

УДК 631.95:631.416.1:631.445.24:631.559

ВЛИЯНИЕ МЕЛИОРАТИВНЫХ ДОЗ ОСАДКА ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД НА АЗОТНЫЙ РЕЖИМ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

© 2020 г. В. А. Касатиков

Всероссийский научно-исследовательский институт органических удобрений и торфа –
филиал Верхневолжского федерального аграрного научного центра
601390 Владимирская обл., Судогодский р-н, п. Вяткино, ул. Прянишникова, 2, Россия

E-mail: kasv47@yandex.ru

Поступила в редакцию 29.11.2019 г.

После доработки 15.12.2019 г.

Принята к публикации 10.03.2020 г.

Исследовано влияние мелиоративных доз осадка городских сточных вод на азотный режим и биологические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы. Показано положительное влияние повышенных доз осадка городских сточных вод и различных уровней известкования на содержание подвижных форм азота, биологическую активность почвы, продуктивность культур зернового звена севооборота.

Ключевые слова: мелиоративные дозы, осадок городских сточных вод, азотный режим, дерново-подзолистая почва, продуктивность, зерновые культуры.

DOI: 10.31857/S0002188120060058

ВВЕДЕНИЕ

При очистке сточных вод вне зависимости от их происхождения и состава неизбежно возникает проблема утилизации образующихся осадков. Осадки городских сточных вод (*ОСВ*) содержат значительное количество органического вещества, азота и зольных элементов, в первую очередь фосфора. Это обуславливает необходимость разработки агроэкологических основ их использования в качестве органических удобрений как в сельском хозяйстве, так и в городском озеленении [1]. Целесообразность данного подхода обусловлена также и тем, что одним из основных условий сохранения экосистем в устойчивом состоянии является использование отходов как сырьевого ресурса с целью уменьшения негативного воздействия на окружающую среду [2]. Использование *ОСВ* на удобрение в исходном состоянии или же в составе компоста с органическими наполнителями – один из приемов утилизации *ОСВ* [3]. При этом по эффективности *ОСВ* не уступают традиционным органическим и минеральным удобрениям [4].

В частности, *ОСВ* и удобрения на их основе благодаря высокому содержанию органического вещества улучшают плодородие почвы и ее агрофизические свойства и повышают урожай сель-

скохозяйственных культур. Внесение компостов в почву проявляется во влиянии на ее агрохимические свойства, увеличении запасов органического вещества, усилении нитрификации в пахотном слое, возрастании биологической активности почвы, количества целлюлозоразлагающих бактерий и уменьшении доли плесневых грибов. Особенно отчетливо почвоулучшающие свойства компостов 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 важным является анализ их влияния на кислотно-основные свойства почвы. С их помощью можно улучшать деградированные песчаные почвы. Исследования по биологической активности почвы выявили, что применение *ОСВ* и удобрения на его основе увеличивает общую численность почвенных микроорганизмов, повышает каталазную активность и создает благоприятные условия для развития основных физиологических групп микробиоты почвы [6].

Таблица 1. Влияние осадка сточных вод в сочетании с известкованием на динамику содержания подвижных форм азота, микробной биомассы и целлюлозолитическую активность дерново-подзолистой супесчаной почвы (слой 0–20 см почвы) при возделывании озимой ржи

Вариант	N-NH ₄		N-NO ₃		N _{мин} (средние за вегетационный период)		C _{мб}		Целлюлозолитическая активность	
	мг/кг				мг/кг	%	C _{мб} , мг/кг	%	%	%
	фаза колошения	фаза полной спелости	фаза колошения	фаза полной спелости						
Контроль без удобрений	0.85	1.41	0.0	0.6	0.95	–	375	–	44.7	–
ОСВ 180 т/га + ДМ 3 т/га	0.91	1.88	0.0	0.8	1.19	125	395	105	56.8	127
ОСВ 1440 т/га + ДМ 3 т/га	0.93	2.14	0.0	1.2	1.42	149	565	150	37.3	83
ОСВ 180 т/га + ДМ 6 т/га	0.89	1.84	0.0	0.55	1.09	115	388	103	54.8	122
ОСВ 1440 т/га + ДМ 6 т/га	0.96	2.03	0.0	0.9	1.29	136	559	149	41.7	93
ОСВ 180 т/га + ДМ 9 т/га	0.90	1.76	0.0	0.45	1.03	108	444	118	48.4	108
ОСВ 1440 т/га + ДМ 9 т/га	0.97	1.90	0.0	1.25	1.37	144	582	155	33.0	74

Примечания. 1. ОСВ – осадок сточных вод, ДМ – доломитовая мука. 2. Дозы ОСВ – суммарные за годы исследования. То же в табл. 2–4.

Цель работы – изучение последствий мелиоративных доз ОСВ на азотный режим дерново-подзолистой супесчаной почвы и продуктивность зерновых культур.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в длительном опыте (заложен в 1984 г.) Географической сети длительных опытов с удобрениями, изучая влияние систематического применения осадка городских сточных вод и доломитовой муки на агроэкологические свойства почвы и урожайность культур. Осадки сточных вод с очистных сооружений г. Владимира вносили с 1984 по 1995 г. ежегодно, с 2000 г. – каждые 5 лет, в сочетании с периодическим известкованием доломитовой мукой в дозах 3, 6, 9 т/га в 1984, 1990, 1995, 2006 гг. За весь период исследования суммарные дозы ОСВ составили 180–1440 т/га (50%-ная влажность). Повторность шестикратная. Размер делянки 1.5 × 2.0 м. Учетная площадь 3 м². Исследование вели в звене севооборота озимая рожь – яровое тритикале – овес. Подробно условия проведения опыта описаны в работе [1].

Почвенные образцы для исследования отбирали в слое 0–20 см в основных фазах развития зер-

новых культур для изучения динамики содержания минерального азота. Биологическое состояние почвы оценивали по следующим показателям: содержанию углерода микробной биомассы (C_{мкр}), определенного методом регидратации–экстракции [7], и целлюлозолитической активности – по интенсивности разложения целлюлозы [8].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В течение вегетационного периода 2016 г. при изучении действия ОСВ на озимую рожь определяли динамику содержания минеральных форм азота в пахотном слое почвы (0–20 см). Показали, что в течение вегетации озимой ржи содержание минерального азота в пахотном слое почвы при последствии возрастающих доз ОСВ превышало контроль в среднем на 108–149% в зависимости от величины доз ОСВ и уровня известкования. При этом, если содержание аммиачного и нитратного азота, углерод микробной биомассы находились в пропорциональной зависимости от доз ОСВ, то целлюлозолитическая активность в климатических условиях вегетационного периода 2016 г. находилась в обратной зависимости от доз ОСВ и доломитовой муки (табл. 1).

Таблица 2. Влияние последействия различных доз осадка сточных вод и уровней известкования почвы на динамику содержания подвижных форм азота в дерново-подзолистой супесчаной почве (слой 0–20 см) при возделывании ярового тритикале

Вариант	Содержание, мг/кг								N-NH ₄ + N-NO ₃ (средние), мг/кг	% к контролю
	N-NH ₄				N-NO ₃					
	фаза всходов	фаза кущения	фаза колошения	фаза полной спелости	фаза всходов	фаза кущения	фаза колошения	фаза полной спелости		
Контроль без удобрений	1.19	0.80	0.86	0.82	4.01	0.70	Не найдено	1.08	2.35	100
ОСВ 180 т/га + ДМ 3 т/га	1.32	0.84	0.97	1.00	4.02	1.24		1.50	2.55	109
ОСВ 1440 т/га + ДМ 3 т/га	1.69	0.84	1.64	1.02	5.63	1.79		2.58	3.80	161
ОСВ 180 т/га + ДМ 6 т/га	1.15	1.12	1.63	1.38	3.61	1.07		1.66	2.90	123
ОСВ 1440 т/га + ДМ 6 т/га	1.23	1.04	0.97	1.40	5.25	1.35		2.79	3.50	149
ОСВ 180 т/га + ДМ 9 т/га	1.20	1.29	0.99	1.32	4.53	0.83		1.48	3.57	151
ОСВ 1440 т/га + ДМ 9 т/га	1.62	1.58	1.47	1.53	5.26	1.45		2.30	3.80	161

В процессе вегетации ярового тритикале в период последействия *ОСВ* в климатических условиях 2017 г. содержание минеральных форм азота в пахотном слое почвы достигало наибольших величин в начальный период развития культуры с максимальными показателями в условиях применения предельных в данном исследовании доз *ОСВ* (табл. 2). В фазах кущения и колошения содержание минеральных форм снизилось за счет потребления азота растениями в условиях избыточного почвенного увлажнения. Запасы продуктивной влаги в слое 0–20 см почвы достигали 42.5–51.3 мм. Наибольший их уровень был в вариантах с максимальными дозами *ОСВ*. Снижение влажности почвы в конце вегетации ярового тритикале способствовало увеличению содержания N-NO₃ в почве с минимального в фазе колошения до 1.48–2.78 мг/кг почвы в фазе полной спелости и было пропорционально дозам *ОСВ*. Следует отметить более высокий уровень накопления N-NO₃ в слое 0–20 см почвы при возделывании тритикале в отличие от данных, полученных в 2016 г. для озимой ржи. С одной стороны, данная закономерность была обусловлена различными климатическими условиями вегетационных периодов развития озимой ржи и тритикале, с другой стороны, — их длительностью.

Рассматривая суммарное накопление минерального азота в почве при возделывании тритикале следует отметить его пропорциональную зависимость от доз *ОСВ* с превышением относительно контроля на 8.5–61.7% (табл. 2). Такая же зависимость выявлена в исследовании различных биологических показателей почвы, таких как содержание углерода микробной биомассы (С_{мб}) и целлюлозолитическая активность почвы. В частности, при последействии возрастающих доз *ОСВ* содержание С_{мб} превышало контроль в среднем на 108–149%, а целлюлозолитическая активность — на 107–136%.

Исследование азотного режима почвы под посевом овса в климатических условиях вегетационного периода 2018 г. выявили увеличение содержания минерального азота при последействии *ОСВ* в дозах 180 и 1440 т/га на 19–23 и 60–79% (табл. 3). Влияние фактора известкования на суммарное содержание минеральных форм азота было невысоким. Повышение доз доломитовой муки с 3 до 6–9 т/га на фоне последействия 180 т *ОСВ*/га обеспечивало прирост содержания минерального азота в почве на 3.0 и 2.6%, при дозе 1440 т *ОСВ*/га — на 12–3%. Содержание N-NO₃ достигало максимума в фазах всходы–кущение, N-NH₄ — в фазе всходов. В дальнейшем в процес-

Таблица 3. Влияние последействия различных доз осадка сточных вод и уровней известкования почвы на динамику содержания подвижных форм азота в дерново-подзолистой супесчаной почве (слой 0–20 см) при возделывании овса

Вариант	Содержание, мг/кг								N-NH ₄ + N-NO ₃ (средние), мг/кг	% к контролю
	N-NH ₄				N-NO ₃					
	фаза всходов	фаза кущения	фаза колошения	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 + ДМ 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 + ДМ 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 + ДМ 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 + ДМ 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 + ДМ 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 + ДМ 9 т/га	4.79	4.00	2.56	2.26	3.45	2.14	5.14	1.02	6.34	165

Таблица 4. Влияние систематического применения ОСВ в сочетании с известкованием на продуктивность звена севооборота озимая рожь – яровое тритикале – овес, ц з.е./га

Вариант	Озимая рожь	Яровое тритикале	Овес	Суммарная продуктивность	Прибавка	
					ц з.е./га	% к контролю
Без удобрений	35.0	16.9	15.8	67.7	–	–
ОСВ 180 т/га + ДМ 3 т/га	39.6	19.7	20.3	79.6	11.9	18
ОСВ 360 т/га + ДМ 3 т/га	43.1	22.1	23.1	88.3	20.6	30
ОСВ 720 т/га + ДМ 3 т/га	47.8	24.7	25.9	98.4	30.7	45
ОСВ 1440 т/га + ДМ 3 т/га	52.8	31.4	28.5	112.7	45.0	67
ОСВ 180 т/га + ДМ 6 т/га	40.5	20.2	18.8	79.5	11.8	17
ОСВ 360 т/га + ДМ 6 т/га	43.1	22.7	21.7	87.5	19.8	29
ОСВ 720 т/га + ДМ 6 т/га	46.9	26.4	25.3	98.6	30.9	46
ОСВ 1440 т/га + ДМ 6 т/га	53.5	31.8	28.8	114.1	46.4	69
ОСВ 180 т/га + ДМ 9 т/га	39.0	20.6	17.9	77.5	9.8	15
ОСВ 360 т/га + ДМ 9 т/га	42.3	23.1	20.4	85.8	18.1	27
ОСВ 720 т/га + ДМ 9 т/га	45.4	27.1	23.8	96.3	28.6	42
ОСВ 1440 т/га + ДМ 9 т/га	50.3	32.4	28.5	111.2	43.5	64

се нитрификации содержание N-NH₄ в почве снижалось. Второй пик его накопления приходился на фазу колошения. Аналогичная зависимость была выявлена при исследовании влияния ОСВ на биологические показатели почвы, такие как содержание углерода микробной биомассы, целлюлозолитическая активность дерново-подзолистой супесчаной почвы.

Оптимизация азотного режима, агроэкологических и биологических свойств пахотного слоя почвы способствовала повышению продуктивно-

сти зерновых культур. Выявленная зависимость была систематической и проявлялась в звене севооборота озимая рожь – яровое тритикале – овес в условиях действия и последействия ОСВ (табл. 4).

Показано, что продуктивность культур в зерновом звене севооборота возрастала пропорционально суммарным дозам ОСВ. В частности, продуктивность озимой ржи в вариантах применения ОСВ повышалась на 10–13, 20–24, 29–37 и 42–51% в соответствии с дозами ОСВ. Достоверно

значимые прибавки получены на всех фонах известкования, достигая максимума при дозах доломитовой муки 3–6 т/га.

Продуктивность ярового тритикале возрастала в прямой зависимости от суммарных доз *ОСВ* на 17–22, 32–37, 46–61 и 87–94%. Достоверно значимые прибавки были получены на всех фонах известкования, достигая максимума при уровне известкования 9 т/га.

Продуктивность овса, как и для предыдущих культур звена севооборота, возрастала в прямой зависимости от суммарных доз *ОСВ* соответственно уровням известкования на 28–70, 19–71 и 13–70%. В целом по итогам исследования в звене севооборота, его продуктивность увеличивалась пропорционально дозам *ОСВ* на 15–17, 27–30, 42–46 и 64–69%. При этом продуктивность звена севооборота была максимальной при уровне известкования 6 т/га и соответствовала динамике содержания подвижных форм азота в почве.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование нетрадиционных источников питания растений в виде осадка сточных вод (*ОСВ*) оказало заметное положительное влияние на азотный режим и биологические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы. Выявлено положительное последствие повышенных доз *ОСВ* и различных уровней известкования на содержание подвижных форм азота, продуктивность как отдельных культур зернового звена севооборота, так и всего звена в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Касатиков В.А., Черников В.А., Раскатов В.А.* Агроэкологические и технологические аспекты использования осадков городских сточных вод в качестве удобрения // Мат-лы Международ. симп. “Экологические и технологические вопросы производства и использования органических и органо-минеральных 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 // Докл. МСХА. 2010. Вып. 283. С. 806–811.
3. *Еськов А.И.* Ресурсы органических удобрений в сельском хозяйстве России: Информац.-аналит. справк.- Владимир: РАСХН, ВНИИОУ, 2006. 200 с.
4. *Пахненко Е.П.* Осадки сточных вод и другие нетрадиционные органические удобрения. М.: БИНОМ, 2010. 311 с.
5. *Сюняев Н.К., Тютюнькова М.В., Слонец А.А.* Анализ опыта почвенного пути утилизации осадков сточных вод. М.: РГАУ–МСХА им. К.А. Тимирязева, 2008. 108 с.
6. *Чжоу Д.* Агроэкологическая оптимизация применения органо-растительных компостов на основе *ОСВ* на дерново-подзолистой супесчаной почве: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: МСХА, 2005. 19 с.
7. *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.
8. *Звягинцев Д.Г.* Методы почвенной микробиологии и биохимии. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.

Effect of Reclamation Doses of Sludge of Municipal Wastewater on Nitrogen Regime of Sod-Podzolic Soil and Crop Productivity

V. A. Kasatikov

All-Russian Research Institute of Organic Fertilizers and Peat –
Branch of the Upper Volga Federal Agricultural Research Center
ul. Pryanishnikova 2, Vladimir region, Sudogodsky district, p. Vyatkinо 601390, Russia
E-mail: kasv47@yandex.ru

The influence of reclamation doses of municipal wastewater sludge on the nitrogen regime and biological properties of sod-podzolic sandy loam soil was studied. The positive effect of high doses of sludge of urban wastewater and different levels of liming on the content of mobile forms of nitrogen, biological activity of soil, productivity of grain crops of a crop rotation was shown.

Key words: reclamation doses of sludge, municipal wastewater, nitrogen regime, sod-podzolic soil, crop productivity.