

=====
УДК 631.452, 633.635

Характеристика микробиологической активности почв при их избыточном увлажнении

*Савич В.И.¹, Наумов В.Д.¹, Норовсурэн Ж.², Тазин И.И.³, Каменных Н.Л.¹,
Поляков А.М.¹, Шмакова К.А.¹*

¹РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

²Институт биологии АН Монголии

³Лаборатория культурных растений ГБС имени Н.В. Цицина РАН

Аннотация

*Представлены результаты исследования микробиологической активности дерново-подзолистых почв разной степени гидроморфности и лугово-черноземных почв под рисом. При их избыточном увлажнении отмечается увеличение количества маслянокислых, железоредуцирующих, сульфатредуцирующих бактерий, анаэробных бактерий рода *Clostridium*, уменьшение активности каталазы, увеличение активности нитратредуктазы, а также увеличение содержания отношения подвижных форм Fe:Mn. На численность микроорганизмов оказало влияние внесения сидератов и NPK. Доказывается, что регулирование соответствующих систем земледелия позволяет оптимизировать уровни плодородия почв. Положительное влияние на плодородие почв оказывало и внесение в почву KNO₃, J, Mo, Mn.*

Ключевые слова: ПОЧВА, АНАЭРОБИОЗИС, МИКРООРГАНИЗМЫ, ОГЛЕЕНИЕ, ОПТИМИЗАЦИЯ; GLUING, ANAEROBIOSIS, MICROORGANISMS, OPTIMIZATION

Введение

Окислительно-восстановительное состояние почв в значительной степени определяет их генезис и плодородие. Особенно большое значение имеет оценка этого показателя в почвах временного и постоянного избыточного увлажнения. Окисление и восстановление

=====
отдельных ионов и соединений в почве изменяет их подвижность, следовательно, определяет направление и масштабы миграции, элювирования и аккумуляции. Разным окислительно-восстановительным условиям способствуют определенные группы микроорганизмов, ферментов. Биологическая активность почв, в свою очередь, определяет процессы трансформации органического вещества почв, торфообразования, гумусонакопления. Наиболее важными проблемами, связанными с окислительно-восстановительным состоянием почв, являются следующие: падение плодородия почв и урожая, подтопление почв, использование под рис, временное избыточное увлажнение атмосферными осадками; ухудшение экологической ситуации, связанной с выделением в воздух большого количества углекислого газа, недоокисленных соединений азота, метана, сероводорода и ряда других газообразных продуктов из гидроморфных почв; миграция в грунтовые воды и реки H_2S , NO_3 , NH_4 , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Al^{3+} , недоокисленных водорастворимых органических веществ. Избыточное увлажнение почв в значительной степени оказывает влияние на биоактивность угодий, ухудшает экологическое состояние водной и воздушной среды. Большое теоретическое и практическое значения носит изучение свойств, процессов и режимов почв избыточного увлажнения [1-4].

Цели и задачи

Целью исследования являлась оценка микробиологической активности почв избыточного увлажнения и ее связи с содержанием подвижных форм Fe и Mn. В задачи исследования входило изучение влияния на эти процессы внесения сидератов, NPK, ферментов, окислительно-восстановительного состояния системы почва-растения-микроорганизмы.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования выбраны дерново-подзолистые почвы разной степени гидроморфности и лугово-черноземные почвы под рисом. Методы исследования включали полевые и модельные опыты [1, 5-7].

Методика исследования состояла в оценке микробиологической активности почв избыточного увлажнения [2, 5], содержания в почвах подвижных соединений Fe и Mn [8-10], изучения свойств почв в прикорневой зоне растений [10].

Экспериментальная часть

Изменение микробиологической активности в пахотном горизонте затопленной почвы рисового поля

Исследовали количество анаэробных бактерий в различных слоях пахотного горизонта почвы рисового поля. Избыточное увлажнение почв приводит к развитию анаэробизиса, что сопровождается увеличением числа анаэробных маслянокислых и железоредуцирующих бактерий, при этом отмечается два максимума их количества: в слое 0–1 и 2–5 см. В нижележащих слоях почвы их количество резко падает, что иллюстрирует данные таблицы 1.

Распространение железоредуцирующих бактерий в пахотном горизонте зависит от наличия в среде окисленных и восстановленных форм железа. Следует отметить, что в слое 0–5 см наблюдалось значительное увеличение железоредуцирующих бактерий, особенно при внесении соломы.

Таблица 1. Содержание анаэробных бактерий в пахотном горизонте затопленной почвы рисового поля (в млн на 1 г абс. сух. почвы)

Слой почвы, см	Маслянокислые бактерии рода Clostridium		Железоредуцирующие бактерии на среде Бромфильда
	Общее количество	Cl.pasterianum	
0-1	250,0/6,0	0,13/0,02	90,0/200,0
1-2	-/600,0	-/1,30	-/230,0
2-5	600,0/250,0	25,00/0,20	25,0/212,0
5-10	130,0/100,0	0,60/0,06	6,0/130,0
10-20	12,5/10,0	2,50/0,06	0,7/2,5

Примечание: числитель – контроль (почва); знаменатель – внесена рисовая солома.

Компостирование лугово-черноземной почвы в течение двух месяцев в условиях оптимального и избыточного увлажнения показало, что число маслянокислых бактерий резко возрастает, особенно в варианте с внесением сидератов. Железоредуцирующих бактерий при избыточном увлажнении почвы также больше, чем при оптимальном увлажнении. Наибольшая численность их отмечена в почве при монокультуре риса. Внесение сидератов способствует увеличению содержания железоредуцирующих бактерий в почве [6].

При увеличении степени оглеения почв в них, как правило, увеличивается отношение Fe:Mn, но не всегда увеличивается содержание подвижных форм Fe и Mn. Эти взаимосвязи отражаются на ряде протекающих одновременно физико-химических процессах

сорбции, десорбции и комплексообразования. Как видно из данных таблицы 2 отношения железа и марганца в глееватой и глеевой почве изменяется для железа от 0,37 до 9,20, марганца от 0,16 до 3,30. Эти отношения значительно изменяются в зависимости от использования для фракционирования вытяжек. Максимальные значения для железа получены в вытяжках H_2O и H_2SO_4 0,1н, для марганца в вытяжке H_2O . Известно, что в глеевых почвах по сравнению с глееватыми ниже Eh почв, но выше рН, в связи с чем может появляться H_2S и образовываться FS и MnS.

Таблица 2. Фракционный состав соединений Fe и Mn в дерново-подзолистых почвах разной степени гидрофобности (последовательная десорбция)

Вытяжка	Относительно в глееватой и глеевой почвах		
	Fe	Mn	Fe/Mn
H_2O	9,20	3,30	286,70/9,30
KCl	0,37	3,20	0,15/0,13
$Na_4P_2O_7$	0,84	0,16	107,20/21,00
KCl+ NH_2OH	0,36	0,36	10,20/0,30
H_2SO_4 0,1н	1,00	0,30	24,40/7,30

Различные величины отношений Fe/Mn в почвенных вытяжках в зависимости от степени оглеения и гранулометрического состава подтверждаются и данными таблицы 3.

Таблица 3. Соотношение Fe/Mn в дерново-подзолистых почвах различной степени гидроморфизма

Почва	Степень оглеения	Fe/Mn в вытяжках	
		KCl	H_2SO_4
Дерново-подзолистая легкосуглинистая	Глеевая	0,18±0,04	16,80±7,10
	Глееватая	0,13±0,20	6,10±0,10
Дерново-подзолистая среднесуглинистая	Глеевая	0,37±0,08	27,80±1,40
	Глееватая	0,26±0,06	9,20±0,70

Как видно из приведенных данных в глеевых почвах по сравнению с глееватыми выше отношение Fe/Mn.

Изменение микробиологической активности почв в прикорневой зоне растений

Значительный интерес представляет деятельность микроорганизмов, осуществляющих трансформацию железа и марганца в системе почва-растение, в зоне ризосферы. Нами изучены эти процессы для растений риса [10]. Вокруг сформировавшегося главного корня,

имеющего развитую аэренхиму, располагается чехол, состоящий из окисленного железа. При изготовлении срезов корня и просто при механическом воздействии происходит его отслаивание без нарушения эпителиальной ткани корня. Другой тип железо-марганцевых образований возникает на боковых и придаточных корнях. Формирующиеся чехлы и ризоконкреции тесно связаны с тканями корня. Попытки отделения ризоконкреций неизменно приводят к отслаиванию вместе с ними эпителиальных клеток корня.

Выращивание растений риса в лабораторных опытах показало, что характер формирования железо-марганцевых образований различен. Железистые чехлы (на боковых корнях) образуются на основе разлагающихся клеток корневого чехлика. По мере роста бокового корня чехол может покрыть весь корень. Ризоконкреции формируются из разрастающихся микроколоний железо-марганцевых бактерий. Результаты химического анализа железо-марганцевых образований на абсорбционном спектрофотометре PerkinElmer показали, что в них содержится железа до 30% и марганца до 2%.

Из охристых скоплений на корнях риса нами были выделены бактерии, окисляющие закисные формы железа и окисные, которые вначале по морфологии и месту обитания были отнесены к представителям рода *Siderocapsa*. Изучение чистых культур позволило отнести их к роду *Arthrobacter* и выделить в подвид *Arthrobactersiderooziza* n. subsp. Микроорганизмы участвуют в мобилизации железа и марганца из почвообразующих пород, в образовании железо-марганцевых конкреций и прослоек, в превращении органо-минеральных комплексов гумусовых веществ с полуторными окислами, в процессах глееобразования [11].

Кинетика изменения свойств почв и их микробиологической активности при развитии анаэробнозиса

Избыточное увлажнение почв в значительной степени увеличивает содержание в почве железоредуцирующих бактерий. Проведенные нами исследования показали, что динамика численности железоредуцирующих бактерий, учитываемых на традиционных жидких средах Бромфильда, возрастает во второй половине вегетационного периода, что, по видимому, связано с созданием наиболее восстановленных условий в почве в это время года. Содержание железоредукторов при затоплении постепенно возрастает, причем их численность соответствует динамике биохимического состояния рисового поля в течение

вегетации растений. Максимум их приходится на фазу кущения и конец вегетации риса. Количество анаэробов под монокультурой риса намного выше, чем на целинном участке.

Железоредактирующие бактерии влаголюбивы и интенсивно развиваются при внесении в почву минеральных удобрений и сидератов или пожнивных остатков [12]. Однако внесение минеральных удобрений без органических остатков по-разному оказало влияние на численность железоредактирующих бактерий, в мае и в августе их численность была выше, чем в варианте с внесением сидератов. Внесение сидератов совместно с минеральными удобрениями привело к увеличению численности железоредактирующих бактерий, за исключением их численности в августе. Контрольный вариант (монокультура риса без внесения каких-либо удобрений) отличался крайне пониженным содержанием железовосстанавливающих микроорганизмов. Следовательно, железоредактирующие бактерии тяготеют к повышенной влажности почвы и наличию доступного органического вещества (табл. 4).

Верхний слой пахотного горизонта (0–10 см) наиболее богат микроорганизмами; нижележащий (10–20 см) - имеет пониженную биогенность. В основном, железоредактирующие бактерии тяготеют к слою 0–5 см, где установлена наибольшая концентрация клеток микроорганизмов и созданы оптимальные условия для их жизнедеятельности.

Таблица 4. Динамика численности железоредактирующих бактерий *) в почве при бессменном выращивании риса (млн на 1 г абс.сух. почвы)

Вариант опыта	май	июнь	июль	август	После сброса воды
Контроль, без удобрений	1,6	30,0	32,5	556,0	11,2
Сидераты	18,0	681,5	711,0	1683,0	303,5
Сидераты +NPK	115,8	454,5	483,0	2142,0	27,0
NPK	21,0	210,0	211,4	2978,0	67,2
Целинный участок	18,1	13,1	9,0	6,0	1,0

Примечание: *) учет на среде Бромфильда.

Важное практическое значение имеет микробиологическая трансформация в почве соединений азота, серы, фосфора, железа, марганца, органического вещества. При этом следует учитывать, что одна группа микроорганизмов начинает процесс трансформации и образует определенный конечный продукт. Затем начинает интенсивно развиваться следующая группа. То есть в процессах разложения, трансформации и синтеза соединений, имеющих в почве, происходит закономерная смена одних микробных сообществ другими, и

именно не видов организмов или групп, а сообществ. То есть микробиологическая трансформация одних соединений тесно связана с состоянием и трансформацией других соединений. Химические процессы тесно взаимосвязаны с микробиологическими и ферментативными.

Сульфатредуцирующие бактерии и ОВ состояние почв

Количественное содержание сульфатредуцирующих бактерий в почвах мало изучено, хотя некоторые авторы считают, что практически каждый тип почвы содержит представителей этой физиологической группы [13]. Для активного восстановления сульфатов в почве необходимо выполнение следующих условий: отсутствие диффузии кислорода, т.е. создание анаэробных условий; высокое содержание растворимых сульфатов; наличие в почве запасов органического вещества. Большое значение при этом имеет плотность почвы, т.к. в почвах с плохой структурой и высоким объемным весом отличается активность развития сульфатредуцирующих бактерий [10].

Из данных таблицы 5 видно, что численность сульфатредуцирующих бактерий значительно колеблется по вариантам опыта.

Таблица 5. Динамика численности сульфатредуцирующих (в числителе) и гнилостных (в знаменателе) бактерий в лугово-черноземной почве (тыс./г абсолютно-сухой почвы)

Вариант опыта	До затопления (май)	Всходы (июнь)	Кущение (июль)	Цветение (август)	После сброса воды (сентябрь)
Монокультура риса контроль (без удобрений)	17/9	1340/681	3196/77	98/7	170/23
НРК	-48/37	6900/1120	14100/390	690/12	460/14
Озимая рожь+горох	420/151	8650/3870	24130/330	1153/49	1720/37
Сидераты (280–290 ц/га)	500/163	10790/4062	42560/307	846/30	240/42
Рис в севообороте (после люцерны)					
1 год (без удобрений)	16/125	5300/8070	8410/451	660/52	540/49
6 лет (без удобрений)	21/13	1910/809	5472/208	603/38	170/35

Максимальная численность определена в вариантах (озимая рожь+горох) и сидераты (280–290 ц/га). Внесение только минеральных удобрений повысило численность бактерий, но их влияние было ниже, чем в вариантах с внесением сидератов и озимая рожь+горох.

Максимальное количество гнилостных бактерий было в варианте рис в севообороте (после люцерны): 1 год (без удобрений). Таким образом, увеличение количества сульфатредуцирующих бактерий, вероятно, происходит за счет внесения в почву, прежде всего органических, а также минеральных удобрений как источника энергетических ресурсов. В нижеследующей таблице приведены в качестве примера полученные нами данные о динамике численности сульфатредуцирующих бактерий в почвах рисовых полей.

Микробиологическая трансформация в почве соединений азота

Важное значение для генезиса и плодородия почв имеет деятельность микроорганизмов, осуществляющих трансформацию в почве соединений азота. Деятельность этих групп микроорганизмов и процессы трансформации азота тесно взаимосвязаны с изменением окислительно-восстановительного состояния почв. Наибольшей степени данные вопросы изучены для почв рисовых полей. При изучении микрофлоры почв рисовников основное внимание уделяется микроорганизмам, участвующим в круговороте азота. Особенно много работ за последние годы посвящено процессам азотфиксации и азотфиксирующим микроорганизмам [7]. Изменение численности анаэробных бактерий *Clostridium* во время вегетации риса при затоплении почв приведены в таблице 6.

Таблица 6. Изменение численности анаэробных бактерий рода *Clostridium* за период вегетации риса (в млн на 1 г абс. почвы; в числителе - *Cl.pasterianum*, в знаменателе - *Cl.acetobutylicum*)

Варианты	Слой, см	Фазы вегетации риса				
		Всходы	Кущение	Выметывание и цветение	Молочно-восковая спелость	Полное созревание после сброса воды
Целина	0-10	0,8/1,8	0,9/2,0	1,2/1,7	1,1/0,1	0,7/1,1
	10-20	0,2/0,4	1,6/1,6	1,0/1,0	0,2/0,3	2,1/2,6
Контроль без удобрений	0-10	0,1/1,4	11,9/3,0	1,4/1,9	1,4/0,8	4,3/2,5
	10-20	0,1/1,1	8,0/1,7	2,6/1,2	1,7/1,3	2,6/1,5
Сидераты	0-10	3,0/9,1	24,3/29,4	13,8/16,1	7,4/8,8	8,8/14,0
	10-20	0,1/0,3	16,7/16,7	12,5/3,9	2,7/2,2	2,7/4,0

Как видно из данных таблицы 6 численность анаэробных бактерий рода *Clostridium* различается как по вариантам опыта, так и по глубине. В различные фазы вегетации риса,

как правило, численность анаэробных бактерий была выше в слое 0–10 см, а максимальная их численность определена в варианте с внесением сидератов.

Тесно связаны активности окислительно-восстановительных ферментов с содержанием аэробных и анаэробных микроорганизмов. Как видно из данных таблицы 7, бесменное возделывание риса на лугово-черноземной почве подавляет активность каталазы независимо от применяемых агротехнических мероприятий. Условный показатель соотношения активности ферриредуктазы к активности каталазы свидетельствует о преобладании восстановительных процессов над окислительными в верхнем слое пахотного горизонта при бесменном выращивании риса.

Таким образом, активность окислительно-восстановительных ферментов в почве, безусловно, является индикатором их окислительно-восстановительного состояния, степени гидроморфности. Однако установить градации можно, видимо, только для определенных лимитов гумусового состояния и химических свойств почв. Активность окислительно-восстановительных ферментов в растениях является индикатором напряженности в них окислительно-восстановительных процессов.

Таблица 7. Влияние срока затопления лугово-черноземной почвы рисовых полей на активность окислительно-восстановительных ферментов и их соотношение

Вариант	Глубина, см	Активность **) каталазы, дни		Активность ***) ферриредуктазы		Ферриредуктаза/ каталаза, дни *)	
		15	93	15	93	15	93
Целина	0-10	1,1	1,3	11,4	25,6	10,4	20,0
	10-20	1,5	1,6	12,1	23,3	8,0	14,1
Монокультура риса контроль без удобрений	0-10	0,2	1,6	13,9	0,1	60,4	18,6
	10-20	0,6	1,1	14,3	16,0	24,7	14,6
Сидераты	0-10	0,7	0,2	17,4	5,1	23,6	125,5
	10-20	0,3	0,9	16,3	14,2	53,3	15,8

Примечание: *) отношение активности ферриредуктазы и каталазы; **) на 1 г почвы за 1 минуту; ***) в мг восстановленного Fe на 100г почвы за 48 часов.

Поиск путей регулирования и оптимизации активности окислительно-восстановительных ферментов в системе почва-растение-микроорганизмы может явиться одним из перспективных направлений оптимизации биогеоценозов и агрофитоценозов, повышения урожая сельскохозяйственных культур и улучшения качества сельскохозяйственной продукции.

Изменение кислотно-основных и окислительно-восстановительных свойств почв, микробиологической активности при применении удобрений и мелиорантов

Оглеение почв, возникающее при развитии временных и постоянных анаэробных условий, существенно уменьшает биопродуктивность угодий. Для оптимизации обстановки проводят мелиоративные мероприятия, корректировку систем земледелия (севооборота, системы обработки, системы удобрений). Так по данным Матюхина Н.С. [10] в дерново-подзолистых почвах в контрольном варианте (без химизации), в варианте гербициды+НРК и в варианте комплексной химизации при отвальной обработке почв содержание бактерий в толще почвы 0-20 см в млн КОЕ/г составило соответственно для бактерий растущих на МПА – 32,4; 34,4; 39,8, для бактерий растущих на КАА соответственно – 23,8; 30,6; 42,3, для олигофилов – 96,3; 95,3; 174,3, для азотфиксирующих – 121,6; 142,4; 249,5, всего микроорганизмов – 247,2; 302,8; 506,0. Указанное количество существенно отличается от способа обработки почв.

По полученным нами данным внесение в почву регуляторов окислительно-восстановительного состояния существенно повлияло на Eh почв, активность аэробной микрофлоры, активность пероксидазы и каталазы. Так при внесении KNO_3 на избыточно увлажненном черноземе Eh изменяется от -125 мв до +189. При внесении KNO_3 на избыточно-увлажненной дерново-подзолистой почве Eh изменяется от -240 мв до +120.

При активности пероксидазы за 30 минут в избыточно-увлажненном черноземе – 8,8 мг, при внесении J активность поднимается до 9,8; при внесении Mo – до 10,7; при внесении Mn до 10,3. При активности каталазы в MnO_2 на 1 г за 1 минуту в оглееном черноземе – 5,4, при внесении J активность составляет 6,5, при внесении Mn – 6,7, при внесении Cu – 7,4.

Корректировка системы земледелия для оптимизации микрофлоры пахотных почв

Для получения планируемых урожаев сельскохозяйственных культур, как правило, применяют два подхода. Внесение удобрений и мелиорантов для создания почв с заданными свойствами (агроземов) близких по свойствам к огородным почвам. Однако, чаще всего, затраты на создание агроземов не оправдываются прибавкой урожая. При применении системы удобрений для выращивания культур и определенного уровня их урожайности не учитывают миграцию удобрений в поверхностные и грунтовые воды, необратимое за-

крепление их в почве, процессы синергизма и антагонизма, происходящие между компонентами удобрений, изменений мощности генетических горизонтов почв, рельефа и других факторов, определяющих трансформацию, миграцию и аккумуляцию составных частей удобрений в почвах. С нашей точки зрения целесообразно создавать почвы с заданной микробиологической активностью. Однако при этом необходимо учитывать динамичность микробиологического комплекса, его изменения в почвах, и в прикорневой зоне растений, взаимодействия между отдельными представителями микрофлоры.

Федорова Л.В. с соавторами [11] отмечают, что в почвах наблюдается значительная динамичность микробиологического комплекса. Микробиологическая активность отмечена летом в период максимального выделения корнями экссудатов. При этом численность микроорганизмов летом была в 1,5–2 раза ниже относительно осенних значений.

Ряд авторов [9] считают, что необходимо изменение схем чередования культур, систем удобрений и обработки для целенаправленных изменений состава микрофлоры, определяющей и плодородие почв. По данным авторов применение комплексной химизации стимулировало растительный покров и нитратредуцирующих, фосфатмобилизирующих бактерий в вариантах с отвальной и комбинированной обработкой, олигонитрофилов и грибов при технологиях возделывания ячменя.

Заключение

Рассматривая практическую целесообразность углубленного рассмотрения микробиологических и ферментативных процессов в различных условиях окислительно-восстановительного состояния, можно отметить следующие основные направления исследования.

1. Оценка основных групп микроорганизмов в почве, ответственных за образование, накопление определенных соединений, позволяет разрабатывать пути воздействия на эти группы с целью оптимизации обстановки (устранения токсичного влияния на биоту отдельных продуктов). Так, например, ингибирование сульфатредуцирующих микроорганизмов позволяет устранить или снизить образование H_2S и существенно повысить урожай сельскохозяйственных культур.

2. Оценка закономерностей трансформации вещества, осуществляемой с помощью определенных групп микроорганизмов, позволяет вычленить звенья в цепи трансформации, на которые следует воздействовать с целью получения или преобладания определенного

конечного продукта. Так, зная закономерность смены пула микрофлоры и ферментов при трансформации органического вещества, можно, прервав разложение на определенной стадии, усилив развитие определенных групп микроорганизмов, получить продукт с заданными свойствами: заданной комплексообразующей, структурообразующей способностью, биологической активностью и т.д.

3. Регулируя условия питания микроорганизмов (рН, Eh среды, наличие определенных органических остатков с заданным соотношением C:N, ароматических и алифатических групп, степенью окисленности, долей восков и смол и т.д. при внесении удобрений), можно существенно изменить численность отдельных групп, а следовательно, опосредованно и химические, физико-химические, физические свойства почв.

В конечном итоге микробиологические и ферментативные процессы определяют в значительной степени не только отдельные превращения в почве органической и минеральной части, но и почвообразовательные процессы, почвенные режимы.

Список использованных источников:

1. Савич В.И., Кауричев И.С., Шишов Л.Л., Амергужин Х.А., Сидоренко О.Д. Окислительно-восстановительные процессы в почвах, агрономическая оценка и регулирование. Кустанай, 1999. - 404 с.
2. Савич В.И., Седых В.А., Балабко П.Н. Инновационные технологии в агропромышленном комплексе. - М.: РГАУ-МСХА, «Плодородие». - 2020. - 350 с.
3. Сорокин А.Е., Седых В.А., Савич В.И., Филиппова А.В., Гукалов В.В., Конах М.Д. Информационная оценка взаимодействий в системе почва-растение // Международный сельскохозяйственный журнал (International Agricultural Journal). - 2021. - № 1 (379). - С. 17–21.
4. Савич В.И., Наумов В.Д., Гукалов В.В., Тазин И.И., Каменных Н.Л., Поляков А.М., Арешин А.В. Гумусовое состояние и микробиологическая активность почв избыточного увлажнения [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2022. – № 3. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/3/st_321.pdf
5. Савич В.И., Мосина Л.В., Норовсурэн Ж. Микробиологическая активность почв, как фактор почвообразования // Международный с.-х. - 2015. - № 1. - С. 38–42.
6. Сидоренко О.Д., Сидибе Г., Савич В.И. Влияние монокультуры риса на биологическую активность лугово-черноземной почвы // Изв. АН СССР, сер. биол., 1990, № 3. – С. 470–473.
7. Сидоренко О.Д. Азотфиксирующие микроорганизмы затопляемых почв под рисом // Известия ТСХА. - 2012. - Вып. 1. - С. 181–184. EDN: OQQRIX

=====
8. Белопухов С.Л., Савич В.И., Байбеков Р.Ф. Комплексообразование ионов металлов в почвенных растворах // Агрофизика. - 2020. - № 1. - С. 1–8. EDN: QJNWA.

9. Гукалов В.В., Сорокин А.Е., Савич В.И., Рашкович В.Н. Кинетика изменения содержания в почвах водорастворимых форм NO₃, K, Fe, Mn, Cu при создании центров кристаллизации и осадкообразования // Агрохимический вестник. - 2021. - № 4. - С. 72–74. EDN: GVAXDW.

10. Тазин И.И., Ефимов О.Е., Савич В.И., Федянина Е.С. Прикорневая зона растений, как критерий плодородия почв // Плодородие. – 2021. - 6 (123). - С. 9–13.

11. Фёдорова Л.В., Славкина В.П., Самутенко Л.В. Ризосферная микрофлора агролугово-дерновой почвы о. Сахалин в травяно-пропашном севообороте // Плодородие. – 2021. - 6 (123). - С. 58–62.

12. Юшкевич Л.В., Шулико Н.Н., Хамова О.Ф., Тукмачева Е.В. Влияние средств химизации на засорённость и биологическую активность почвы под посевом ячменя // Плодородие. – 2021. - 6 (123). - С. 62–65.

13. Матюк Н.С., Шевченко В.А., Соловьев А.М., Полин В.Д. Активность микроорганизмов дерново-подзолистой почвы в различных агроэкосистемах // Плодородие. - 2020. - № 2. - С. 61–62. EDN: VRPUDG.

=====
Цитирование:

Савич В.И., Наумов В.Д., Норовсурэн Ж., Тазин И.И., Каменных Н.Л., Поляков А.М., Шмакова К.А. Характеристика микробиологической активности почв при их избыточном увлажнении [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2023. – № 4. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/4/st_404.pdf. DOI: <https://doi.org/10.51419/202134404>.