

ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ ПОВЫШЕННЫХ ДОЗ ОСАДКА ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД НА АЗОТНЫЙ РЕЖИМ, БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И АГРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ

В.А. Касатиков, д.с.-х.н., Н.П. Шабардина, ВНИИОУ – филиал ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ», kasv47@yandex.ru, В.А. Раскатов, к.б.н., РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева, raskatovv@list.ru

Представлены результаты исследований, полученные в длительном опыте Географической сети опытов с удобрениями по изучению агробиологических изменений, протекающих в дерново-подзолистой супесчаной почве под влиянием осадков городских сточных вод (ОСВ) и доломитовой муки. Показано, что последствие повышенных доз ОСВ оказывает заметное влияние на азотный режим, биологические показатели и агрохимические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы.

Ключевые слова: азотный режим, биологические показатели, осадок сточных вод, почва.

DOI: 10.25680/S19948603.2019.111.12

При очистке сточных вод неизбежно возникает проблема утилизации образующихся осадков. Осадок городских сточных вод (ОСВ) содержит значительное количество органического вещества, азота и зольных элементов, особенно фосфора. Это обуславливает целесообразность широкого использования ОСВ в качестве нетрадиционных органических удобрений в сельском хозяйстве, а также при городском озеленении [1]. Необходимость данного подхода обусловлена также тем, что одним из основных условий сохранения экосистем в устойчивом состоянии является использование органических отходов как сырьевого ресурса с целью уменьшения их негативного воздействия на окружающую среду [2]. Использование ОСВ на удобрение в исходном состоянии или в составе агрохимиката – один из приемов их утилизации [3]. При этом по эффективности ОСВ и агрохимикаты на их основе не уступают традиционным органическим и минеральным удобрениям [4].

В частности, ОСВ и агрохимикаты на их основе, благодаря высокому содержанию органического вещества, улучшают плодородие почвы и его агрофизические свойства и повышают урожай сельскохозяйственных культур. Внесение данных агрохимикатов в почву оказывает положительное влияние на агрохимические свойства почв, увеличение в ней запасов органического вещества, азотный режим. При этом повышается биологическая активность почвы, возрастает количество целлюлозоразлагающих бактерий при снижении доли плесневых грибов. Особенно отчетливо почвоулучшающие свойства агрохимикатов на основе ОСВ проявляются на песчаных, супесчаных и малоплодородных деградированных почвах [5].

Одним из наиболее важных вопросов в исследованиях с органическими удобрениями является изучение трансформации азота в почве и его потерь. В то же время при использовании в качестве удобрений ОСВ со слабощелочной или нейтральной реакцией среды, важен анализ их влияния на кислотно-основные свойства почвы. Исследования биологической активности почвы выявили, что применение ОСВ и удобрения на его основе увеличивает общую численность микроорганизмов, повышает ее каталазную активность и создает благоприятные условия для развития основных физиологических групп микроорганизмов.

Цель наших исследований - изучить последствие повышенных доз осадка городских сточных вод на азотный режим, биологические показатели и агрохимические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы.

Методика. Исследования проводили в опыте, заложенном в 1984 г., по изучению влияния систематического применения осадка городских сточных вод и доломитовой муки на агроэкологические свойства почвы и урожайность культур, входящем в Географическую сеть длительных опытов с удобрениями. За весь период исследований суммарные дозы ОСВ составили 180-1440 т/га (50 % влажности). Известкование проводили в дозах 3, 6, 9 т/га доломитовой муки. В 2018 г. изучали последствие ОСВ и доломитовой муки на агробиологические свойства и гумусовое состояние дерново-подзолистой супесчаной почвы. Содержание гумуса определяли по Тюрину И.В., микробной биомассы (C_{mb}) – по Благодатской С.А., целлюлозолитическую активность – по Звягинцеву Д.А., продуцирование CO_2 – по Шаркову И.Н. [6-8].

Результаты и их обсуждение. В течение вегетационного периода овса изучали содержание минеральных форм азота в слое почвы 0-20 см. Проведенные исследования выявили увеличение содержания минерального азота по последствию ОСВ на 19-23 и 60-79 %, согласно дозам 180 и 1440 т/га (табл. 1). Влияние известкования на суммарное содержание минеральных форм азота было незначительным, так увеличение доз доломитовой муки с 3 до 6-9 т/га по последствию 180 т/га ОСВ обеспечивало прирост минерального азота в почве на 2,6-3,3%, а при дозе ОСВ 1440 т/га – на 3,4-11,9%. Содержание $N-NO_3$ достигало максимума в фазы всходы-кущение, а $N-NH_4$ - в фазе всходов. В дальнейшем в процессе нитрификации содержание $N-NH_4$ в почве снижается. Второй пик его накопления приходится на фазу колошения. Аналогичная зависимость выявлена при исследовании влияния ОСВ на биологические показатели почвы: содержание углерода микробиомассы, целлюлозолитическую, дыхательную и нитрификационную активность дерново-подзолистой супесчаной почвы (табл. 2). По последствию возрастающих доз ОСВ содержание C_{mb} превышало контроль на 5-17% при дозе ОСВ 180 т/га и на 30-43% при дозе 1440 т/га, что свидетельствует об интенсификации микробиологических процессов в почве. Целлюлозолитическая ак-

тивность почвы служит косвенным показателем развития её биологических свойств. Как известно, целлюлозоразрушающая микрофлора находится в корреляционной связи с содержанием минерального азота. В соответствии с данными, приведенными в таблице 2, интен-

сивность разложения хлопчатобумажной ткани в сравнении с контролем возрастала пропорционально дозам ОСВ 18 и 1440 т/га на 83-110 и 125-164 % соответственно. Аналогичная зависимость выявлена по дыхательной и нитрификационной способности почвы.

1. Влияние последствия различных доз осадка сточных вод и уровней известкования почвы на динамику содержания подвижных форм азота в дерново-подзолистой супесчаной почве (слой 0-20 см)

Вариант опыта	Содержание, мг/кг а.с. в-ва								В ср. N-NH ₄ +N-NO ₃ , мг/кг	В % к кон- тролю
	N- NO ₃				N- NH ₄					
	Фаза всхо- дов	Фаза куще- ния	Фаза колоше- ния	Фаза полной спелости	Фаза всходов	Фаза кущения	Фаза колошения	Фаза полной спелости		
Контроль, без удобрений	3,31	1,37	2,44	1,42	2,35	1,14	2,71	0,63	3,84	100
ОСВ, 180 т/га + дол. м., 3 т/га	3,81	1,72	2,75	1,68	2,67	1,32	3,39	0,87	4,56	119
ОСВ, 1440 т/га + дол. м., 3 т/га	3,77	4,66	2,84	2,26	2,93	1,67	5,44	0,98	6,13	160
ОСВ, 180 т/га + дол. м., 6 т/га	3,64	3,21	2,57	1,51	2,79	1,24	3,24	0,64	4,71	123
ОСВ, 1440 т/га + дол. м., 6 т/га	5,84	4,46	3,10	2,18	3,71	1,68	5,62	0,86	6,86	179
ОСВ, 180 т/га + дол. м., 9 т/га	3,24	2,87	2,35	1,42	3,12	1,49	3,54	0,71	4,68	122
ОСВ, 1440 т/га + дол. м., 9 т/га	4,79	4,00	2,56	2,26	3,45	2,14	5,14	1,02	6,34	165

2. Показатели биологического состояния дерново-подзолистой супесчаной почвы в слое 0-20 см по последствию различных доз осадка сточных вод и уровней известкования

Вариант опыта	Содержание С _{мб.}		Целлюлозол. акт.		Дыхательная активность		Нитрифик. способность		Суммарная биол. ак- тивн., %	БА, %
	мг/кг	%	Сепень разл., %	% к контр.	С-СО ₂ , кг/га	%	N-NO ₃	% к конт.		
Контроль, без удобрений	260	100	20,8	100	20,2	100	15,2	100	100	100
ОСВ, 180 т/га + дол. м., 3 т/га	273	105	38,2	183	23,1	114	17,5	115	134	130
ОСВ, 1440 т/га + дол. м., 3 т/га	352	135	48,2	231	24,7	122	27,6	181	137	161
ОСВ, 180 т/га + дол. м., 6 т/га	296	113	41,0	197	23,2	115	18,9	124	102	120
ОСВ, 1440 т/га + дол. м., 6 т/га	373	143	55,0	264	25,9	128	28,2	185	117	167
ОСВ, 180 т/га + дол. м., 9 т/га	305	117	43,8	210	23,6	117	21,4	140	126	142
ОСВ, 1440 т/га + дол. м., 9 т/га	340	130	46,8	225	25,2	125	32,2	215	127	165

Величина дыхательной активности почвы в вариантах с ОСВ выше уровня контроля на 14-28%. Нитрификационная активность почвы, характеризующая деятельность нитрификаторов, зависит от уровня известкования и при дозе ОСВ, 180 т/га возрастает на 15-40%, а при дозе 1440 т/га – на 81-115%.

Анализ численности микроорганизмов по последствию ОСВ выявил существенное количественное увеличение основных групп микроорганизмов (табл. 3). В частности, содержание протеолитических групп возросло с $9,9 \cdot 10^6$ КОЕ/г по последствию дозы ОСВ, 180 т/га на фоне известкования в дозе 3-9 т/га в 1,33-1,68 раза, а при дозе ОСВ, 1440 т/га – в 1,23-1,51 раза.

3. Влияние последствия различных доз осадка сточных вод и уровней известкования почвы на количество микроорганизмов в слое почвы 0-20 см

Вариант опыта	Численность микроорганизмов, 10^6 КОЕ/г почвы				КАА/МПА
	протеолитич. (среда МПА)	амилолитич. (среда КАА)	целлюлозол. (среда Гатчинсона)	микромиц. (среда Чапека)	
Контроль, без удобрений	9916	18056	74	23	1,82
ОСВ, 180 т/га + дол. м., 3 т/га	13172	27232	104	27	2,07
ОСВ, 1440 т/га + дол. м., 3 т/га	12236	22952	119	32	1,88
ОСВ, 180 т/га + дол. м., 6 т/га	15170	18721	94	9	1,23
ОСВ, 1440 т/га + дол. м., 6 т/га	10184	22648	83	29	2,22
ОСВ, 180 т/га + дол. м., 9 т/га	16651	23072	118	14	1,39
ОСВ, 1440 т/га + дол. м., 9 т/га	14966	22753	122	18	1,52

Численность аммонификаторов, аминоавтотрофов, актиномицетов, бактерий, использующих минеральные формы азота, на КАА возросла с $18,06 \cdot 10^6$ КОЕ/г на контроле до $18,72-27,23 \cdot 10^6$ КОЕ/г в вариантах с ОСВ, т.е. в 1,51-1,28 при дозе ОСВ, 180 т/га и в 1,27 раза при дозе ОСВ, 1440 т/га с обратной зависимостью от доз известкования.

Численность целлюлозолитических форм микроорганизмов по фону известкования возрастала в среднем в 1,51; 1,2 и 1,62 раза и была близкой по последствию ОСВ в дозах 180 и 1440 т/га. Содержание микромицетов было наибольшим при уровне известкования 3 т/га. При этом в вариантах с уровнем известкования 6-9 т/га отмечалось развитие гриба Триходерма. Соотношение численности амилалитических и протеолитических микроорганизмов (КАА/МПА) показывает интенсивность процессов минерализации органического вещества. В вариантах с дозой ОСВ, 180 т/га и уровнях известкования 6-9 т/га их величина минимальна и равна 1,23-1,39 ед. При уровне известкования 3 т/га данное соотношение максимально и равно 1,88-2,07 ед., что свидетельствует о более интенсивной минерализации органического вещества ОСВ, в то время как повышение уровня известкования замедляет данный процесс (табл.3).

В результате проведенных исследований был рассчитан комплексный показатель биологической активности (БА) почвы. Его уровень определяли путем расчета отношения численности микроорганизмов, нитрифицирующей способности, дыхания, целлюлозолитической активности, величины С_{мб.} к соответствующим показателям почвы на контроле с последующим определением их средней арифметической. Полученные данные свидетельствуют, что наиболее благоприятные условия для деятельности почвенной биоты создаются

по последствию максимальной дозы ОСВ и уровней известкования 6-9 т/га.

Анализ изменения агрохимических свойств пахотного слоя почвы по последствию ОСВ выявил снижение обменной и гидролитической кислотности почвы, особенно заметное в вариантах с максимальными дозами ОСВ и доломитовой муки (табл. 4). При этом сохраняется обратная зависимость $H_{гидр.}$ от уровня известкования почвы и доз ОСВ. Как и по последствию первого года, сохранилась пропорциональная зависимость

суммы поглощенных оснований от доз ОСВ и уровня известкования почвы. Ее величина возросла с 7,64 на контроле до 8,74-8,98 мг-экв/100 г почвы. Данная зависимость обусловлена процессом разложения органической части внесенного ОСВ и, как следствие, разрушением органоминеральных комплексов в составе ОСВ с высвобождением катионов Ca^{+2} и Mg^{+2} , а также фактором известкования. При этом емкость катионного обмена ППК пропорциональна зависимости от доз ОСВ и не зависела от уровня известкования почвы.

4. Влияние длительного применения различных доз ОСВ в сочетании с известкованием на агрохимические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы, слой 0-20 см (2018 г.)

Вариант опыта	pH_{KCl}	H_f	S п.о. (Ca+Mg)	ЕКО	P_2O_5 подв.	$K_2O_{обм.}$	Гумус, %
			мг-экв/100 г			мг/кг	
Контроль, без удобрений	6,2	0,87	7,64	8,51	408	30	1,47
ОСВ, 180 т/га + дол. м., 3 т/га	6,47	0,60	7,94	8,54	816	34	1,60
ОСВ, 360 т/га + дол. м., 3 т/га	6,55	0,58	8,37	8,95	964	39	1,73
ОСВ, 720 т/га + дол. м., 3 т/га	6,60	0,55	8,52	9,07	1390	43	1,99
ОСВ, 1440 т/га + дол. м., 3 т/га	6,62	0,55	8,75	9,30	2080	46	2,33
ОСВ, 180 т/га + дол. м., 6 т/га	6,64	0,56	8,49	9,05	828	34	1,56
ОСВ, 360 т/га + дол. м., 6 т/га	6,69	0,50	8,61	9,11	1058	35	1,62
ОСВ, 720 т/га + дол. м., 6 т/га	6,70	0,48	8,77	9,25	1493	41	2,02
ОСВ, 1440 т/га + дол. м., 6 т/га	6,72	0,48	8,92	9,40	2116	43	2,75
ОСВ, 180 т/га + дол. м., 9 т/га	6,72	0,47	8,55	9,02	882	35	1,65
ОСВ, 360 т/га + дол. м., 9 т/га	6,75	0,47	8,68	9,15	992	37	1,85
ОСВ, 720 т/га + дол. м., 9 т/га	6,77	0,44	8,84	9,28	1568	40	2,14
ОСВ, 1440 т/га + дол. м., 9 т/га	6,78	0,44	8,98	9,42	2135	43	2,82

По последствию ОСВ с высоким содержанием $P_{2O_{5общ.}}$ (2,48 %) в отчетном году сохранялось повышенное количество подвижных форм этого элемента в слое 0-20 см, пропорциональное дозам ОСВ. Содержание P_{2O_5} подв. в вариантах с внесением ОСВ превышало контроль в 2,0-5,1 и 2,1-5,2 раза, согласно уровням известкования (см. табл. 4). В отличие от последствия ОСВ первого года в отчетном году повысилось содержание P_{2O_5} подв. пропорционально его дозам и независимо от уровня известкования.

По сравнению с подвижным фосфором содержание $K_2O_{обм.}$ в почве изменялось менее интенсивно из-за более низкой концентрации элемента в ОСВ (0,72 %) и колебалось от 30 до 43 мг/кг. При этом, как и по фосфору, проявилась тенденция к повышению его уровня за счет продолжения разложения органической массы ОСВ на второй год его последствия. Данная зависимость обусловлена высокой степенью стабилизации исходного ОСВ при наличии органоминеральных соединений.

Внесение в почву стабилизированного органического вещества в составе ОСВ способствовало сохранению высокого уровня гумусированности почвы. Данная зависимость не связана с уровнем известкования почвы. Содержание гумуса в слое почвы 0-20 см находилось в прямой зависимости от величины суммарной дозы ОСВ, возрастая с 1,47 на контроле до 2,33-2,82 % при дозе ОСВ 1440 т/га. Более высокое содержание гумуса в вариантах с уровнями известкования 6 и 9 т/га и дозами ОСВ 720 и 1440 т/га обусловлено пониженной миграционной активностью органического вещества.

Таким образом, в процессе проведенных исследований последствие второго года ОСВ способствует активному протеканию биологических процессов в слое почвы 0-20 см, что проявляется в положительной динамике азотного режима почвы пропорционально дозам ОСВ и уровням известкования, а также таких биологических показателей как содержание углерода микробиомассы, целлюлозолитическая, дыхательная и нитрификационная активности дерново-подзолистой супесчаной почвы.

Литература

1. Касатиков В.А., Черников В.А., Раскатов В.А. и др. Агроэкологические и технологические аспекты использования осадков городских сточных вод в качестве удобрения // Материалы международного симпозиума «Экологические и технологические вопросы производства и использования органических и органоминеральных удобрений на основе осадков городских сточных вод и твердых бытовых отходов». - Владимир, 2004. - С. 29-39.
2. Касатиков В.А., Раскатов В.А., Шабардина Н.П. Влияние микробиологических деструкторов лигнинсодержащих отходов на агроэкологические свойства компоста на основе осадка сточных вод и опилок // Доклады МСХА. - Вып. 283.-2010.- С.806-811.
3. Еськов А.И. [и др.]; ред. А.И. Еськов Ресурсы органических удобрений в сельском хозяйстве России [Текст]: (информационно-аналитический справочник) / Российская академия сельскохозяйственных наук, Государственное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский, конструкторский и проектно-технологический институт органических удобрений и торфа" Росийской академии сельскохозяйственных наук. - Владимир, 2006.-200 с.
4. Е.П. Пахненко. Осадки сточных вод и другие нетрадиционные органические удобрения. - М., 2010. - 311 с.
5. Анализ опыта почвенного пути утилизации осадков сточных вод / Сюняев Н. К., Тютюнькова М. В., Слипцев А. А. [и др.]. - М.: ФГОУ ВПО РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, 2008. - 108 с.

6. Благодатский С.А., Благодатская Е.В., Горбенко А.А., Паников Н.С. Регидратационный метод определения биомассы микроорганизмов в почве. // Почвоведение. – 1987. – №4. – С.71-81.
7. Звягинцев Д.Г. Биология почв. Учеб. пособие. – М.: изд-во МГУ, 2005. – 445 с.

8. Шарков И.Н. Абсорбционный метод определения эмиссии CO₂ из почв // Методы исследования органического вещества почв. – Владимир, 2005. – 401 с.

CONSEQUENCES OF INCREASED DOSES OF SEDIMENTS OF URBAN WASTE WATER ON NITROGEN MODE, BIOLOGICAL INDICES AND AGROCHEMICAL PROPERTIES OF SOD-PODZOLIC SOIL

V. A. Kasatkov¹, N.P. Shabardina¹, V. A. Raskatov²,

¹VNIIOU, kasv47@yandex.ru ²Russian Timiryazev State Agrarian University, raskatov@list.ru

The article presents the results of studies obtained in a long experiment of the Geographic Network of experiments with fertilizers for the study of agrobiological changes occurring in sod-podzolic sandy loam soil under the influence of precipitation of urban wastewater (WWS) and dolomite flour. It is concluded that the aftereffect of increased doses of WWS have a noticeable effect on the nitrogen regime, biological indicators and agrochemical properties of sod-podzolic sandy loam soil.

Keywords: nitrogen regime, biology, sewage sludge, soil.

УДК 631.453

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОТЕСТА С ЭНХИТРЕИДАМИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВЫ

А.П. Баранов, М.И. Лунёв, д.б.н., ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова
e-mail: info@vniia-pr.ru.

Работа выполнена по госзаданию №0572-2019-0011

Предложена модификация биотеста с энхитреидами (кольчатыми червями) для оценки экотоксикологического состояния почвы. В стандартный биотест с энхитреидами включена тест-реакция подошвенных организмов, оценивающая токсичность почвы по изменению живой массы энхитреид в процессе биотеста. Сравнительный анализ показал более высокий корреляционный коэффициент данной тест-реакции по сравнению с выживаемостью энхитреид.

Ключевые слова: биотестирование, энхитреиды, токсичность, тест-реакция.

DOI: 10.25680/S19948603.2019.111.13

Одним из основных направлений экотоксикологического мониторинга окружающей среды в настоящее время является развитие приемов экстраполяции результатов лабораторных методов биотестирования на состояние изучаемого объекта в природных условиях [1, 2]. Необходимость дать оценку результатам биотестов, полученных на организменном, популяционном уровнях для окружающей среды, в аспекте их влияния на уровни сообщества, экосистемы, свести данные, полученные на разных культурах с разной чувствительностью в общий фактор направленности загрязнения ставит задачи экстраполяции данных результатов.

Одним из главных условий, необходимых для экстраполяции результатов биотестирования, при котором возможен пересчет токсического эффекта на более высокие уровни биологической организации, является достижение в процессе биотеста величин LD₅₀ (средняя летальная доза, приводящая к гибели 50% популяции) [3].

В процессе оценки экотоксикологического состояния такого объекта как почва, отличающегося адсорбционными свойствами и способного иметь хроническую токсичность, не всегда удается достичь такого токсикологического показателя как LD₅₀, в периоды времени, установленные методикой биотестов.

Одна из таких ситуаций возникает при биотестировании почв с внесенным осадком сточных вод (ОСВ), когда присутствующие в составе осадка загрязнители прочно закреплены в почве. Для определения соответ-

ствия результатов лабораторных биотестов последствием внесения ОСВ в полевых условиях на организмы, принадлежащие к одному таксону энхитреид, проведены исследования с почвой, удобренной ОСВ в высоких дозах.

Методика. Почву для биотестирования отбирали с опыта по многолетнему внесению аэростабилизированных ОСВ. Аккумулятивная доза осадков, внесенная за 15 лет в исследуемую почву, составила 1440 т/га.

Почва опытного участка дерново-подзолистая, сформированная на двучленных ледниковых отложениях. Пахотный и иллювиальный горизонты находятся в толще супесчаного отложения, перекрывающего тяжелый моренный суглинок. Исходная агрохимическая характеристика слоя почвы 0-20 см: рН_{сол.} 6,0, Нг. – 1,05 мг-экв/100 г почвы, S – 7,0 мг-экв/100 г почвы, Р₂O₅ – 95 мг/кг почвы, К₂O – 43 мг/кг почвы, С_{орг.} – 0,8%.

Для создания шкалы токсичности в отдельные образцы почвы вносили нитрат кадмия Cd(NO₃)₂·4 H₂O. В пересчете на кадмий дозы составили 60 и 120 мг/кг.

Биотестирование почвы проводили с использованием биотеста с энхитреидами *Enchytraeus albidus* [4] – кольчатыми белыми червями.

Анализ на соотношение «масса энхитреид/смертность» проводили, перенося взвешенную и промытую в воде массу энхитреид, отобранных на сроках 5, 10, 15, 20, 25, 39 сут, в искусственную почву OECD (70% кварцевый песок, 20 коалиновая глина,