

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКИХ МЕЛИОРАНТОВ НА МИКРОБИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ЧЕРНОЗЕМНО-ЛУГОВЫХ ПОЧВ

© 2023 г. Ю. И. Чевердин^{1,*}, Т. В. Титова¹, В. А. Беспалов¹

¹Воронежский федеральный аграрный научный центр им. В.В. Докучаева

397463 Воронежская обл., Таловский р-н, пос. 2-го участка Института им. Докучаева, квартал. 5, 81, Россия

*E-mail: cheverdin62@mail.ru

Поступила в редакцию 10.01.2023 г.

После доработки 29.01.2023 г.

Принята к публикации 16.03.2023 г.

Исследование проведено в Воронежском ФАНЦ “Каменная Степь” в 2020–2022 гг. Дана оценка состояния структуры микробного ценоза в луговых почвах с применением различных химических мелиорантов. Варианты мелиорации включали внесение гипса и дефеката в дозе 5 т/га и сочетание их половинных доз. Численность эколого-трофических групп микроорганизмов определяли методом посева на твердые питательные среды. Учет организмов, усваивающих органические формы азота – посевом на мясопептонный агар (МПА), учет организмов, ассимилирующих минеральные формы азота – посевом на крахмально-аммонийной среде (КАА), учет организмов, минерализующих гумус – посевом на нитратном агаре, учет грибов – на среде Чапека, учет количества азотобактера – на почвенных пластинках, учет нитрификаторов – на голодном агаре, учет организмов, разлагающих клетчатку – на среде Виноградского. В результате химической мелиорации луговых почв с применением в качестве мелиорантов гипса и дефеката были установлены закономерности изменения активности почвенных микроорганизмов. Удалось выявить довольно четкую зависимость увеличения численности микроорганизмов, утилизирующих органические формы азота, от применения мелиорантов в луговой почве ложбинообразного понижения. Минерализационные процессы органического вещества были максимально выражены в лугово-черноземной почве на равнинном повышении при применении в качестве мелиоранта гипса в дозе 5 т/га, на содержание же нитрификаторов большее влияние в этой почве оказало применение гипса и дефеката в дозе 2.5 + 2.5 т/га. В черноземно-луговой почве ложбинообразного понижения применение дефеката в дозе 5 т/га привело к увеличению содержания актиномицетов. В черноземно-луговой почве равнинного понижения применение всех мелиорантов оказало влияние на увеличение численности минерализаторов гумуса, грибов, а также нитрификаторов по сравнению с контролем. Какую-либо существенную закономерность, связанную с применением мелиорантов на данных почвах, на содержание колоний азотобактера выявить не удалось. В разных по степени грунтового увлажнения почвах применение мелиорантов оказало неоднозначное влияние на численность целлюлозолитиков: увеличение гидроморфизма почвы в сочетании с применением дефеката в дозе 5 т/га привело к максимальному увеличению клетчатковых микроорганизмов в черноземно-луговой почве ложбинообразного понижения.

Ключевые слова: черноземно-луговые почвы, химическая мелиорация, гипс, дефекат, микробиологические параметры почв.

DOI: 10.31857/S0002188123060066, EDN: QOSUHC

ВВЕДЕНИЕ

Важным компонентом современных агроландшафтов является широкое распространение переувлажненных почв, отмеченных в степных регионах России. Причина усиления гидроморфности черноземов и изменения их свойств обусловлена литологическими особенностями строения почвенной толщи, складывающимися гидротермическими условиями в течение года и

антропогенным фактором [1–4]. В условиях подъема уровня грунтовых вод отмечают эволюционные процессы трансформации автоморфных почв в гидроморфные – лугово-черноземные и черноземно-луговые [5]. Высокий уровень стояния грунтовых вод существенно изменяет водный, воздушный и солевой режим [6, 7]. Переувлажненные почвы имеют довольно широкое распространение во многих регионах России и

Зарубежья: Тамбовской [8, 9], Воронежской [1], Ростовской [2] обл., Краснодарском крае [10], степных зонах Забайкалья [11], Северного Кавказа [12].

Одним из показателей оценки плодородия почв является изучение их биологической активности [13–15]. По активности отдельных групп микроорганизмов можно судить о степени трансформации почвенного плодородия [16]. Трансформация показателей биологической активности почвы свидетельствует об изменениях плодородия в результате агрогенеза [17–19]. Одним из аспектов улучшения показателей плодородия и активизации биологических процессов является мелиорация почв. Мелиоративные приемы способствуют росту биологической активности почв различного генезиса [20, 21]. Отмечена связь биологической активности с урожайностью культур [22]. Различные типы мелиораций улучшают гумусное состояние, водно-физические и химические свойства почв, активизируют ростовые процессы сельскохозяйственных культур [23].

В научных публикациях довольно широко освещены вопросы генезиса и мелиорации гидроморфных почв. Изучение биологических свойств черноземно-луговых почв при мелиоративном воздействии в литературе представлено мало. Недостаточно изученным вопросом остается изменение соотношения различных групп микроорганизмов при использовании приемов химической мелиорации почв. В связи с этим целью работы – изучение изменения микробиологической активности черноземно-луговых почв при химической мелиорации.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проведено на комплексе сезонно-переувлажненных и затапливаемых почв в Воронежском ФАНЦ. Опытный участок заложен на различных по степени грунтового увлажнения почвенных разностях и расположен на приводораздельной части склона западной экспозиции до 1°. Ниже по склону расположена водорегулирующая лесная полоса № 131, которая посажена в 1959 г. В качестве объектов исследования служили 3 участка, относящиеся к различным элементам микрорельефа. Первый участок (**Р-1**) расположен на выпуклой части склона. Почва – по классификации 1977 г. – лугово-черноземная среднеспособная среднегумусная легкоглинистая на лессовидных глинах, подстилаемых коричнево-бурыми плотными покровными глинами. По классификации 2004 г. эти почвы относятся к агрочерноземам гидрометаморфизованным.

Второй участок – черноземно-луговая солончаковатая слабозасоленная почва на равнинном понижении на переходе от выпуклой к вогнутой части склона с коротким периодом поверхностного затопления (черноземно-луговая солончаковатая почва на равнинном понижении (**Р-2**)).

Третий участок – черноземно-луговая солончаковатая слабозасоленная почва в ложбинообразном понижении на вогнутой части склона, подвергавшаяся длительному сезонному затоплению (черноземно-луговая солончаковатая почва в ложбинообразном понижении (**Р-3**)).

По классификации 1977 г., почвы равнинного и ложбинообразного понижения классифицируются как черноземно-луговые среднеспособные среднегумусные солончаковатые слабозасоленные легкоглинистые пахотные почвы на лессовидных глинах, подстилаемых коричнево-бурыми плотными покровными глинами. По классификации 2004 г. эти почвы относятся к гумусово-гидрометаморфическим засоленным почвам (Р-1, Р-3).

В 2020 г. был заложен опыт химической мелиорации черноземно-луговых почв. Размер опытной делянки 20 м². Повторность трехкратная. Варианты опыта: 1 – контроль, 2 – гипс 5 т/га, 3 – дефекат 5 т/га, 4 – гипс + дефекат по 2.5 т/га.

Численность эколого-трофических групп микроорганизмов определяли методом посева на твердые питательные среды. Учет организмов, усваивающих органические формы азота – посевом на мясопептонный агар (МПА), учет организмов, ассимилирующих минеральные формы азота – посевом на крахмально-аммонийной среде (КАА), учет организмов, минерализующих гумус – посевом на нитратном агаре, учет грибов – на среде Чапека, учет количества азотобактера – на почвенных пластинках, учет нитрификаторов – на голодном агаре [24], учет организмов, разлагающих клетчатку – на среде Виноградского [25]. Почвенные пробы отбирали из слоя 0–20 см почвы. Календарный срок проведения исследования – середина вегетации полевых зерновых культур (фаза трубкования–колошения).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В нашем исследовании проводили изучение влияния мелиорантов на плодородие лугово-черноземных почв, их состояние и продуктивность. Это в дальнейшем позволит строить долгосрочные прогнозы урожайности на элементах рельефа, подверженных сезонному переувлажнению и оптимизировать технологии возделывания культур.

Таблица 1. Состав микробного ценоза в опыте мелиорации черноземно-луговых почв

Участок*	Вариант мелиорации**	Общая численность микроорганизмов	МПА	КАА	Минерализаторы гумуса	Актиномицеты	КАА: МПА
		млн КОЕ/ 1 г абсолютно сухой почвы					
Р-1	1	45.9	10.7	17.8	13.2	4.15	1.66
	2	50.3	10.0	18.3	18.3	3.66	1.83
	3	43.4	10.0	11.2	19.8	2.44	1.12
	4	48.0	6.8	16.1	21.9	3.17	2.36
Р-2	1	49.8	12.7	19.3	13.6	4.22	1.52
	2	50.1	6.7	20.1	19.6	3.72	3.00
	3	44.1	7.9	14.9	17.7	3.59	1.88
	4	33.4	6.7	10.8	13.1	2.82	1.62
Р-3	1	40.3	7.8	16.1	13.6	2.77	2.06
	2	34.4	10.3	10.8	11.3	2.05	1.05
	3	46.5	10.4	16.5	16.5	3.05	1.59
	4	42.3	5.9	11.8	22.3	2.30	2.00
<i>HCP</i> ₀₅		2.1	1.6	1.1	2.4	0.22	

*Р-1 – черноземно-луговая почва на равнинном понижении, Р-2 – лугово-черноземная почва на равнинном повышении, Р-3 – черноземно-луговая в ложбинообразном понижении.

**Варианты: 1 – контроль; 2 – гипс 5 т/га, 3 – дефекат 5 т/га, 4 – гипс + дефекат (2.5 + 2.5 т/га). Нумерация вариантов та же в табл. 2.

По общему количеству микроорганизмов более высокая микробиологическая активность отмечена в почвах с меньшей степенью грунтового увлажнения – в луговых почвах равнинного повышения и понижения. В почвах с большей увлажненностью почвенного профиля (ложбина) общая численность микроорганизмов была на более низком уровне – в среднем 40.9 млн КОЕ против 44.4–46.9 млн КОЕ (табл. 1). Причина более высокой микробиологической активности в почвах равнинного понижения и повышения связана, по нашему мнению, с лучшими условиями аэрации и наличием большего количества воздухоносных пор. В проведенных ранее исследованиях отмечена существенная дифференциация порового пространства почв, обусловленная степенью проявления гидроморфизма и грунтового переувлажнения [26].

Применение мелиорантов оказало различное влияние на общую численность микроорганизмов. Характер их влияния определялся степенью увлажнения. В почвах с меньшим периодом переувлажнения наиболее высокая микробиологическая активность отмечена при использовании

гипса. Дефекат в этом отношении проявлял ингибирующий эффект: на равнинном повышении численность микроорганизмов снизилась с 49.8 до 44.1 млн КОЕ, равнинном понижении – с 45.9 до 43.4 млн КОЕ. В ложбинообразном понижении влияние дефеката носило противоположный характер. При его использовании отмечено повышение общего количества почвенных микроорганизмов с 40.3 до 46.5 млн КОЕ. Таким образом, применение в качестве мелиоранта гипса в дозе 5 т/га оказало благотворное влияние на общую численность микрофлоры в луговых почвах понижения и повышения.

Наименьшая общая численность микроорганизмов оказалась в лугово-черноземной почве на равнинном повышении (Р-2) – 33.4 млн КОЕ/г абсолютно сухой почвы (**а.с.п.**) при применении гипса и дефеката в дозах 2.5 + 2.5 т/га. Немногим больше этот показатель отмечен в черноземно-луговой почве в ложбинообразном понижении (Р-3) при применении гипса в дозе 5 т/га – 34.4 млн КОЕ/г а.с.п. Также небольшая численность была выявлена в черноземно-луговой почве на равнинном понижении (Р-1) при применении

дефеката в дозе 5 т/га – 43.4 млн КОЕ/г а.с.п. Таким образом, применение в качестве мелиорантов гипса и дефеката в дозах 2.5 + 2.5 т/га оказывало наиболее угнетающее действие на микрофлору в луговой почве повышения.

Важным компонентом почвенной микробиоты являются микроорганизмы (аммонификаторы), использующие органические формы азота (МПА), участвующие в деструкции растительных остатков и отмерших корней растений [27]. В равнинных почвах понижения и повышения максимально высокое количество аммонификаторов было характерно для контрольного варианта без использования мелиорантов – соответственно 10.7 и 12.7 млн КОЕ/г почвы (табл. 1). Применение гипса и дефеката приводило к заметному снижению активности этой группы почвенной микрофлоры. Наиболее резким оно было в лугово-черноземной почве равнинного повышения.

В ложбинообразном понижении в почвах с менее благоприятными физическими свойствами мелиоранты, наоборот, стимулировали развитие аммонификаторов. Увеличение их численности составило 33.3%. Таким образом, можно отметить довольно четкую зависимость увеличения численности микроорганизмов, утилизирующих органические формы азота, от применения мелиорантов в черноземно-луговой почве ложбинообразного понижения.

Микроорганизмы, произрастающие на крахмало-аммиачном агаре (КАА) и использовавшие минеральные формы азота для построения собственных клеток, в своем распределении имели четкую зависимость от применения мелиорантов в луговых почвах. В равнинных почвах понижения и повышения отмечено незначительное повышение активности бактерий амилोलитиков под влиянием гипса – 2.3–4.3%. Отмечен существенный депрессионный эффект при мелиорации дефекатом и комплексном использовании гипса и дефеката.

Аналогичная закономерность отмечена в луговой почве ложбинообразного понижения при более низком фоновом уровне активности амилोलитиков. Причем применение гипса вызвало снижение активности микроорганизмов, использующих минеральные формы азота до минимального уровня 10.8 млн КОЕ/г а.с.п., а увеличение численности этих микроорганизмов в данной почве вызвало применение дефеката (16.5 млн КОЕ/г а.с.п.). При комплексном использовании мелиорантов отмечен эффект депрессии для микроорганизмов, произрастающих на КАА. Статистический анализ подтвердил взаимосвязь активности ами-

лолитиков с обеспеченностью почвы азотом. Коэффициент парной корреляции равнялся $r = 0.46 \pm 0.09$. Таким образом, подтверждено существование средней корреляционной зависимости.

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 [28].

Минерализационные процессы органического вещества в наших исследованиях более хорошо выражены в лугово-черноземной почве на равнинном повышении и черноземно-луговой почве равнинного понижения. Активизации этого процесса способствовало применение приемов мелиорации. Подтверждением этого служило расширение соотношения микроорганизмов, утилизирующих минеральные формы азота к количеству микроорганизмов, утилизирующих органические формы азота. Вместе с тем необходимо отметить снижение интенсификации минерализационных процессов в черноземно-луговых почвах ложбинообразного понижения под влиянием мелиорантов. Соотношение КАА: МПА в этом случае в контроле составило 2.06, снижаясь до 1.05–2.0 в опытных вариантах.

Актиномицеты относятся к большой группе микроорганизмов, обладающих способностью к деструкции и синтезу сложных органических соединений. Они обладают значительным набором разнообразных ферментов. Фоновое содержание актиномицетов (контроль) было наибольшим в почве на равнинном повышении и понижении – 4.22 и 4.15 млн КОЕ/г а.с.п. соответственно. В почве ложбинообразного понижения оно было наименьшим – 2.77 млн КОЕ/г а.с.п. Общей закономерностью являлось снижение активности актиномицетов в результате внесения химических мелиорантов. Только в черноземно-луговой почве ложбинообразного понижения применение дефеката в дозе 5 т/га способствовало увеличению содержания актиномицетов до 3.05 млн КОЕ/г а.с.п. по отношению к контролю (табл. 1).

Почва, которая обладала большей увлажненностью за счет своего месторасположения (Р-3), также проявляла худшие условия аэрации, содержала меньшее количество кислорода. Это, вероятно, являлось причиной меньшего содержания актиномицетов в черноземно-луговой почве ложбинообразного понижения, т.к. актиномицеты

Таблица 2. Структура микробного ценоза в опыте мелиорации луговых почв Каменной Степи (20.07.2022 г.)

Объект исследования	Вариант, №	Микромицеты, тыс. КОЕ/г а.с.п.*	Целлюлозолитики, тыс. КОЕ/1 г а.с. п.	Нитрификаторы тыс. КОЕ/1 г а.с. п.	Азотобактер, шт. колоний в 50 г почвы
P-1	1	25.6	58.6	0.46	628
	2	34.2	56.1	0.48	641
	3	39.0	53.7	0.54	606
	4	32.9	61.0	0.55	593
P-2	1	44.6	71.9	0.43	518
	2	44.6	49.6	0.42	533
	3	31.7	43.6	0.49	393
	4	34.2	61.5	0.56	513
P-3	1	32.4	60.5	0.41	599
	2	31.7	66.6	0.46	384
	3	33.9	91.5	0.50	641
	4	30.5	56.3	0.39	659
<i>HCP</i> ₀₅		1.3	2.6	0.11	24

* а.с.п. — абсолютно сухой почвы.

являются прокариотами, требовательными к содержанию кислорода, а сложные органические вещества минерализуются актиномицетами до простых соединений [28, 29]. При этом улучшалась обеспеченность элементами питания растений. По нашим данным, отмечена средняя корреляционная зависимость активности актиномицетов с содержанием нитратного азота в почве. Коэффициент парной корреляции составил $r = 0.52 \pm 0.10$.

Важным компонентом почвенной биоты является численность колоний минерализаторов гумуса. В почвенной массе с различной скоростью проходят процессы минерализации и гумификации растительно-корневых остатков. Оценка активности минерализаторов гумуса показала их существенную изменчивость, определяемую, в первую очередь, воздействием почвенных мелиорантов, и в конечном итоге — таксономической принадлежностью почвы и уровнем грунтовых вод. Наиболее активно минерализационные процессы гумуса, судя по количеству соответствующих микроорганизмов, проходили в черноземно-луговой почве понижения (P-1) и черноземно-луговой почве ложбинообразного понижения (P-3). При применении в качестве мелиоранта сочетания гипса и дефеката в дозе 2.5 + 2.5 т/га их ко-

личество составляло 21.9 и 22.3 млн КОЕ/г а.с.п. соответственно (табл. 1). Численность минерализаторов гумуса в лугово-черноземной почве равнинного повышения (P-2) варьировала в интервале от 13.6 до 19.6, в черноземно-луговой почве равнинного понижения (P-1) — от 13.2 до 21.9, в черноземно-луговой почве ложбинообразного понижения (P-3) — от 11.3 до 22.3 млн КОЕ/г а.с.п.

При этом необходимо отметить не всегда однозначное влияние гипса и дефеката на активность данной группы микроорганизмов. Например, в лугово-черноземной почве повышения (P-2) совместное использование мелиорантов дозе в 2.5 + 2.5 т/г вызывало снижение численности минерализаторов гумуса. В черноземно-луговой почве ложбинообразного понижения (P-3) применение гипса в дозе 5 т/га вызвало снижение количества данной группы микроорганизмов. Из полученных данных можно сделать вывод, что в лугово-черноземных почвах химические мелиоранты способствовали активизации минерализационных процессов органического вещества, способствовали улучшению показателей эффективного плодородия почв. Расчетный коэффициент парной корреляции между численностью минерализаторов гумуса и содержанием нитратного азота равнялся $r = 0.48 \pm 0.08$.

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* [25, 28, 29].

В исследованных объектах изменение содержания азотобактера было неоднозначным. Максимальное количество колоний азотобактера в контроле было в черноземно-луговой почве понижения (P-1) – 628, промежуточное положение выявлено в черноземно-луговой почве ложбинообразного понижения (P-3) – 599 и минимальное – в лугово-черноземной почве повышения (P-2) – 518 шт. колоний/50 г почвы (табл. 2).

Применение мелиорантов в исследованных почвах оказало различное влияние на содержание колоний азотобактера. Какую-либо существенную закономерность, связанную с применением мелиорантов на данных почвах, выявить не удалось. Но следует отметить увеличение количества колоний азотобактера при применении гипса в дозе 5 т/га в черноземно-луговой почве понижения (P-1) – до 641 шт. колоний/50 г почвы.

Разложение клетчатки происходит при участии специализированных групп микроорганизмов – целлюлозоразрушающих бактерий и грибов. В последнее время установлено, что и актиномицеты активно участвуют в этом процессе. В контроле (без мелиорантов) максимальная активность целлюлозолитиков была характерна для лугово-черноземной почвы равнинного повышения – 71.0 тыс. КОЕ/г а.с.п. В черноземно-луговых почвах равнинного и ложбинообразного понижения их численность была заметно меньше – 58.6 и 60.5 тыс. КОЕ соответственно. Влияние мелиорантов на активность целлюлозоразлагающих микроорганизмов носило разнонаправленный характер. В почвах равнинного понижения (повышения) гипс и дефекат оказали деструктивное влияние на численность целлюлозолитиков. В черноземно-луговой почве ложбины мелиоранты, наоборот, способствовали росту их активности.

При этом необходимо отметить максимальное снижение количества целлюлозоразрушающих бактерий во всех вариантах с применением различных мелиорантов в лугово-черноземной почве равнинного повышения по отношению к контролю. Из этого можно сделать предположение, что в данной почве применение химических мелиорантов не было оправданно для увеличения количества группы целлюлозолитиков.

В черноземно-луговой почве понижения (P-1) лишь в варианте с применением гипса и дефеката

в дозе 2.5 + 2.5 т/га их численность превышала контроль, применение гипса и дефеката по 5 т/га привело к сокращению числа целлюлозолитиков соответственно до 56.1 и 53.7 тыс. КОЕ/г почвы.

В черноземно-луговой почве ложбинообразного понижения (P-3), наоборот, лишь в варианте с применением гипса и дефеката в дозе 2.5 + 2.5 т/га их численность была меньше контроля. Применение в качестве мелиорантов гипса 5 т/га, а также дефеката 5 т/га привело к увеличению числа целлюлозолитиков соответственно до 66.6 и 91.5 тыс. КОЕ/г почвы.

Таким образом, численность целлюлозолитиков в наших исследованиях варьировала в интервале 43.6–91.5 тыс. КОЕ/г почвы. В разных по степени луговости почвах применение мелиорантов действовало на данную группу микроорганизмов неоднозначно – увеличение гидроморфизма почвы в сочетании с применением дефеката 5 т/га привело к максимальному увеличению количества клетчатковых микроорганизмов. Установлена средняя корреляционная зависимость обеспеченности почв нитратным азотом и активностью целлюлозолитиков: $r = 0.46 \pm 0.10$ доступным фосфором – $r = 0.35 \pm 0.08$.

Почвенные грибы представляют крупную экологическую группу, участвующую в минерализации органических остатков растений и животных и в образовании гумуса [25, 28, 29]. 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 [30]. К основным деструкторам растительных остатков относятся микроскопические грибы [27–29]. Грибы очень чувствительны к условиям аэрации. Как правило, среди грибов практически отсутствуют анаэробные формы.

Показано, что распределение количества микромицетов в вариантах с различными мелиорантами было неравномерным. Изначально большее количество грибной микрофлоры было характерно для лугово-черноземной почвы повышения (P-2), содержание грибов в контроле в этом случае было максимальным – 44.6 тыс. КОЕ/г а.с.п. Минимальное количество грибов в контроле содержалось в черноземно-луговой почве понижения (P-1) – 25.6 тыс. КОЕ/г а.с.п. (табл. 2). Применение мелиорантов влияло на численность

грибной микрофлоры – максимальное количество грибов было при применении гипса 5 т/га в лугово-черноземной почве повышения (Р-2) – 44.6 тыс. КОЕ/г а.с.п., минимальное – при применении гипса и дефеката в дозе 2.5 + 2.5 т/га в черноземно-луговой почве ложбинообразного понижения (Р-3) – 30.5 тыс. КОЕ/г а.с.п. В черноземно-луговой почве понижения (Р-1) во всех вариантах применения мелиорантов количество грибов увеличивалось по сравнению с контролем. В лугово-черноземной почве повышения (Р-2) их количество было меньше или на уровне контроля. В черноземно-луговой почве ложбинообразного понижения (Р-3) было в основном меньше, лишь при применении дефеката количество микромицетов превышало контроль.

Таким образом, количество грибной микрофлоры варьировало от 25.6 до 44.6 тыс. КОЕ/г а.с.п. Применение мелиорантов оказывало большее влияние на численность грибов в черноземно-луговой почве понижения (Р-1), в частности, во всех вариантах внесения мелиорантов привело к увеличению количества грибной микрофлоры.

Нитрификация – превращение аммиачного азота в нитратный. В процессе жизнедеятельности нитрифицирующих бактерий она проходит в 2 фазы. В первой фазе активны бактерии, называемые нитрозными, которые делятся на несколько видов и разновидностей (*Nitrosomonas*, *Nitrosospira*, *Nitrosocistis* и др.). Во второй фазе участвуют нитратные бактерии (*Nitrobacter*). Эти бактерии широко распространены в почве, в иле. Это строгие автотрофы, аэробы, нуждающиеся в большом количестве кислорода. Они очень чувствительны к кислой реакции среды. Оптимальный рН для них равен 8.6 ед. Окисление аммиака приводит к подкислению почвы, которое может вызвать прекращение их размножения, если не будет проведено известкование. Нитрификаторы создают органическое вещество из углекислоты воздуха и воды за счет химической энергии окисления аммиака [31]. Нитрифицирующие бактерии окисляют аммиак, образующийся в процессе гниения органического вещества, до азотистой и азотной кислот, которые, взаимодействуя с минералами, образуют нитриты и нитраты. Полученная энергия тратится на образование органического вещества из углекислого газа, эти бактерии широко распространены в почве. Нитрифицирующие бактерии благодаря накоплению азотнокислых солей в почве являются чрезвычайно полезными бактериями, определяющими урожайность полей. В течение года в почве может накопиться >300 кг HNO_3 /га. Это количество достаточно для азотного питания растений, и оно оказывает

большое влияние и на их фосфорное питание, ибо азотная кислота растворяет труднорастворимые фосфорнокислые соли, превращая их в усвояемые растениями формы [31].

Проведенные исследования свидетельствовали о положительной роли мелиорантов в активизации нитрификаторов. При этом в контроле их максимальная активность отмечена в почве равнинного понижения (0.46 тыс. КОЕ), затем следовала лугово-черноземная почва равнинного повышения (0.43 тыс. КОЕ), на последнем месте – почва ложбинообразного понижения с количеством нитрификаторов на уровне 0.41 тыс. КОЕ. В луговой почве равнинного понижения и повышения во всех вариантах от применения мелиорантов отмечено наибольшее увеличение количества нитрификаторов. Максимальное содержание этой группы микроорганизмов отмечено в лугово-черноземной почве повышения (Р-2) в варианте с применением гипса и дефеката в дозе 2.5 + 2.5 т/га – 0.56 тыс. КОЕ/г а.с.п., минимальное – 0.39 тыс. КОЕ/г а.с.п. в черноземно-луговой почве ложбинообразного понижения (Р-3) при применении дефеката 5 т/га. Исследования показали, что в почве Р-1 максимальное воздействие на эту группу микроорганизмов оказало применение гипса и дефеката в дозе 2.5 + 2.5 т/га, в почве Р-2 получены аналогичные результаты, в почве Р-3, наоборот, отмечено уменьшение содержания нитрификаторов, хотя в вариантах с применением гипса в дозе 5 т/га и дефеката в дозе 5 т/га происходило незначительное увеличение нитрификаторов по сравнению с контролем.

Таким образом, большее влияние на содержание нитрификаторов оказало совместное применение гипса и дефеката в дозе 2.5 + 2.5 т/га в лугово-черноземной почве повышения (Р-2) и черноземно-луговой почве понижения (Р-1), причем, в черноземно-луговой почве понижения (Р-1) во всех вариантах применения мелиорантов количество нитрификаторов увеличивалось по сравнению с контролем.

Установлена корреляционная связь обеспеченности почв элементами минерального питания с активностью нитрификаторов. Коэффициент парной корреляции составил $r = 0.51 \pm 0.11$ (азот и нитрификаторы) и $r = 0.35 \pm 0.10$ (фосфор и нитрификаторы).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате опыта химической мелиорации луговых почв с применением в качестве мелиорантов гипса и дефеката были установлены закономерности изменения активности почвенных

микроорганизмов. Более высокая общая численность всех компонентов почвенной микрофлоры была характерна для почв с более коротким периодом ранневесеннего переувлажнения. Применение в качестве мелиорантов гипса и дефеката оказывало стимулирующее действие на активность микрофлоры.

Удалось выявить довольно четкую зависимость увеличения численности микроорганизмов, утилизирующих органические формы азота, от применения гипса в луговых почвах равнинного микрорельефа. Доля микроорганизмов, утилизирующих минеральные формы азота, в этом случае под воздействием мелиорантов снижалась.

Минерализационные процессы органического вещества в исследовании были максимально выражены в лугово-черноземной почве на равнинном повышении и понижении при применении мелиорантов. Подтверждением этого служило расширение соотношения микроорганизмов, утилизирующих минеральные формы азота, к количеству микроорганизмов, утилизирующих органические формы азота. Вместе с тем необходимо отметить снижение минерализационных процессов в черноземно-луговых почвах ложбинообразного понижения при совместном применении гипса и дефеката в дозах 2.5 + 2.5 т/га.

Максимальная численность актиномицетов была характерна для луговых почв равнинного микрорельефа. В черноземно-луговой почве ложбинного понижения отмечено существенное снижение их активности. Под влиянием приемов химической мелиорации количество актиномицетов заметно снижалось по отношению к контролю.

Отмечен явный стимулирующий эффект дефеката и гипса на увеличение активности минерализаторов гумуса во всех почвенных разностях. Для большинства вариантов отмечено влияние мелиорантов на численность минерализаторов гумуса в сторону их увеличения по сравнению с контролем.

Применение мелиорантов не оказало существенного влияния на количество колоний азотобактера. Какую-либо заметную закономерность, связанную с применением мелиорантов на данных почвах, выявить не удалось. Можно лишь отметить увеличение количества колоний азотобактера при применении гипса и дефеката в черноземно-луговой почве ложбинообразного понижения.

Численность целлюлозолитиков варьировала в интервале 43.6–91.5 тыс. КОЕ/г почвы. В разных по луговости почвах применение мелиорантов действовало на данную группу микроорганизмов неоднозначно – увеличение гидроморфизма

почвы в сочетании с применением дефеката 5 т/га привело к максимальному увеличению клетчатковых микроорганизмов в черноземно-луговой почве ложбинообразного понижения.

На численность микромицетов применение мелиорантов большее влияние оказало в черноземно-луговой почве равнинного понижения. В этих условиях применение всех мелиорантов привело к увеличению численности грибной микрофлоры. Более высокое фоновое количество микромицетов было характерно для лугово-черноземной почвы равнинного повышения.

Установлена положительная роль применения гипса и дефеката на активность нитрификаторов в лугово-черноземных почвах повышения и черноземно-луговой почве равнинного и ложбинообразного понижения во всех вариантах применения мелиорантов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хитров Н.Б., Чевердин Ю.И. Причины возникновения и география временно переувлажненных и затопленных почв Каменной Степи // Бюл. Почв. ин-та. 2007. Вып. 59. С. 3–13.
2. Хитров Н.Б., Назаренко О.Г. Распространение переувлажненных почв в исходно автоморфных ландшафтах Ростовской области при ведении “сухого” земледелия. М.: АПР, 2012. С. 125–166.
3. Исаев В.А., Овечкин С.В., Козут Б.М., Хитров Н.Б. Влияние временного переувлажнения на гумусовый профиль степных черноземов ЦЧО // Тез. докл. Всесоюз. конф. “Агрочвоведение и плодородие почв”: Л., 1986. С. 51–52.
4. Исаев В.А. Иванов А.Л. Обзор исследований периодически избыточно-увлажненных почв в Каменной Степи // Вестн. Рос. сел.-хоз. науки. 2020. № 1. С. 17–23.
<https://doi.org/10.30850/vrnsn/2020/1/17-23>
5. Чевердин Ю.И. Изменения свойств почв юго-востока Центрального Черноземья под влиянием антропогенного воздействия: Монография. Воронеж: “Истоки”, 2013. С. 336.
6. Баранова О.Ю., Исаев В.А. Остались ли черноземы обыкновенные в Каменной степи // Тез. докл. 111 съезда Докучаевского общ-ва почвоведов. М.: АПР, 2000.
7. Исаев В.А., Поротиков И.Ф. Изменение свойств гидроморфных солонцов ЦЧР в результате различных мелиораций // Научн. тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 1991. С. 90–95.
8. Левченко Е.А., Козлов Д.Н., Смирнова М.А., Авдеева Т.Н. Диагностические свойства и классификация почв лесостепи Вороно-Цнинского междуречья Приволжской возвышенности // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2017. Вып. 88. С. 3–26.
<https://doi.org/10.19047/0136-1694-2017-88-3-26>

9. *Кирюшин С.В.* Проблема гидроморфизма почв и их использование в земледелии Центрального Черноземья // *Земледелие*. 2019. № 1. С. 3–6.
10. *Власенко В.П.* Изменение структуры почвенного покрова низко-западных агроландшафтов Западного Предкавказья под влиянием переувлажнения. М.: АПР, 2012. С. 179–195.
11. *Хутакова С.В., Убугунова В.И.* Разнообразие гидроморфных почв лесостепной и степной зон Западного Забайкалья // *Почвы степных и лесостепных экосистем внутренней Азии и проблемы их рационального использования*. Мат-лы Международ. научн.-практ. конф., приуроч. к 90-летию заслуж. деятеля науки РФ, д-ра с.-х. наук, проф. Ишигинова И.А. Улан-Уде: Изд-во Бурят. ГСХА им. В.Р. Филиппова, 2015. С. 46–49.
12. *Темботов Р.Х.* Биохимические свойства гидроморфных почв Центрального Кавказа (в пределах терского варианта поясности Кабардино-Балкарии) // *Вестн. Адыгей. ГУ*. 2014. Вып. 4 (147). С. 85–93.
13. *Кутвая О.В., Тхакахова А.К., Чевердин Ю.И.* Влияние поверхностного переувлажнения на биологические свойства лугово-черноземных почв Каменной Степи // *Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева*. 2016. Вып. 82. С. 56–70.
<https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-82-56-70>
14. *Шулико Н.Н., Хамова О.Ф., Юшкевич Л.В., Тукмачева Е.В.* Экологическое состояние лугово-черноземной почвы при возделывании ячменя в условиях южной лесостепи Западной Сибири // *Плодородие*. 2022. № 3 (126). С. 80–83.
<https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.126.21>
15. *Данилова Т.Н., Хомяков Ю.В., Конончук П.Ю.* Биологическая активность дерново-подзолистой супесчаной почвы при мелиоративном внесении гидрогелей // *Вестн. защит. раст.* 2021. Т. 104. № 2. С. 97–104.
<https://doi.org/10.31993/2308-6459-2021-104-2-13961>
16. *Шулико Н.Н., Тимохин А.Ю., Тукмачева Е.В.* Экологическое состояние лугово-черноземной почвы при длительном орошении // *Вестн. Ульянов. ГСХА*. 2021. № 3 (55). С. 79–85.
<https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-3-79-85>
17. *Шеуджен А.Х., Гуторова О.А., Онищенко Л.М., Осипов М.А., Есипенко С.В.* Микрофлора и биологическая активность чернозема выщелоченного равнинного агроландшафта при длительном применении минеральных удобрений // *Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири*. Монография. В 5-ти томах. Т. 1 / Под ред. В.Г. Сычева, Л. Мюлера. М.: ВНИИА, 2018. С. 367–392.
<https://doi.org/10.25680/1533.2018.90.54.070>
18. *Трус А.Н.* Биологическая активность чернозема оподзоленного после длительного применения удобрений в полевом севообороте // *Агробиология*. 2018. № 1 (118). С. 106–114.
19. *Гедгафова Ф.В., Горбцова О.Н., Улигова Т.С., Темботов Р.Х., Хакунова Е.М.* Оценка изменения биологической активности горных серых лесных почв Центрального Кавказа (Терский вариант поясности в пределах Кабардино-Балкарии) в результате агроиспользования // *Агрохимия*. 2019. № 4. С. 23–30.
<https://doi.org/10.1134/S0002188119040069>
20. *Ломова Т.Г., Коробова Л.Н.* Фитомелиоративное окультуривание солонцов Барабы и его влияние на биологическую активность почвы // *Сибир. вестн. с.-х. науки*. 2015. № 1 (242). С. 12–18.
21. *Ступина Л.А., Курсакова В.С., Иванов А.Н.* Влияние химической мелиорации на микробиологическую активность серых лесных почв // *Вестн. Алтай. ГАУ*. 2002. № 3 (7). С. 155–158.
22. *Масютенко Н.П., Брескина Г.М., Чуян Н.А.* Биологическая активность чернозема и урожай сахарной свеклы при внесении минеральных удобрений, извести и соломы // *Плодородие*. 2009. № 4 (49). С. 28–30.
23. *Бабичев А.Н., Бабенко А.А.* Влияние различных типов мелиораций на восстановление и повышение плодородия деградированных почв // *Мелиорат. и гидротехника*. 2022. Т. 1. № 1. С. 157–176.
<https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-1-157-176>
24. *Практикум по микробиологии* / Под ред. Егорова Н.С. М.: Изд-во МГУ, 1976. С. 307.
25. *Теннер Е.З., Шильникова В.К., Переверзева Г.И.* *Практикум по микробиологии*. М.: Дрофа, 2005. С. 256.
26. *Титова Т.В., Чевердин Ю.И., Беспалов В.А., Рябцев А.Н., 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.
27. *Звягинцев Д.Г.* *Почва и микроорганизмы*. М.: Изд-во МГУ, 1987. С. 256.
28. *Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М.* *Биология почв*. М.: Изд-во МГУ, 2005. С. 445.
29. *Турусов В.И., Чевердин Ю.И., Титова Т.В., Беспалов В.А., Сапрыкин С.В., Гармашова Л.В., Чевердин А.Ю.* Взаимосвязь микробиологических параметров и физических свойств черноземных почв // *Агрохимия*. 2017. № 11. С. 3–12.
30. *Никитин Д.А., Семенов М.В., Железова А.Д., Кутвая О.В.* Влияние технологии No-till на численность и таксономический состав микроскопических грибов в южных агрочерноземах // *Микол. и фитопатол.* 2021. Т. 55. № 3. С. 189–202.
<https://doi.org/10.31857/S0026364821030077>
31. *Германов Н.И.* *Микробиология*. М.: Просвещение, 1967. С. 227.

Influence of Chemical Meliorants on Microbiological Activity of Chernozem-Meadow Soils

Yu. I. Cheverdin^{a,#}, T. V. Titova^a, and V. A. Bespalov^a

^a*Voronezh FASC named after V.V. Dokuchaev, POS 2 division of the Institute Dokuchaev quart. 5, 81, Voronezh region, Talovsky district 397463, Russia*

[#]*E-mail: cheverdin62@mail.ru*

The study was conducted in the Voronezh FASC “Kamennaya Steppe” in 2020–2022. The assessment of the state of the structure of microbial cenosis in meadow soils with the use of various chemical meliorants is given. Options for reclamation included the introduction of gypsum and defecate at a dose of 5 t/ha and a combination of their half doses. The number of ecological and trophic groups of microorganisms was determined by seeding on solid nutrient media. Accounting for organisms assimilating organic forms of nitrogen – by sowing on meat-peptone agar (MPA), accounting for organisms assimilating mineral forms of nitrogen – by sowing on starch-ammonium medium (SAM), accounting for organisms mineralizing humus – by sowing on nitrate agar, accounting for fungi – on Chapek medium, accounting for the amount of nitrogen – on soil plates, accounting for nitrifiers – on hungry agar, accounting for organisms that decompose fiber – on Vinogradsky’s medium. As a result of chemical reclamation of meadow soils with the use of gypsum and defecate as meliorants, patterns of changes in the activity of soil microorganisms were established. It was possible to identify a fairly clear dependence of the increase in the number of microorganisms that utilize organic forms of nitrogen on the use of meliorants in meadow soil of a hollow-shaped depression. Mineralization processes of organic matter were maximally expressed in meadow-chernozem soil on a plain rise when gypsum was used as a meliorant at a dose of 5 t/ha, while the use of gypsum and defecate at a dose of 2.5 + 2.5 t/ha had a greater effect on the content of nitrifiers in this soil. In the chernozem-meadow soil of a hollow-like decrease, the use of defecate at a dose of 5 t/ha led to an increase in the content of actinomycetes. In the chernozem-meadow soil of the plain depression, the use of all meliorants had an impact on the increase in the number of humus mineralizers, fungi, as well as nitrifiers compared with the control. It was not possible to identify any significant pattern associated with the use of meliorants on these soils for the maintenance of azotobacter colonies. In soils with different degrees of soil moisture, the use of meliorants had an ambiguous effect on the number of cellulolytics: an increase in soil hydromorphism in combination with the use of defecate at a dose of 5 t/ha led to a maximum increase in cellular microorganisms in the chernozem-meadow soil of a hollow-like decrease.

Key words: chernozem-meadow soils, chemical reclamation, gypsum, defecate, microbiological parameters of soils.