

БИОУДОБРЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД КАК КАТАЛИЗАТОРЫ ТРАНСФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПОЧВЫ

Л.В. Брындина, А.Д. Платонов, О.В. Бакланова

Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова

Изучена возможность использования осадка сточных вод (ОСВ) в качестве органического удобрения. Осадок образуется после очистки сточных вод производства мясной промышленности актиномицетом *Str. chromogenes* s.g. 0832. Данный микроорганизм адаптирован к специфическим белковым загрязнениям сточных вод. Осадок характеризуется высоким содержанием органического вещества (57,3–62,5 %). Свободные аминокислоты составляют 70 % общего количества белка. На долю незаменимых аминокислот в ОСВ приходится 41,44 %. Из тяжелых металлов в нем были обнаружены только Zn и Cu. При этом содержание Zn в 7,9 раза ниже допустимого, Cu – в 3,8 раза. ОСВ не обладает токсичностью в дозах, вносимых в почву. Отмечен значительный прирост биомассы ярового рапса на всех опытных образцах. Наибольшая прибавка урожая 187,6 % наблюдается при дозе ОСВ 10 т/га. Оценка семенной продукции рапса показала высокую прибавку семян на почвах с добавлением ОСВ.

Ключевые слова: осадок сточных вод, биологическое удобрение, источник органического азота

Biofertilizers Based on Sewage Sludge as Catalysts for Soil Transformation Processes

L.V. Bryndina, A.D. Platonov, O.V. Baklanova

Voronezh State Forestry University after name G.F. Morozov, 394087 Voronezh, Russia

The possibility of using sewage sludge (WWS) as an organic fertilizer has been studied. The Sludge is formed after the wastewater treatment of the meat industry production with actinomycetes *Str. chromogenes* s.g. 0832. This microorganism is adapted to specific protein contamination of wastewater. The sludge is characterized by a high content of organic matter (57.3-62.5%). Free amino acids make up 70% of the total protein. The share of essential amino acids in WWS accounts for 41.44%. Of the heavy metals, only Zn and Cu were detected in it. At the same time, Zn content is 7.9 times lower than permissible, Cu - 3.8 times. WWS is not toxic in doses applied to the soil. Marked a significant increase in the biomass of spring rapeseed on all experimental samples. The highest yield increase of 187.6% is observed at the dose of WWS 10t/ha. Evaluation of rapeseed seed products showed a high increase of seeds on soils with addition.

Keywords: sewage sludge, biological fertilizer, source of organic nitrogen

DOI: 10.18412/1816-0395-2019-01-42-45

Общеизвестно, что плодородие почв определяется содержанием гумуса. Это не только главный запасной источник всех элементов питания растений, но и регулятор основных физико-химических и биологических свойств почвы [1]. Однако в последние годы происходит обеднение почв гумусом. Для приостановления этого процесса необходимо повысить плодородие почв, их биологическую активность, стимулировать активность почвенных

микроорганизмов. В свою очередь, размножение почвенных микроорганизмов зависит от доступности элементов питания, поступающих в почву. Одним из таких источников могут быть осадки сточных вод (ОСВ). Они существенно влияют на содержание гумуса, повышают азотное и минеральное питание микроорганизмов почв и растений, обеспечивая их всем необходимым набором макро- и микроэлементов.

Однако эффективность использования ОСВ в настоящее

время неудовлетворительна. Для сохранения почвенного плодородия объемы внесения традиционных видов органических удобрений недостаточны. Их дефицит приводит к дальнейшему истощению почвенного плодородия и снижению продуктивности выращиваемых культур.

Цель настоящей работы — изучение возможности использования ОСВ в качестве органического удобрения.

Объекты исследования — сточные воды предприятий

мясной промышленности. Особенностью этих стоков является присутствие большого количества белковых примесей. В связи с этим очистку проводили актиномицетом, адаптированным к специфическим белковым загрязнениям сточных вод [2].

В процессе экспериментов изучались физико-химические свойства образцов почв. При проведении лабораторных исследований использовались общепринятые методики и ГОСТы. Определялись следующие показатели: гумус — по Тюрину (ГОСТ 26213-91); фосфор подвижный — по Чирикову (ГОСТ 26204-91); калий подвижный — по Чирикову (ГОСТ 26204-91); нитратный азот почвы — колориметрическим методом с дисульфифеноловой кислотой (по Грандваль — Ляжу); аммонийный азот почвы в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26489); содержание общего азота определялось по методу Кьельдаля в модификации (ISO 11261:1995).

Осадок, полученный после очистки сточных вод, характеризовался высоким содержанием органического вещества. Содержание азота и фосфора превышало норматив в 9,5 и 3,7 раза соответственно, рН осадка был ближе к слабощелочному (табл. 1).

Исследования белковой составляющей ОСВ *Str. chromogenes* s.g. 0832 показали, что она представлена высоким содержанием свободных аминокислот. Они составляют 70 % общего количества белка. На долю незаменимых аминокислот в ОСВ приходится 41,44 %.

Аминокислотный состав ОСВ *Str. chromogenes* s.g. 0832, %: аспарагин — 6,89; серин — 6,44; глутамин — 14,7; пролин — 12,37; глицин — 4,25; аланин — 5,57; цистин — 2,3; тирозин — 3,84; треонин — 4,96; валин — 7,19; метионин — 0,84; изолейцин — 3,71; лейцин — 9,38; фенилаланин — 5,39; гистидин — 0,98; лизин — 1,34; аргинин — 7,25; триптофан — 0,4.

Таблица 1. Физико-химический состав ОСВ
Table 1. Physical and chemical composition of WWS

Показатель	ОСВ <i>Str. chromogenes</i> s.g. 0832	Требования к ОСВ, используемым в качестве удобрений*
Содержание, %:		
органического вещества	57,3–62,5	≥20
азота общего	5,2–5,7	≥0,6
P ₂ O ₅	5,0–5,5	≥1,5
K ₂ O	0,2–0,4	Не нормируется
рН	6,8–8,0	5,5–8,5

*ГОСТ Р 17.4.3.07–2001 "Охрана природы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений".

Внесение ОСВ, богатого свободными аминокислотами, позволяет растениям получать необходимые для протекания физиолого-биохимических процессов вещества в доступном состоянии, повышает уровень усвоения растениями макро- и микроэлементов, сопротивляемость к неблагоприятным факторам окружающей среды, ускоряет процесс фотосинтеза.

По содержанию тяжелых металлов ОСВ, полученный в результате очистки сточных вод *Str. chromogenes* s.g. 0832, можно отнести к осадкам I группы. Из указанных в стандарте в нем были обнаружены только Zn и Cu. При этом содержание Zn в 7,9 раза ниже допустимого, Cu — в 3,8 раза (табл. 2).

Влияние ОСВ на агрохимические свойства почвы изучали в условиях модельного опыта на выщелоченном черноземе (г. Воронеж). ОСВ вносили из расчета 3, 5 и 10 т/га. Образцы почвы помещали в стеклянные сосуды емкостью 5 кг, поддерживали температуру 20 °С,

влажность 60 %, выдерживали 1 год, затем определяли основные показатели почвенного плодородия.

Деятельность микроорганизмов способствует быстрому разложению органического вещества ОСВ при внесении в почву. При этом гидролитическому расщеплению в первую очередь подвергаются азотсодержащие соединения. Возрастает концентрация доступного для растений азота (аммонийного и нитратного). Учитывая, что вносимый в почву ОСВ представлен высоким содержанием органического вещества, можно предположить значительное повышение минеральных форм азота при его преобразовании. При этом содержание аммонийного и нитратного азота будет тем выше, чем большая доза осадка будет внесена в почву.

В первый месяц происходит активная минерализация азота почвы и осадка, о чем свидетельствует увеличение содержания аммонийного азота в зависимости от дозы осадка (табл. 3). Наибольшую ско-

Таблица 2. Содержание тяжелых металлов в ОСВ*, мг/кг сухого вещества, не более

Table 2. The content of heavy metals in WWS *, mg/kg of dry matter, not more than

Тяжелый металл	ОСВ <i>Str. chromogenes</i> s.g. 0832	Осадок группы I	Осадок группы II
Свинец	–	250	500
Кадмий	–	15	30
Никель	–	200	400
Хром	–	500	1000
Цинк	221	1750	3500
Медь	197	750	1500
Ртуть	–	7,5	15
Мышьяк	–	10	20

*ГОСТ Р 17.4.3.07–2001 "Охрана природы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений".

Таблица 3. Содержание аммонийного и нитратного азота, доступного фосфора и обменного калия в почве, мг/100 г

Table 3. Content of ammonium and nitrate nitrogen, available phosphorus and exchangeable potassium in soil, mg/100 g

ОСВ, т/га	Выдержка, месяц				
	1	3	6	9	12
Аммонийный азот					
0*	2,5	1,1	0,8	0,6	0,5
3	7,3	5,6	5,0	4,8	1,5
5	10,4	6,7	5,8	5,0	1,7
10	13,0	8,6	6,4	5,5	2,0
Нитратный азот					
0	12,1	13,2	14,8	12,0	11,8
3	15,2	16,7	19,2	17,4	14,7
5	19,5	21,9	25,4	20,8	18,4
10	24,0	30,0	44,7	27,4	21,1
Доступный фосфор					
0	24,3	23,4	20,1	22,7	24,4
3	25,3	24,8	26,3	26,9	28,3
5	27,6	26,4	28,5	30,1	32,4
10	30,0	27,8	31,7	32,1	34,5
Обменный калий					
0	12,8	12,0	9,3	8,2	7,3
3	13,0	12,5	13,0	13,2	13,2
5	13,2	12,8	13,2	13,4	13,4
10	13,4	13,0	13,3	13,4	13,6

*Без внесения осадка (контроль).

рость процесса обеспечивала доза осадка 10 т/га.

Содержание аммонийного азота в первый месяц инкубации превышало его значение в исходной почве в 2,9–5,2 раза (см. табл. 3).

К 6 месяцам эксперимента была отмечена стабилизация аммонийных форм азота на уровне 5,0–6,4 мг/100 г почвы. К концу эксперимента содержание аммонийного азота составило 1,5–2,0 мг/100 г почвы. Снижение уровня аммонийного азота объясняется его фиксацией коллоидами почвы, активной переработкой и усвоением микробной биомассой.

Количество нитратов в почве без ОСВ к 6-му месяцу увеличивается почти на 30 %. Такая же

динамика соответствует и образцам почвы с добавлением ОСВ. При этом опытные образцы превосходят контрольный по содержанию нитратов в 1,3–3, 0 раза в зависимости от дозы ОСВ к 6-му месяцу эксперимента (см. табл. 3).

Рост содержания нитратного азота сопровождается снижением содержания аммонийного азота, что свидетельствует об интенсивном протекании процесса нитрификации, низком уровне его фиксации, что благоприятно для питания растений.

При внесении осадка положительная динамика приращения доступного фосфора устойчиво сохранялась в течение года, при этом его содержание по отношению к исходному

значению увеличилось в опытных образцах на 11,9–17,4 % (см. табл. 3). Можно предположить, что органическое вещество ОСВ активизировало метаболизм почвенных микроорганизмов, которые увеличивали выход фосфора из труднодоступных соединений.

Оценка полученных результатов показывает, что без внесения осадка содержание калия в течение года сохраняется достаточно стабильным. Однако после 3-х месячного срока взаимодействия в системе осадок–почва обменный калий переходит в необменную форму, его уровень снижается с 12,8 до 7,3 мг/100 г к концу опыта.

Внесение осадка обеспечивает в течение 12 месяцев устойчивое сохранение исходного показателя по обменному калию с небольшим увеличением его содержания к финалу (см. табл. 3).

При внесении ОСВ в опытных образцах наблюдается увеличение содержания обменного калия в 1,8–1,9 раза по сравнению с контрольным, что, вероятно, является результатом высвобождения калия из почвенного поглощающего комплекса под действием активной органики осадка. Анализ результатов показал, что внесение осадка во всех концентрациях сохраняет калий почвы в течение года в обменном состоянии, не влияя на исходный показатель, что связано с высоким нейтрализующим эффектом осадка, а также большим содержанием в нем активной органики. Экранирующий эффект активной органики по отношению к сохранению доступности биогенных элементов известен из работ, связанных с внесением в почву нетрадиционных удобрений — бамила, экуда, пудрета [4].

Таким образом, внесение в почву ОСВ, полученного в результате очистки сточных вод *Str. chromogenes s.g 0832*, улучшает основные показатели почвы. Количество аммонийного азота увеличилось в 2,9–5,2 раза, нитратов через

Таблица 4. Результаты исследования влияния ОСВ на биомассу (75-й день вегетации) и продуктивность семян рапса

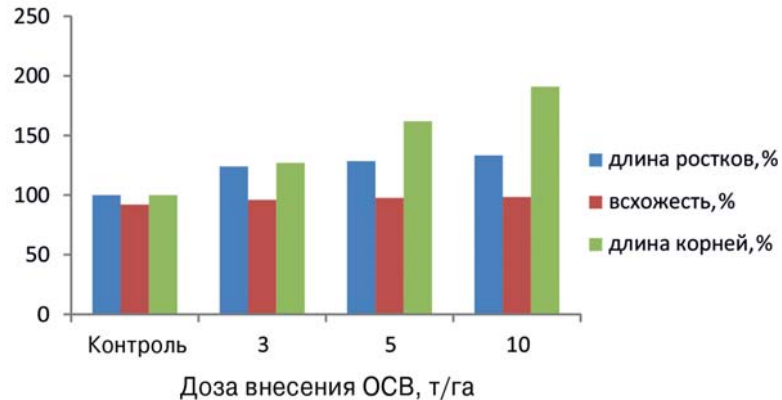
Table 4. The results of the study of the effect of WWS on biomass (75th day of vegetation) and the productivity of rapeseed

ОСВ, т/га	Биомасса, кг/м ² сухого вещества	Прибавка		Урожай семян, г/м ²	Прибавка	
		кг/м ²	%		г/м ²	%
0	1,05	–	–	365,3	–	–
3	1,58	0,53	50,5	574,5	209,2	57,3
5	2,20	1,15	109,5	786,9	421,6	115,4
10	3,02	1,97	187,6	915,7	550,4	150,7

месяц инкубации — в 1,3–3,0 раза по сравнению с контролем. Внесение осадка обеспечивало приращение доступного фосфора в интервале от 25,3 до 34,5 мг/100 г на всех почвах.

Фитотоксичность образцов почв с различным содержанием ОСВ проверяли на реакции тест-культуры [3]. В качестве тест-объектов использовали семена кресс-салата. На одинаковые по массе образцы почвы высаживали семена кресс-салата *Lepidium sativum* L. Через 7 сут определяли длину ростков и корней растений, общую всхожесть. В результате опытов было выявлено отсутствие фитотоксичности ОСВ во всех образцах (см. рисунок). Длина корней семян контрольных образцов уступала таковым в опытных на 27–91 % в зависимости от дозы внесения осадка, длина ростков — на 24–33 % соответственно. При этом общая всхожесть семян на образцах почвы с ОСВ была выше, чем в контрольных образцах.

В дальнейшем были проведены исследования по влиянию ОСВ на продуктивность вегетативной массы и семенной продукции ярового рапса (сорт "Ратник"). Эксперимент проводили в условиях микрополевого опыта ($S = 10\text{ м}^2$) на выщелоченном черноземе. ОСВ вносили в дозах 3, 5 и 10 т/га. Контролем служила почва без ОСВ (табл. 4).



Оценка токсичности ОСВ
Assessment of toxicity of WWS

Проведенные исследования показали, что выращивание растений на почвах с добавлением ОСВ положительно влияет на продуктивность рапса. В первые 20–30 дней всходы рапса росли медленно и на контрольном, и на опытных вариантах. Но улучшение питательного и водного режима на почвах с внесением ОСВ существенно повлияло на урожайность рапса. Отмечен значительный прирост биомассы на всех опытных образцах. Наибольшая прибавка урожая 187,6 % отмечена при дозе ОСВ 10 т/га. Оценка семенной продукции рапса показала высокую прибавку семян на почвах с добавлением осадка (она была выше в 1,6–2,5 раза по сравнению с контрольным образцом). На протяжении эксперимента культура рапса в процессе онтогенеза подвергалась интен-

сивному антропогенному воздействию (в виде внесения ОСВ в почву), однако полученные высокие значения уровня продуктивности растения свидетельствуют о стабильности агроэкосистемы после внесения ОСВ.

Показана возможность утилизации ОСВ, образующегося после очистки стоков мясокомбинатов *Str. chromogenes* s.g. 0832, в качестве удобрения. Это обеспечит увеличение урожая выращиваемых культур при отсутствии негативного воздействия на агрохимические показатели почвы. В целях повышения плодородия почвы и урожайности сельскохозяйственных культур можно рекомендовать использовать ОСВ как биоудобрение в дозах 5–10 т/га, что не приведет к загрязнению почв тяжелыми металлами выше допустимых уровней.

Литература

1. Александрова Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. Л., Наука, 1989. 288 с.
2. Брындина Л.В., Полянский К.К. Очистка сточных вод с помощью биофлокулянта. Мясная индустрия. 2012. №10. С.48–50.
3. Мелехова О.П. и др. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учеб. пособие для вузов. М., Издательский центр "Академия", 2010. 288 с.
4. Пахненко Е.П. Осадки сточных вод и другие нетрадиционные органические удобрения: учеб. пособие. М., БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. 311 с.

References

1. Aleksandrova L.N. Organicheskoe veshchestvo pochvy i protsessy ego transformatsii. L., Nauka, 1989. 288 s.
2. Bryndina L.V., Polyanskii K.K. Ochistka stochnykh vod s pomoshch'yu bioflokulyanta. Myasnaya industriya. 2012. №10. S.48–50.
3. Melekhova O.P. i dr. Biologicheskii kontrol' okruzhayushchei sredy: bioindikatsiya i biotestirovanie: ucheb. posobie dlya vuzov. M., Izdatel'skii tsentr "Akademiya", 2010. 288 s.
4. Pakhnenko E.P. Osadki stochnykh vod i drugie netraditsionnye organicheskie udobreniya: ucheb. posobie. M., BINOM. Laboratoriya znaniy, 2009. 311 s.

Л.В. Брындина – д-р с.-х. наук, доцент, Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 394087 Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева 8, e-mail: bryndinv@mail.ru • А.Д. Платонов – д-р техн. наук, доцент • О.В. Бакланова – аспирант
L.V. Bryndina – Dr. Sci. (Agric.), Associate Professor, Voronezh State Forestry University after name G.F. Morozov, 394087 Russia, Voronezh, Timiryazev str. 8, e-mail: bryndinv@mail.ru • A.D. Platonov – Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor • O.V. Baklanova – Post-graduate Student