные лесные полосы (ЛП) Каменной Степи. № 133 направлена с запада на восток; располагается на водораздельном участке на трех типах местности – плакорном, междуречном недренированном и склоновом; состоит из трех литер (*a, б, в*); 1950 г. посадки гнездовым способом; автор Е.С. Павловский. ЛП № 40, созданная на приводораздельном участке возвышенно-равнинного положения; состоит из 15 литер; 1903 г. посадки; автор Н.А. Михайлов. ЛП № 131 располагается на пологом склоне восточной экспозиции к балке Таловая; состоит из 5 литер (*a – д*); склоновый тип местности; 1949–1950 гг. посадки; автор Н.Ф. Зубович; в северной ее половине размещены гнездовые посевы дуба, в южной – рядовые посевы и посадки по коридорным схемам. Дополнительно в схему исследований включены пахотные участки, прилегающие к ЛП № 133 (плакор и склон), и пашня возле ЛП № 40. В качестве контроля использовали ежегодно выкашиваемые залежи различной ландшафтной принадлежности (плакор и склон 3...5°), которые не распахивались с 1892 г., растительный покров на них практически полностью восстановился до исходного состояния разнотравно-ковыльной степи.

Микробиологическую оценку проводили в рамках комплексных мониторинговых исследований лесных экосистем Каменной Степи. Для почвенно-микробиологического изучения отбирали репрезентативные смешанные почвенные образцы с каждого исследуемого объекта из верхнего органоминерального

слоя почвы (0...30 см) в 10 повторностях [14] в конце июля 2018 г. Анализ проводили на свежих образцах, хранившихся не более 24 ч при температуре 5 °С. Общую численность и структуру эколого-трофических групп микробного сообщества определяли по методике Е.З. Теппер [24] путем высева на плотные питательные среды, количество аммонификаторов – на мясопептонном агаре (МПА); бактерии, использующие минеральные формы азота, и актиномицеты – на крахмал-аммиачном агаре (КАА); клетчатковые микроорганизмы – на среде Виноградского; азотобактер – на почвенных пластинах; нитрифицирующие бактерии – на выщелоченном агаре; минерализаторы гумуса – на нитратном агаре.

Результаты исследования и их обсуждение

Преобразование природы естественных степей в высокоинтенсивный агролесокультурный ландшафт с интенсивным антропогенным воздействием, несомненно, затрагивает течение почвообразовательных процессов. В связи с этим существенный интерес представляют оценка мощности генетических горизонтов чернозема и их трансформации под влиянием изменившихся условий функционирования.

Максимальные значения средней мощности генетических горизонтов имели почвы залежи косимой. Нижняя граница темногумусового горизонта находилась на уровне (78,24±3,99) см, что существенно отличает залежь от остальных угодий (табл. 1).

Таблица 1

Мощность генетических горизонтов (см)

Статистический показатель	Залежь косимая		ЛП № 40		Пашня 1952 г.	
	AU	AUб	AU	AUб	PU	AUб
Среднее	41,20	78,24	44,30	73,90	26,90	64,40
Стандартная ошибка	1,09	3,99	1,11	1,64	1,21	2,60
Стандартное отклонение	4,98	18,29	7,01	10,38	4,68	10,06
Дисперсия выборки	24,8	334,5	49,1	107,7	21,9	101,3

Примечание. AU – верхний темногумусовый горизонт; AUб – общая мощность гумусового горизонта; PU – агротемногумусовый горизонт.

Наиболее заметное снижение общей мощности темногумусового горизонта отмечается на пашне 1952 г. – (64,40±2,60) см. Таким образом, за период, прошедший с момента распашки (62 года), потери гумусового горизонта составили 13,80 см, или 0,22 см ежегодно. При этом наиболее заметные потери отмечены для горизонта AU. Если на залежи косимой мощность равнялась (41,24±1,09) см, то в почве пашни 1952 г. – всего (26,93±1,21) см.

Можно было ожидать, что чернозем под лесной полосой будет отличаться более активным процессом увеличения гумусового горизонта за счет листового опада. Однако увеличения мощности темногумусового горизонта нами не установлено. Мощность горизонта AUб в данном случае составила (73,90±1,64) см, но при этом мощность верхнего (наиболее гумусированного) горизонта AU была максимальной для всех исследованных угодий – (44,30±1,11) см. Эти изменения связаны, по всей видимости, с изменившимся характером почвообра-

зовательного процесса под лесной полосой. Продукты распада растительных остатков концентрируются в верхних горизонтах и существенной миграции в нижние слои почвы не наблюдается.

Важным компонентом почвенных свойств является содержание органического вещества. Почвы Каменной Степи отличаются высоким содержанием гумуса. Проведенные нами исследования показали, что максимальное значение этого показателя отмечается в почвах залежи косимой, расположенной на водоразделе, среднее его значение ($10,01 \pm 0,17$) % при крайних граничных значениях 8,11 % (минимум) и 11,14 % (максимум) – в слое почвы 0...20 см (табл. 2).

Таблица 2

Взаимосвязь общей численности микроорганизмов с содержанием гумуса и кислотностью черноземов

Угодье	Общая численность микроорганизмов, млн КОЕ/г	Гумус, %	pH _{H₂O}
ЛП № 133, склон	36,10	$6,65 \pm 0,19$	$6,62 \pm 0,22$
Пахотный участок возле ЛП № 133, склон	36,95	$5,64 \pm 0,14$	$7,23 \pm 0,26$
ЛП № 133, плакор	43,33	$7,89 \pm 0,28$	$6,45 \pm 0,18$
Пахотный участок возле ЛП № 133 плакор	36,96	$6,22 \pm 0,18$	$7,42 \pm 0,29$
ЛП № 40	40,58	$9,38 \pm 0,16$	$6,75 \pm 0,20$
Залежь косимая, плато возле ЛП № 40	43,49	$10,01 \pm 0,17$	$7,17 \pm 0,21$
Пахотный участок возле ЛП № 40	38,94	$6,84 \pm 0,17$	$7,04 \pm 0,15$
Залежь косимая на склоне	49,45	$8,65 \pm 0,23$	$7,25 \pm 0,19$
ЛП № 131	57,28	$7,46 \pm 0,19$	$7,10 \pm 0,23$

Коэффициент вариации содержания гумуса составил 7,91 %. На залежи, расположенной на склоне (до 5°), гумусированность несколько уступала и отмечена на уровне ($8,65 \pm 0,23$) %. В почвах под лесной полосой продолжают сохраняться благоприятные условия для генезиса черноземов и гумусонакопления. При этом необходимо отметить более низкий уровень содержания гумуса под ЛП по отношению к почвам залежи. Под широкой ЛП № 40, расположенной на водоразделе, среднее содержание гумуса в слое 0...20 см составило ($9,38 \pm 0,16$) %, что на 0,63 % ниже, чем у почв, занятых естественной растительностью. Интенсивное сельскохозяйственное использование существенно образом снизило содержание гумуса в пахотных почвах. Минимальное его значение отмечено для пахотного участка на склоне – всего ($5,64 \pm 0,14$) %, что на 1,2 % ниже аналога на водораздельном участке.

В научной литературе высказывается мнение о существенной связи биологической активности почв с кислотностью и содержанием органического вещества [7, 33]. Проведенные нами исследования не подтвердили это предположение. В черноземных почвах связь общего количества бактерий с содержанием гумуса была средней. Коэффициент корреляции составил всего

$r = 0,37 \pm 0,06$ при критерии существенности $t_{\text{факт}} = 6,2 > t_{\text{теор}} = 2,37$. Более высокая взаимосвязь отмечена между отдельными компонентами структур микробного ценоза и гумусовым состоянием. Коэффициент корреляции между численностью микромицетов и содержанием гумуса равен $0,48 \pm 0,05$ при критерии существенности $t_{\text{факт}} = 9,5 > t_{\text{теор}} = 2,37$, между количеством целлюлозолитиков и гумусовым состоянием – $0,51 \pm 0,05$ при $t_{\text{факт}} = 10,2 > t_{\text{теор}} = 2,37$.

Связь кислотности чернозема сегрегационного с общей численностью микроорганизмов была незначительна – всего $r = 0,12$.

Таким образом, можно констатировать, что для черноземных высокобуферных почв средне- и высокогумусированных биологическая активность во многом определяется характером использования угодий. Общей закономерностью является снижение количества микроорганизмов при интенсивном сельскохозяйственном использовании. Лесные ценозы сохраняют биологическую активность на уровне естественных степных угодий или даже несколько ее увеличивают.

Важным составляющим комплекса почвенной биоты служат аммонификаторы. Они принимают активное участие в трансформации свежего органического вещества, поступающего в почву в виде растительных остатков и отмерших корней растений. Данные микроорганизмы произрастают на МПА [24]. Наиболее активны в осуществлении процесса аммонификации представители семейства *Bacillaceae* рода *Bacillus* и рода *Clostridium*, семейства *Enterobacteriaceae* рода *Proteus*, семейства *Pseudomonadaceae* рода *Pseudomonas* [16]. Природное плодородие черноземов обусловлено аккумулирующей деятельностью именно этой гетеротрофной группы микроорганизмов [10].

В результате исследований установлено, что почвенный покров под древесными насаждениями характеризуется более высоким содержанием аммонификаторов. Их количество варьировало от 9,94 до 13,91 млн КОЕ/г почвы. Во многом это обусловлено ежегодным поступлением в почву свежего органического материала. Максимальное их количество отмечено в почве ЛП № 131 – 13,91 млн КОЕ/г почвы (табл. 3). Несколько более низкими показателями общей численности характеризуются почвенные образцы ЛП № 133 на плакорном типе местности и примыкающего к нему пахотного участка поля, занятого озимой пшеницей, – соответственно 10,76 и 10,56 млн КОЕ/г почвы (табл. 3). На склоне полосы № 133 представительство данной группы микроорганизмов значительно ниже (7,94 млн КОЕ/г почвы). Вероятно, это можно объяснить ослабленным жизненным состоянием деревьев дуба в литере *в*, менее развитыми у них кроной и корневой системой, и, как следствие, меньшим количеством отмирающей биомассы, поступающей в почву [23]. Данные численности гетеротрофной группы почвенных микроорганизмов соответствуют тем общим тенденциям направленности микробиологических процессов в лесных биогеоценозах, которые обсуждаются в литературе [8].

Усиленное сельскохозяйственное использование земель существенным образом изменяет интенсивность микробиологических процессов. Поэтому минимальным содержанием аммонификаторов характеризуются почвенные образцы пахотных участков на склоне (ЛП № 133, литер *в*) и поля под озимой пшеницей, примыкающего к ЛП № 40, – 6,55 и 6,40 млн КОЕ/г почвы соответственно (см. табл. 1).

Нами показано, что наиболее многочисленной группой гетеротрофного комплекса почвенных микроорганизмов являются иммобилизаторы легкодоступного углерода. Они принимают активное участие в процессах трансформации органических соединений растительного происхождения. Данная группа микроорганизмов использует минеральные формы азота для построения собственных клеток и хорошо произрастает на среде КАА [4]. Численность иммобилизаторов максимальна в почвенных образцах ЛП № 131 – 19,89 млн КОЕ/г почвы. Несколько меньшее их количество отмечено на пашне, примыкающей к ЛП № 40, и на участке ЛП № 133 на плакоре – 18,67 и 18,49 млн КОЕ/г почвы соответственно (табл. 3). На косимой залежи выявлено некоторое снижение их численности. Минимальное количество данной группы прокариот отмечено в почвенных образцах поля, примыкающего к плакорной части ЛП № 133 и занятого озимой пшеницей, – 10,82 млн КОЕ/г почвы, а также на ее склоне – 12,58 млн КОЕ/г почвы и 14,85 млн КОЕ/г почвы (поле под яровым ячменем) (табл. 3).

Актиномицеты играют существенную роль в деструкции и синтезе сложных органических соединений благодаря большому набору разнообразных ферментов, входящих в их состав. Их численность также учитывалась на среде КАА. Актиномицеты являются гетеротрофными микроорганизмами, интенсивно разлагающими белки с образованием аммиака. Из минеральных источников азота они лучше всего усваивают азот нитратов. При недостаточном углеродном питании они

Таблица 3

Микробиологическая активность почвы под различными угольями Каменной Степи

Вариант	млн КОЕ/г			тыс. КОЕ/г				КОЕ/50 г Азото- бактер
	МПА	КАА	Актиноми- цеты	Минерализо- торы гумуса	Микро- мицеты	Нитри- фикаторы	Клетчатко- вые	
ЛП № 133, склон	7,94±0,20	14,85±0,31	3,58±0,12	9,73±0,18	34,56±0,55	0,38±0,02	38,40±1,89	0
Пахотный участок возле ЛП № 133, склон	6,55±0,18	12,58±0,29	2,62±0,08	15,20±0,23	34,06±0,41	0,54±0,03	55,02±1,78	203±10,45
ЛП № 133, плакор	10,76±0,29	18,49±0,38	3,04±0,11	11,04±0,12	53,82±0,62	0,51±0,03	66,24±1,69	53±1,89
Пахотный участок возле ЛП № 133, плакор	10,56±0,25	10,82±0,15	2,38±0,09	13,20±0,25	30,36±0,48	0,57±0,02	55,44±1,03	315±10,68
ЛП № 40	9,94±0,21	13,25±0,25	3,04±0,11	14,35±0,18	34,50±0,59	0,59±0,03	71,76±2,10	26±1,16
Залежь, косимая на плато возле ЛП № 40	7,34±0,12	17,03±0,32	3,14±0,06	15,98±0,29	51,09±0,46	0,44±0,02	78,60±1,98	20±1,12
Пахотный участок возле ЛП № 40	6,40±0,09	18,67±0,41	3,47±0,14	10,40±0,28	20,32±0,29	0,55±0,01	53,34±0,95	493±11,41
Залежь, косимая на склоне	9,94±0,28	16,93±0,36	2,96±0,09	19,62±0,36	38,40±0,59	0,49±0,03	51,07±1,59	545±11,84
ЛП № 131	13,91±0,32	19,89±0,42	2,90±0,08	20,58±0,41	48,30±0,63	0,54±0,02	89,84±2,76	36±1,43

способны использовать углерод азотистых соединений [1]. Данная группа почвенных микроорганизмов доминирует на поздних стадиях развития микробных сукцессий, когда складываются условия для использования труднодоступных субстратов [4].

Максимальная численность актиномицетов характерна для почвенных образцов лесной полосы № 133 (склон) и поля под озимой пшеницей, примыкающего к полосе № 40, – соответственно 3,58 и 3,47 млн КОЕ/г почвы. Меньшее их количество выявлено в почве лесной полосы № 40 и прилегающей к ней косимой залежи – соответственно 3,04 и 3,14 млн КОЕ/г почвы (табл. 3). Минимальная численность отмечена в почвенных образцах пахотных угодий, занятых яровым ячменем и озимой пшеницей, рядом с лесной полосой № 133, – соответственно 2,62 и 2,38 млн КОЕ/г почвы. Известно, что актиномицеты являются прокариотами, крайне требовательными к содержанию кислорода. В случае, если свободный кислород уже использован другими аэробными микроорганизмами, развивающимися на более ранних этапах формирования микробной сукцессии, то их развитие может быть несколько снижено [4]. Численные взаимоотношения актиномицетов и иммобилизаторов углерода (среда КАА) хорошо коррелируют друг с другом ($r = 0,518$).

Почвенные микроскопические грибы относятся к основным деструкторам растительных остатков. В почве присутствует огромное их количество. По эколого-трофическим признакам их можно разделить на три группы: 1 – облигатные паразиты, не способные расти и размножаться, присутствуют в почве в виде спор; 2 – факультативные паразиты, которые могут жить и размножаться в почве неограниченно; 3 – почвенные сапрофитные грибы, которым принадлежит существенная роль в почвообразовательных процессах. Систематический их состав очень разнообразен. Сюда входят представители всех классов грибов – от простейших до высших базидиальных [1, 3]. Почвенные микромицеты крайне чувствительны к аэрации, поэтому максимальная их численность встречается в хорошо структурированных почвах с доступом к кислороду и экзогенным органическим веществам. Так, по данным Е.С. Василенко и др. [4], количество грибных зачатков максимально в почвенных агрегатах менее 0,25 мм, а по мере увеличения размеров агрегатов численность зачатков уменьшается.

Полученные нами в ходе исследований результаты позволяют утверждать, что наиболее благоприятные условия для развития микромицетов складываются в почвах под древесной и аборигенной степной растительностью. Вовлечение черноземов в активное сельскохозяйственное производство приводит к снижению численности грибной микрофлоры. Максимальное количество грибных зачатков содержится в черноземах под лесной полосой № 133 (плакор) и косимой залежи – соответственно 53,82 и 51,09 тыс. КОЕ/г почвы, минимальное – в почве пахотных угодий, занятых озимой пшеницей, вблизи лесных полос № 40 и 133 – соответственно 20,32 и 30,36 тыс. КОЕ/г почвы (табл. 3). Таковую разницу в численности почвенных грибов можно объяснить различиями запасов фитомассы вегетативных частей растений, поступающих в почву при отмирании. На полях с возделываемыми сельскохозяйственными культурами основная часть фитомассы отчуждается вместе урожаем, в лесных полосах большая часть опавшей листвы и отмирающих корней деревьев остается внутри данного фитоценоза. В условиях интенсификации сельского

хозяйства рост урожая сопровождается увеличением выноса всех элементов питания. Так, согласно данным М.Ю. Сауткиной [22], вынос азота с основной и побочной продукцией озимого тритикале на естественном фоне удобренности составлял от 69,4 кг/га, а на фоне N_{30} – 79,7 кг/га.

Значительная роль в повышении почвенного плодородия принадлежит нитрифицирующим бактериям, отвечающим за азотный цикл почвы. Прокариоты, осуществляющие данный процесс, относятся к хемолитоавтрофам [24]. С.Н. Виноградским [5] установлено, что существуют две группы нитрифицирующих бактерий: одна осуществляет окисление аммиака до азотистой кислоты (первая фаза нитрификации), вторая – окисление азотистой кислоты до азотной (вторая фаза нитрификации). На первой фазе нитрификации действуют бактерии, главным образом р. *Nitrosomonas*, на второй – бактерии р. *Nitrobacter* [16]. Этапность процесса нитрификации – характерный пример метабиоза.

Данные изучения активности нитрифицирующих микроорганизмов свидетельствуют о значительном их варьировании в зависимости от характера использования угодий – от 0,38 до 0,59 тыс. КОЕ/г почвы (табл. 3). Общей закономерностью является повышенное их содержание на пахотных участках. Угодья с древесной растительностью и степным ценозом имели меньшие показатели и несколько уступали агрогенным почвам. Наибольшее различие установлено на склоновом участке ЛП № 133 и прилегающей части пахотного чернозема. В первом случае количество нитрификаторов отмечено на уровне 0,38 тыс. КОЕ/г почвы, во втором оно повышается до 0,54 тыс. КОЕ/г почвы (см. табл. 1). На плакорном участке ЛП № 133 эти показатели составляли 0,51 тыс. КОЕ/г почвы (лесная полоса) и 0,57 тыс. КОЕ/г почвы (пашня). Что касается залежных участков с естественной степной растительностью, то здесь выявлено стабильное снижение численности нитрификаторов по отношению к пахотным и лесным почвам. Таким образом, максимальная численность нитрифицирующих бактерий характерна для пахотных аналогов черноземных почв. По нашему мнению, активизация их деятельности обусловлена ежегодным перемешиванием пахотного слоя почвы и поступлением в нее легкоминерализуемых растительных остатков.

Еще одной важной составляющей почвенного плодородия, связанной с азотным циклом, является микробиологическая активность группы бактерий р. *Azotobacter*. Все виды азотобактера относятся к аэробным микроорганизмам и могут фиксировать молекулярный азот при отсутствии связанных форм азота. Данные diaзотрофы в качестве источника азота могут ассимилировать соли аммония, нитриты, нитраты и аминокислоты [16]. Их численность, распространение и активность зависят от реакции среды, водно-воздушного режима, содержания фосфора и микроэлементов в почве [4].

В ходе микробиологической оценки установлено, что в исследуемых лесных полосах Каменной Степи активность бактерий р. *Azotobacter* незначительна. Так, в почвенных образцах со склона лесополосы № 133 данной группы прокариот обнаружено не было. Значения содержания азотобактера варьируют от 26 КОЕ/50 г почвы (ЛП № 40) до 53 КОЕ/50 г почвы (ЛП № 133, плакор) (табл. 3). Однако на залежи косимой (склон) и пахотных угодьях с возделываемыми сельскохозяйственными культурами активность бактерий резко возрастает. Максимальное количество колониеобразующих единиц азотобактера

зафиксировано на склоновом участке косимой залежи – 545 КОЕ/50 г почвы (табл. 3); в почвенных образцах, взятых с поля под озимой пшеницей рядом с ЛП № 40, – 493 КОЕ/50 г почвы, а с поля с яровым ячменем, граничащего с ЛП № 133 (плакор), – 315 КОЕ/50 г почвы. Таким образом, ежегодная обработка почвы имеет решающее значение и способствует увеличению активности колоний р. *Azotobacter*. Под древесными культурами и степной растительностью в большинстве случаев она значительно меньше.

Важную роль в разложении растительных остатков играют клетчатковые микроорганизмы. Целлюлозу расщепляют аэробные (бактерии и грибы) и анаэробные микроорганизмы (мезофильные и термофильные бактерии) [16]. При аэробном разложении клетчатки возможен синтез уроновых кислот, участвующих в образовании гумуса [1]. Высокая степень обогащенности почвы клетчатковыми микроорганизмами выявлена в почвенных образцах ЛП № 131, 40 и косимой залежи, примыкающей к ЛП № 40, – соответственно 89,84; 71,76 и 78,60 тыс. КОЕ/г почвы. Минимальное количество целлюлозолитиков отмечено в образцах почвы склоновой части ЛП № 133 – 38,4 тыс. КОЕ/г почвы, что на 57,3 % ниже чем в образцах ЛП № 131 (табл. 3).

Помимо процессов гумусообразования в почве постоянно протекают минерализационные процессы разрушения почвенного гумуса в результате действия аэробных микроорганизмов-минерализаторов. В них участвуют бактерии, грибы и актиномицеты [1]. Наибольшая их активность отмечена в почвенных образцах под ЛП № 131 – 20,58 млн КОЕ/г почвы (табл. 3). Остальные исследуемые объекты в порядке убывания численности этой группы микроорганизмов образовали следующий ряд: залежь косимая (склон) – залежь косимая (граничащая с ЛП № 40) – ЛП № 40 – поле, занятое озимой пшеницей и граничащее с ЛП № 133 (плакор), – ЛП № 133 (плакор) – ЛП № 133 (склон).

Из анализа данной агрономически ценной микрофлоры, участвующей в разложении азотных соединений почвы и растительных остатков (микроорганизмы, произрастающие на средах МПА и КАА), можно сделать вывод, что максимальное ее количество выявлено в образцах почвы ЛП № 131 – 33,8 млн КОЕ/г почвы (табл. 3). Достаточно высокое содержание отмечено для почвенных образцов ЛП № 133 (плакор, литеры *a*, *b*). Минимальным количеством характеризовались почвенные образцы с поля, занятого яровым ячменем и примыкающего к склоновой части ЛП № 133.

Для исследуемых почв рассчитаны коэффициенты минерализации, представляющие собой отношение численности групп микроорганизмов, развивающихся на завершающих стадиях минерализации, к численности групп микроорганизмов, разлагающих свежие органические остатки (табл. 4).

Таблица 4

Коэффициенты минерализации в почвах исследуемых объектов

Вариант	Значение коэффициента минерализации
ЛП № 133, склон	1,9
ЛП № 133, склон, поле под яровым ячменем	1,9
ЛП № 133, плакор	1,7

Окончание табл. 4

Вариант	Значение коэффициента минерализации
ЛП № 133, поле под озимой пшеницей	1,0
ЛП № 40	1,3
Залежь косимая, плато возле ЛП № 40	2,3
ЛП № 40, поле под озимой пшеницей	2,9
Залежь косимая, склон	1,7
ЛП № 131	1,4

В виду того, что коэффициенты минерализации для всех исследуемых объектов выше единицы (за исключением поля под озимой пшеницей, граничащего с ЛП № 133), можно сделать вывод, что процессы минерализации почвенного органического вещества преобладают над разложением органических остатков. Данный показатель в варианте с полем под озимой пшеницей вблизи ЛП № 133 равен 1. Это свидетельствует о сбалансированности процессов минерализации почвенного органического вещества и разложения свежих растительных и животных остатков. Однако данные коэффициенты у ЛП № 40, 131 и 133 значительно ниже по сравнению с косимой залежью и полем (озимая пшеница вблизи ЛП № 40): соответственно 2,3 и 2,9, что свидетельствует о более существенном увеличении доли микроорганизмов, произрастающих на МПА, по сравнению с амилитическими микроорганизмами, растущими на КАА.

Заключение

Черноземы являются высокоплодородными достаточно устойчивыми высокобуферными почвами с большим содержанием органического вещества, наиболее благоприятной зернистой структурой с оптимальными физическими и химическими свойствами и с высокими показателями биологической активности, не поддающейся резкому изменению. Аналогичные результаты получены также рядом исследователей [11, 12].

Биологическая активность чернозема сегрегационного в условиях степной части России в большей степени определяется характером использования угодий. Максимальная численность микроорганизмов отмечается в почвах естественных степных угодий и лесных полос. Интенсивное сельскохозяйственное использование приводит к снижению активности почвенных микроорганизмов.

На черноземах с высокими показателями плодородия не установлено тесной взаимосвязи биологической активности с гумусовым состоянием и кислотностью почвы, что подтверждается данными корреляционного анализа. Коэффициент парной корреляции между содержанием гумуса и общей численностью микроорганизмов $r = 0,37 \pm 0,06$. Связь с кислотностью чернозема сегрегационного была незначительной – $r = 0,12$. Гумусовое состояние и реакция среды в большей мере влияли на отдельные компоненты структуры микробного ценоза. Средняя корреляционная зависимость установлена между численностью микромицетов и содержанием гумуса – $r = 0,48 \pm 0,05$ при критерии существенности $t_{\text{факт}} = 9,5 > t_{\text{теор}} = 2,37$. Между количеством цел-

люлозолитиков и гумусовым состоянием $r = 0,51 \pm 0,05$ при критерии существенности $t_{\text{факт}} = 10,2 > t_{\text{теор}} = 2,37$. Данные группы структуры микробного ценоза принимают наиболее активное участие на начальных стадиях деструкции свежего органического вещества.

Максимальная биологическая активность характерна для почв под древесными насаждениями (ЛП № 131) с повышенным характером грунтового увлажнения. Повышенная увлажненность грунтового профиля способствует более активному развитию почвенной микрофлоры. На водораздельных участках древесная растительность оказывает положительное влияние на численность отдельных групп почвенной микробиоты за счет формирования мощной лесной подстилки.

Различный характер использования угодий заметным образом отражается на структуре микробного сообщества почвы. В почвах лесных ценозов отмечается наиболее высокое содержание микроорганизмов углеродного цикла, особенно аммонификаторов и амилолитических микроорганизмов, участвующих в трансформации свежих органических остатков, растительных экссудатов и ассимилирующих различные формы азота.

Эколого-структурные показатели микробных сообществ почв (видовой состав, численность и соотношение разных систематических групп) являются биоиндикаторами состояния лесных экосистем и позволяют оценить состояние и степень трансформации почвенно-растительного покрова. Исследования микробных ценозов почв в сочетании с другими компонентами экосистем предоставляют возможность выяснить их функциональные связи в системе «вид–среда» и особенности формирования. Эволюция естественных степных ценозов в высокоинтенсивные агролесомелиоративные ландшафты в течение XX–начале XXI в. явилась мощнейшим фактором изменения направленности почвообразовательных процессов. В связи с этим проведение систематических исследований по состоянию почвенной биоты, как одного из основных факторов почвообразования, имеет важное значение. Наряду с этим, изучение микробиологических сообществ в почве, ассоциированных с определенным биоценозом, может пролить свет на механизм взаимодействия микроорганизмов между собой и с абиотическими компонентами почвы. Искусственные лесные насаждения в степных регионах России являются мощным фактором активизации микробиологической активности, влияющим на изменения эволюционной направленности почвообразовательных процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Аристовская Т.В. Микробиология процессов почвообразования. Л.: Наука, 1980. 187 с. [Aristovskaya T.V. *Microbiology of the Processes of Soil Formation*. Leningrad, Nauka Publ., 1980. 187 p.]

2. Богородская А.В. Микробиологическая оценка состояния антропогенно нарушенных лесных экосистем Средней Сибири // Сиб. лесн. журн. 2016. № 2. С. 71–84. [Bogorodskaya A.V. Microbiological Assessment of Technogenically Disturbed Forest Ecosystems in Central Siberia. *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* [Siberian Journal of Forest Science], 2016, no. 2, pp. 71–84]. DOI: [10.15372/SJFS20160207](https://doi.org/10.15372/SJFS20160207)

3. Большой практикум по микробиологии / Т.В. Аристовская и др.; под общ. ред. Г.Л. Селибера. М.: Высш. шк., 1962. 491 с. [Aristovskaya T.V. *Large Workshop on Microbiology*. Ed. by G.L. Selibera. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1962. 491 p.]

4. Василенко Е.С., Кутовая О.В., Тхакахова А.К., Мартынов А.С. Изменение численности микроорганизмов в зависимости от величины агрегатов гумусового горизонта миграционно-мицелиярного чернозема // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2014. Вып. 73. С. 85–97. [Vasilenko Ye.S., Kutovaya O.V., Tkhakakhova A.K., Martynov A.S. Changes in the Intensity of Soil-Biological Processes Caused by Different-Sized Aggregates of Migratory-Mycelial Chernozems. *Byulleten Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva* [Dokuchaev Soil Bulletin], 2014, no. 73, pp. 85–97]. DOI: [10.19047/0136-1694-2014-73-150-173](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2014-73-150-173)

5. Виноградский С.Н. Микробиология почвы. Проблемы и методы. Пятьдесят лет исследований. М.: Изд-во АН СССР, 1952. 792 с. [Vinogradskiy S.N. *Microbiology of Soil. Problems and Methods. Fifty Years of Studies*. Moscow, AN SSSR Publ., 1952. 792 p.]

6. Дорохова М.Ф., Исаченкова Л.Б. Биологическая активность дерново-подзолистых почв под разными типами леса // Вестн. МГУ. Сер. 17: Почвоведение. 1999. № 1. С. 59–63. [Dorokhova M.F., Isachenkova L.B. Biological Activity of Sod-Podzolic Soils under Different Types of Forests. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17: Pochvovedeniye* [Moscow University Soil Science Bulletin], 1999, no. 1, pp. 59–63].

7. Демаков Ю.П., Нуреев Н.Б. Биологическая активность почв лесных биогеоценозов Среднего Поволжья // Вестн. Поволж. гос. технол. ун-та. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2018. № 4(40). С. 21–33. [Demakov Yu.P., Nureev N.B. Bioactivity of Soils of Forest Biogeocenoses in Middle Volga Region. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovaniye* [Bulletin of the Volga state technological University. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management], 2018, no. 4(40), pp. 21–33]. DOI: [10.15350/2306-2827.2018.4.21](https://doi.org/10.15350/2306-2827.2018.4.21)

8. Евграфова С.Ю. Гетеротрофные микроорганизмы в почвах искусственных лесных биогеоценозов южнотаежной подзоны Красноярского края: дис. ... канд. биол. наук. Красноярск, 2001. 127 с. [Evgrafova S.Yu. *Heterotrophic Microorganisms in the Soils of Artificial Forest Biogeocenoses of the Southern Taiga Subzone of the Krasnoyarsk Krai*: Cand. Biol. Sci. Diss. Krasnoyarsk, 2001. 127 p.]

9. Колесниченко М.В. Лесомелиорация с основами лесоводства: учеб. 2-е изд., переб. и доп. М.: Колос, 1981. 335 с. [Kolesnichenko M.V. *Forest Reclamation with the Basics of Forestry*. Moscow, Kolos Publ., 1981. 335 p.]

10. Королёва И.Е., Лебедева И.И., Гребенников А.М. Гумусное и азотное состояние целинных пахотных черноземов // Бюл. Почв ин-та им. В.В. Докучаева. 2013. Вып. 71. С. 27–35. [Koroleva I.E., Lebedeva I.I., Grebennikov A.M. Humus and Nitrogen State Virgin and Cultivated Chernozems. *Byulleten Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva* [Dokuchaev Soil Bulletin], 2013, no. 71, pp. 27–35].

11. Кутовая О.В., Гребенников А.М., Тхакахова А.К., Исаев В.А., Гармашов В.М., Беспалов В.А., Чевердин Ю.И., Белобров В.П. Изменение почвенно-биологических процессов и структуры микробного сообщества агрочерноземов при разных способах обработки почвы // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2018. Вып. 92. С. 35–61. [Kutovaya O.V., Grebennikov A.M., Tkhakakhova A.K., Isaev V.A., Garmashov V.M., Bespalov V.A., Cheverdin Yu.I., Belobrov V.P. The Changes in Soil-Biological Processes and Structure of Microbial Community of Agrochernozems in Conditions of Different Ways of Soil Cultivation. *Byulleten Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva* [Dokuchaev Soil Bulletin], 2018, no. 92, pp. 35–61]. DOI: [10.19047/0136-1694-2018-92-35-61](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-92-35-61)

12. Лебедева И.И., Чевердин Ю.И., Титова Т.В., Гребенников А.М., Маркина Л.Г. Структурное состояние миграционно-мицелиярных (типичных) агрочерноземов Каменной Степи в условиях разновозрастной пашни // Почвоведение. 2017. № 2. С. 227–238. [Lebedeva I.I., Cheverdin Yu.I., Titova T.V., Grebennikov M.A., Markina L.G. Structural State of Migratory-Mycelial (Typical) Agrochernozems of the Kamennaya Steppe on Plowed Fields of Different Ages. *Pochvovedeniye* [Eurasian Soil Science], 2017, no. 2, pp. 227–238]. DOI: [10.7868/S0032180X17020095](https://doi.org/10.7868/S0032180X17020095)

13. Мерзленко М.Д., Бабич Н.А. Лесоводство. Искусственное лесовосстановление: учеб. для бакалавриата и магистратуры. М.: Юрайт, 2017. 244 с. [Merzlenko M.D., Babich N.A. *Forestry. Artificial Reforestation: Textbook for Bachelor's and Master's Programs*. Moscow, Yurayt Publ., 2017. 244 p.].
14. Методы почвенной микробиологии и биохимии / под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с. [*Methods of Soil Microbiology and Biochemistry*. Ed. by D.G. Zvyagintsev. Moscow, MGU Publ., 1991. 304 p.].
15. Минин А.А., Неронов В.М. Климат и проблемы сохранения биоразнообразия в пределах Сахаро-Гобийской пустынной области. Сообщение 1. Тенденции современных климатических изменений // Проблемы освоения пустынь. 1996. № 3. С. 3–10. [Minin A.A., Neronov V.M. Climate and Biodiversity Conservation Problems within the Sahara-Gobi Desert Area. Report 1. Trends in Modern Climate Change. *Problemy osvoyeniya pustyn'* [Problems of Desert Development], 1996, no. 3, pp. 3–10].
16. Мишустин Е.Н., Емцев В.Т. Микробиология: учеб. М.: Агропромиздат, 1987. 368 с. [Mishustin E.N., Emtsev V.T. *Microbiology*. Moscow, Agropromizdat Publ., 1987. 368 p.].
17. Никитина З.И. Микробиологический мониторинг наземных экосистем. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. 219 с. [Nikitina Z.I. *Microbiological Monitoring of Terrestrial Ecosystems*. Novosibirsk, Nauka. Siberian Branch Publ., 1991. 219 p.].
18. Павловский Е.С. Развитие защитного лесоразведения в Каменной Степи в советское время // Лесные полосы Каменной Степи: сб. ст. Воронеж: Центр.-Чернозем. кн. изд-во, 1967. С. 183–259. [Pavlovskiy E.S. Development of Protective Afforestation in the Kamennaya Steppe during the Soviet Period. *Forest Belts of the Kamennaya Steppe: Collection of Academic Papers*. Voronezh, Tsentral'no-Chernozemnoye knizhnoye izdatel'stvo, 1967. pp. 183–259].
19. Петров П.Г., Скачков Б.И. «Особая экспедиция» В.В. Докучаева и развитие агролесомелиоративных исследований в Каменной Степи // Агролесомелиоративные исследования в Каменной Степи: науч. тр. Каменная Степь: Изд-во НИИСХ ЦЧП им. В.В. Докучаева. 1981. С. 4–10. [Petrov P.G., Skachkov B.I. "Special Expedition" by V.V. Dokuchaev and Development of Agroforestry Research in the Kamennaya Steppe. *Agroforestry Studies in the Kamennaya Steppe: Academic Papers*. Kamennaya Steppe, NIISKh TsChP im. V.V. Dokuchayeva Publ., 1981, pp. 4–10].
20. Постовалов А.А., Немирова Н.А. Микробиологическая активность чернозема, выщелоченного при внесении минеральных удобрений // Вестн. Курган. гос. ун-та. Сер.: Естеств. науки. Вып. 2. 2009. № 1(15). С. 29–30. [Postovalov A.A., Nemirova N.A. Microbiological Activity of Chernozem Leached on Application of Mineral Fertilizers. *Vestnik Kurganskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennyye nauki, vypusk 2*, 2009, no. 1(15), pp. 29–30].
21. Редько Г.И., Трещевский И.В. Рукотворные леса. М.: Агропромиздат, 1986. 240 с. [Red'ko G.I., Treshchevskiy I.V. *Artificial Forests*. Moscow, Agropromizdat Publ., 1986. 240 p.].
22. Сауткина М.Ю. Влияние ассоциативных биопрепаратов на плодородие чернозема обыкновенного и урожайность озимого тритикале в условиях юго-востока ЦЧЗ: дис. ... канд. с.-х. наук. Каменная Степь, 2016. 202 с. [Sautkina M.Yu. *The Effect of Associative Biopreparations on the Fertility of Ordinary Chernozem and Productivity of Winter Triticale in the Southeast of Central Black Soil Nature Reserve: Cand. Agric. Sci. Diss.* Kamennaya Steppe, 2016. 202 p.].
23. Сауткина М.Ю., Кузнецова Н.Ф., Тунякин В.Д. Современное состояние полезащитных лесных полос с преобладанием дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в Каменной Степи // Лесохоз. информ.: электрон. сетевой журн. 2018. № 1. С. 78–89. [Sautkina M., Kuznetsova N., Tunjakin V. Current State of Forest Shelter Belts with Predominance of Oak (*Quercus robur* L.) in the Stone Steppe. *Lesokhozyaystvennaya*

informatsiya [Forestry information], 2018, no. 1, pp. 78–89]. DOI: [10.24419/LHI.2304-3083.2018.1.07](https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2018.1.07)

24. *Tenner E.Z., Shil'nikova V.K., Pereverzeva G.I.* Практикум по микробиологии: учеб. пособие для вузов. М.: Дрофа, 2004. 256 с. [Tenner E.Z., Shil'nikova V.K., Pereverzeva G.I. *Workshop on Microbiology: Textbook for Universities*. Moscow, Drofa Publ., 2004. 256 p.].

25. *Титова В.И., Козлов А.В.* Методы оценки функционирования микробиоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества: науч.-метод. пособие. Н. Новгород: Нижегород. гос. с.-х. акад., 2012. 64 с. [Titova V.I., Kozlov A.V. *Methods for Assessing the Functioning of the Soil Microbiocenosis Involved in the Transformation of Organic Matter: Scientific and Methodological Manual*. Nizhny Novgorod, NNSAA Publ., 2012. 64 p.].

26. *Хитров Н.Б., Чевердин Ю.И.* Изменение почвенного покрова Каменной Степи: от В.В. Докучаева до наших дней // Докучаевское наследие и развитие научного земледелия в России: сб. науч. докл. Всеросс. науч.-практ. конф., посвящ. 125-летию организации «Особой экспедиции лесного департамента по испытанию и учету различных способов и приемов лесного и водного хозяйства в степях южной России», Каменная Степь, 27–28 июня 2017 г. Воронеж: Истоки, 2017. С. 88–96. [Khitrov N.B., Cheverdin Yu.I. *Changing the Soil Cover of the Kamennaya Steppe: From Dokuchaev to the Present Day. Dokuchaev Heritage and Development of Scientific Agriculture in Russia: Collection of Scientific Reports of the All-Russian Scientific and Practical Conference Dedicated to 125th Anniversary from the Arrangement of the "Special Expedition of the Forest Department for Testing and Recording of Various Methods and Techniques of Forestry and Water Management in the Steppes of Southern Russia"*, Kamennaya Steppe, June 27–28, 2017. Voronezh, Istoki Publ., 2017, pp. 88–96].

27. *Царева Р.П.* К вопросу о защитном лесоразведении в РФ // Современная лесная наука: проблемы и перспективы: материалы Всерос. науч.-практ. конф., Воронеж, 20–22 дек. 2017 г. Воронеж: Истоки, 2017. С. 224–229. [Tsareva R.P. *On the Issue of Protective Afforestation in Russia. Modern Forest Science: Issues and Prospects. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Voronezh, December 20–22, 2017*. Voronezh, Istoki Publ., 2017, pp. 224–229].

28. *Чевердин Ю.И., Сауткина М.Ю., Вавин В.С.* Агроэкологические особенности состояния почвенного покрова в лесокультурном ландшафте «Каменная Степь» // Современная лесная наука: проблемы и перспективы: материалы Всерос. науч.-практ. конф., Воронеж, 20–22 дек. 2017 г. Воронеж: Истоки, 2017. С. 230–235. [Cheverdin Yu.I., Sautkina M.Yu., Vavin V.S. *Agroecological Features of the Soil Cover State in the Silvicultural Landscape "Kamennaya Steppe"*. *Modern Forest Science: Issues and Prospects. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Voronezh, December 20–22, 2017*. Voronezh, Istoki Publ., 2017, pp. 230–235].

29. Anderson J.P.E., Domsch K.H. A Physiological Method for Quantitative Measurement of Microbial Biomass in Soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 1978, vol. 10, iss. 3, pp. 215–221. DOI: [10.1016/0038-0717\(78\)90099-8](https://doi.org/10.1016/0038-0717(78)90099-8)

30. Anderson T.-H., Domsch K.H. Soil Microbial Biomass: The Eco-Physiological Approach. *Soil Biology and Biochemistry*, 2010, vol. 42, iss. 12, pp. 2039–2043. DOI: [10.1016/j.soilbio.2010.06.026](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.06.026)

31. Bastida F., Zsolnay A., Hernández T., García C. Past, Present and Future of Soil Quality Indices: A Biological Perspective. *Geoderma*, 2008, vol. 147, iss. 3-4, pp. 159–171. DOI: [10.1016/j.geoderma.2008.08.007](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.08.007)

32. Conrad R. Soil Microorganisms as Controllers of Atmospheric Trace Gases (H₂, CO₂, CH₄, OCS, N₂O, and NO). *Microbiological Reviews*, 1996, vol. 60, no. 4, pp. 609–640.

33. West T.O., Post W.M. Soil Organic Carbon Sequestration Rates by Tillage and Crop Rotation: A Global Data Analyses. *Soil Science Society of America Journal*, 2002, vol. 66, iss. 6, pp. 1930–1946. DOI: [10.2136/sssaj2002.1930](https://doi.org/10.2136/sssaj2002.1930)

34. Winding A., Hund-Rinke K., Rutgers M. The Use of Microorganisms in Ecological Soil Classification and Assessment Concepts. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2005, vol. 62, iss. 2, pp. 230–248. DOI: [10.1016/j.ecoenv.2005.03.026](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2005.03.026)

35. Witkamp M. Direct and Indirect Counts of Fungi and Bacteria as Indexes of Microbial Mass and Productivity. *Soil Science*, 1974, vol. 118, iss. 3, pp. 150–155.

36. Yan T., Yang L., Campell C.D. Microbial Biomass and Metabolic Quotient of Soils under Different Land Use in Three Gorges Reservoir Area. *Geoderma*, 2003, vol. 115, iss. 1–2, pp. 129–138. DOI: [10.1016/S0016-7061\(03\)00082-X](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00082-X)

MICROBIOLOGICAL ANALYSIS OF THE SOIL COVER OF THE KAMENNAYA STEPPE AGROFORESTRY LANDSCAPES

*M.Yu. Sautkina*¹, *Candidate of Agriculture*; ORCID: [0000-0001-9244-1177](https://orcid.org/0000-0001-9244-1177)

Yu.I. Cheverdin^{2,3}, *Doctor of Biology*; ORCID: [0000-0002-9905-0547](https://orcid.org/0000-0002-9905-0547)

¹All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology, ul. Lomonosova, 105, Voronezh, 394087, Russian Federation; e-mail: sautmar@mail.ru

²V.V. Dokuchaev Scientific Research Institute of Agriculture of the Central-Chernozem zone, pos. 2 uchastka Instituta im. V.V. Dokuchaeva, kv. 5, 81, Talovskiy district, Voronezh region, 397463, Russian Federation; e-mail: cheverdin62@mail.ru

³Kamennaya Steppe Experimental Forest District, pos. 2 uchastka Instituta im. V.V. Dokuchaeva, kv. 3, 64a, Talovskiy district, Voronezh region, 397463, Russian Federation; e-mail: cheverdin62@mail.ru

The microbial biomass content is the most informative indicator for early detection of soil condition. Soil microorganisms support the homeostasis of forest ecosystems due to the unique ability of rapid adaptation to changing environmental conditions. The article presents the results of soil microbiological assessment carried out within the framework of comprehensive monitoring studies of the forest ecosystems of the Kamennaya Steppe. The following objects of the agroforestry permanent study area served as options: a mowing fallow of 1882; forest belt no. 40 of 1903 laying out, located on the watershed area; forest belt no. 133 of 1950 planting; and forest belt no. 131 of 1959 planting. Additionally, arable lands adjacent to forest belts no. 40 and 133 (watershed, slope) were included in the research scheme. The research purpose was to determine the biological activity of soils of the Kamennaya Steppe, as well as the direction and intensity of soil and biological processes in agroforestry arrangement of the territory. The total number and structure of ecological and trophic groups of the microbial community were determined by the method of E.Z. Tepper by seeding on solid nutrient media. It is shown that the soil cover under the tree plantation is defined by a higher content of ammonifiers and actinomycetes. Intensive agricultural land use significantly reduces the intensity of microbiological processes. The undertaken studies allow stating that the optimum conditions for the development of micromycetes are formed in soils under woody and native steppe vegetation. The involvement of chernozems in active agricultural production leads to a decrease in the number of fungal flora. A high concentration of nitrifiers was revealed in arable lands. The lands with woody vegetation and steppe cenoses had lower indices and were somewhat inferior to agrogenic soils. Annual soil cultivation is crucial and drives up the activity of bacterial colonies (genus *Azotobacter*) on arable lands. The activity is much lower under the tree crops and steppe vegetation in most cases. Mineralization coefficients are calculated for the studied soils. Due to the fact that these coefficients in all the studied objects

are above one (except the field under winter wheat and bordering the forest belt no. 133), it follows that the mineralization processes of soil organic matter prevail over the decomposition of organic residues.

For citation: Sautkina M.Yu., Cheverdin Yu.I. Microbiological Analysis of the Soil Cover of the Kamennaya Steppe Agroforestry Landscapes. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2019, no. 6, pp. 62–78. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.62

Funding: The research was carried out within the framework of the state assignment of the All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology.

Keywords: forest belts, agroforestry complex, microbial pool, soil biological activity.

Поступила 05.12.18 / Received on December 05, 2018
