

УДК 631.4:631.6

Н. М. ШЕВЦОВ

ИЗМЕНЕНИЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ ПРИ ПОДПОЧВЕННОМ ОРОШЕНИИ СТОЧНЫМИ ВОДАМИ

Показана положительная роль почвенного орошения хозяйственно-бытовыми стоками в улучшении плодородия дерново-подзолистой почвы. При вегетационных поливах накапливается гумус в почве и увеличивается количество ила, что способствует улучшению структуры. В почву поступают подвижные питательные вещества и органические соединения.

Неочищенные сточные воды в настоящее время нашли широкое применение в земледелии при орошении сельскохозяйственных культур [4, 5, 7]. Они богаты питательными веществами и микроорганизмами. В сточных водах содержится большое количество патогенных бактерий, вирусов и яиц гельминтов. При правильном их использовании сточные воды могут служить дополнительным источником орошения и удобрения сельскохозяйственных культур [5, 7]. Наиболее благоприятными свойствами обладают хозяйственно-бытовые сточные воды от поселков и селений городского типа [2].

Специфика орошения хозяйственно-бытовыми сточными водами требует внедрения перспективных способов полива, которые обеспечивали бы полное распределение их по орошаемому полю без участия поливальщика, отвечали бы санитарно-гигиеническим и эстетическим требованиям к поливу.

Наиболее совершенным способом утилизации и очистки сточных вод в санитарно-гигиеническом отношении является использование их при подпочвенном способе орошения сельскохозяйственных культур. Здесь отсутствует выход сточных вод на поверхность почвы и исключается контакт орошаемых культур, животных и человека с поливными стоками, следовательно, гарантируется их незаражаемость яйцами гельминтов и другими патогенными микробами [1, 4, 7].

В статье рассматривается вопрос о влиянии хозяйственно-бытовых сточных вод при подпочвенном орошении на биологическую активность, плодородие и загрязнение дерново-подзолистой почвы и выращиваемых растений патогенными микроорганизмами и яйцами гельминтов.

Стационарная низконапорная система подпочвенного орошения использующая хозяйственно-бытовые стоки, построена на площади 11 га в поселке Радужный в окрестностях г. Коломны Московской обл. и эксплуатируется с 1967 г. экспериментальным хозяйством Всесоюзного научно-исследовательского института механизации и техники полива (ВНИИМТП).

Хозяйственно-бытовые и животноводческие стоки из поселка канализационной сетью собирают в приемную камеру станции перекачки и по асбестоцементному напорному трубопроводу подают в горизонтальные отстойники, где они проходят механическую очистку от мусора, песка и других взвесей. Оттуда самотеком по трубопроводу поступают в распределительную сеть, на которой построены колодцы-водопуски для подачи сточной воды в оросительную сеть. Из оросительной сети сточная вода самотеком поступает в мельчайшую увлажнительную сеть, состоящую из перфорированных полиэтиленовых увлажнителей диаметром 40 мм и длиной 200 м. Нижние концы увлажнителей закольцовывают водоотводным аэрационным трубопроводом с контрольно-

вентиляционными стояками, через которые во время полива вытесняется воздух из системы, а в межполивной период, наоборот, воздух поступает в сеть. Увлажнители уложены с уклоном 0,005 на расстоянии 125 см друг от друга и на глубину 60 см поливными отверстиями вниз бестраншейным трубоукладчиком без нарушения сложения почвы. Хозяйственно-бытовая сточная вода через поливные отверстия длиной

Таблица 1

Состав хозяйственно-бытовых стоков поселка Радужный, мг/л

рН	Взвешенный осадок	Сухой остаток	Прокрашенный остаток	Азот общий	Азот аммиачный	НСО ₃	Cl'	SO ₄	Ca	Mg	K	Na	P ₂ O ₆	Окисляемость		БПК ₅
														бихроматная	перманганатная	
7,6	208	559	294	39	33	237	67	75	101	70	67	57	10	487	274	54

40 мм, шириной 1,5—2 мм, расположенные через 350 мм вдоль увлажнителя, в увлажнителях всасывается почвой капиллярным путем, распределяется равномерно по всей площади и не проникает глубже 100 см.

Хозяйственно-бытовые сточные воды, которые использовали для подпочвенного орошения, не содержат вредных для растений веществ, характеризуются слабощелочной реакцией (рН 7,6), невысокой концентрацией растворенных веществ (500—600 мг/л), бикарбонатно-сульфатным составом. Концентрация бикарбонатных солей (НСО₃) равна 273, хлора—67, сульфатов—75, кальция—101, магния—70, калия—67, общего азота—39 и фосфора—10 мг/л. Количество органических веществ в них сравнительно высокое. Ежегодно поступает их со сточной водой от 1 до 3 т/га [7]. Перманганатная окисляемость их равна 274 мг/л, бихроматная—487 мг/л (табл. 1). При поливе такими водами оросительной нормой 1000 м³/га в корнеобитаемый слой почвы поступает до 60 кг азота, 20 кг фосфора, 30 кг калия, 50 кг кальция и много других питательных элементов, способствующих росту и развитию сельскохозяйственных растений [7].

Почвенный покров участка представлен дерново-среднеподзолистыми, по механическому составу среднесуглинистыми иловато-крупнопылеватыми почвами, подстилаемыми тяжелыми суглинками древнеаллювиального происхождения.

Пахотный горизонт (А_{пах}) мощностью 0—27 см хорошо гумусирован, подзолистый горизонт (А₂В₁) глубоко перепахан и выражен плохо, мощность его составляет 13 см (слой 27—40 см). Мощность аллювиального горизонта (В) равна 80 см (слой 40—120 см), а переходного к материнской породе (ВС)—30 см (слой 120—150 см). Почвообразующая порода (С) ниже 150 см представлена тяжелыми суглинками древнеаллювиального происхождения. Почвенно-грунтовые воды залегают на глубине 2,2 м, весной и летом опускаются ниже 2,5 м.

Влажность дерново-подзолистой почвы определяли в слое 0—100 см через каждые 10 см весовым методом, механический состав почвы—методом пипетки по Н. А. Качинскому, максимальную гигроскопичность—по А. В. Николаеву. Влагоемкость и водопроницаемость почвы определяли методом заливаемых площадок (размер внутренней 1×1 м и внешней 2×2 м). Удельный вес определяли пикнометрическим методом, а объемный—режущим кольцом объемом 250 см³. Структурный состав почвы определяли по методике Н. И. Саввинова.

Физико-химические свойства дерново-подзолистой почвы определяли следующими методами: общий азот по Кьельдалю, гумус по Тюрину,

сумму обменных оснований по Каппену — Гильковицу, гидролитическую кислотность по Каппену, калий на пламенном фотометре, фосфор по Кирсанову.

Биологическую активность почвы определяли по количеству выделившейся углекислоты с поверхности почвы [3] и по интенсивности разложения льняного полотна [6].

Количество CO_2 определяли в 3-кратной повторности на 7-й и 14-й день после полива в первую половину дня с помощью 0,2 л раствора щелочи. Щелочь поглощала углекислоту с поверхности почвы, избыток ее оттитровывали 0,05 л кислотой по фенолфталеину.

Степень разложения льняного полотна определяли таким образом: в почву в 3-кратной повторности на глубину укладки увлажнителей (60 см) закладывали пластины, обшитые льняной тканью. Они находились в почве весь поливной сезон, с июня по октябрь 1976 г. О минерализации органического вещества в почве судили по разложению льняной ткани, выраженному в процентах, а о глубине биологической активности почвы — в см.

Бактериальное загрязнение почвы и выращиваемой культуры при подпочвенном орошении хозяйственно-бытовыми и животноводческими стоками оценивалось Коломенской санитарно-бактериологической лабораторией. Образцы на бактериологический анализ отбирали через 10 см до глубины 1 м перед поливом и после полива через каждые 5 дней в течение месяца. Водно-физические и физико-химические свойства дерново-подзолистой почвы приведены в табл. 2.

Водопроницаемость почвы на участке системы по классификации Н. А. Качинского относится к удовлетворительной и составляет за 1-й час наблюдения 43 мм. Объемный вес, так же как и удельный вес, с глубиной увеличивается; в пахотном горизонте удельный вес равен 2,61, объемный вес 1,36 г/см³, порозность 48%; в подпахотном горизонте удельный вес составляет 2,62, а объемный вес соответственно возрастает до 1,58, порозность снижается до 40%. Максимальная гигроскопичность с глубиной увеличивается и максимум ее наблюдается в материнской породе. Это объясняется тем, что ее величина зависит от количества механических элементов физической глины (<0,01 мм) и ила (<0,001 мм), которые с глубиной увеличиваются. Влагоемкость наибольшая наблюдается в пахотном слое, который наиболее гумусирован. Содержание гумуса в пахотном горизонте равно 1,58%, в подпахотном уменьшается до 0,43%; емкость поглощения составляет 18,8 мг·экв/100 г почвы, а обменного калия 11,2, фосфора 19,0 мг/100 г почвы, рН водной вытяжки для пахотного горизонта составляет 6,0, для подпахотного — 4,7, гидролитическая кислотность колеблется от 1,9 до 5,4 мг·экв/100 г почвы.

В течение 8 лет за вегетационный период проводили от 2 до 6 поливов хозяйственно-бытовыми стоками. В зависимости от выращиваемой сельскохозяйственной культуры подавали поливные нормы от 200 до 300 м³/га. Сроки поливов назначали при достижении 70% ППВ в корнеобитаемом слое почвы.

Исследования на системе показали, что длительное подпочвенное орошение хозяйственно-бытовыми стоками способствует биологической активности и повышению плодородия дерново-подзолистой почвы.

Богатые органическими и минеральными веществами сточные воды активизируют микробиологические процессы в почве. Интенсивность выделения CO_2 с поверхности орошаемой почвы составила более 38 кг/га·час, а в неполивном варианте около 36 кг/га·час. Резкой разницы в интенсивности «дыхания» почвы в орошаемом и неорошаемом вариантах не обнаружено в связи с высокой влажностью (>90% ППВ) и низкой температурой (<18°) почвы в дождливом и холодном 1976 г.

Таблица

Водно-физические и физико-химические свойства дерново-среднеподзолистой почвы при многолетнем подпочвенном орошении хозяйственно-бытовыми стоками

Горизонт и глубина, см	Водно-физические свойства							Физико-химические свойства										
	механический состав, %				коэффициент структурности	удельный вес, г/см ³	максимальная гигроскопичность, %	влажностность, %	рН		азот общий, %	гумус по Тюрину, %	сумма обменных оснований	гидролитическая кислотность	емкость поглощения	P ₂ O ₅	K ₂ O	сумма обменных катионов
	>0,01	0,05—0,01	<0,01	<0,001					водный	солевой								
Не орошаемая																		
A _{пах} 0—20	67,9	53,1	32,1	12,1	0,84	2,61	3,32	23,3	6,0	5,4	0,12	1,58	10,9	1,9	18,8	19,0	11,2	
A ₂ B ₁ 20—40	71,0	52,3	29,0	11,2	1,95	2,62	5,32	21,1	4,9	4,0	0,10	0,43	11,0	5,1	16,1	9,2	8,0	
B ₁ 40—60	57,7	44,7	42,3	24,4	2,78	2,62	6,42	21,5	4,7	4,0	0,08	0,35	12,7	5,2	18,0	6,9	7,2	
B ₁ B ₂ 60—100	55,9	47,0	43,1	25,1	1,75	2,70	7,52	21,9	4,6	4,0	—	0,24	14,5	5,4	19,9	4,7	6,5	
Орошаемая																		
A _{пах} 0—17	70,6	49,9	29,4	11,7	1,34	2,61	Не опр.	22,3	6,2	5,4	0,12	1,54	18,0	2,45	18,2	30,3	10,0	
A ₂ 17—32	60,2	48,8	39,8	21,7	3,55	2,62	»	21,4	6,5	5,4	0,11	1,12	18,2	2,10	18,2	31,9	11,0	
B ₁ 32—60	52,5	47,0	47,5	28,7	5,00	2,62	»	22,1	7,2	5,5	0,11	0,56	25,6	1,75	22,0	38,1	7,3	
B ₁ B ₂ 60—100	55,4	43,5	44,6	27,6	2,33	2,65	»	21,0	7,3	5,5	Не опр.	—	28,2	1,75	20,6	Не опр.	—	

Глубина биологически активного горизонта почвы, определенная методом «аппликация» в 1976 г., на орошаемом варианте составила 52 см, на неорошаемом — всего 11 см. Степень разложения льняной ткани на тех же вариантах составила соответственно 62 и 32%, т. е. льняная ткань разложилась на орошаемом варианте в 2 раза больше и на глубину укладки увлажнителей.

На глубину биологической активности дерново-подзолистой почвы влияет поступающий в систему по увлажнителям воздух. Он аэрирует почву в зоне укладки увлажнителей и способствует быстрому окислению и разложению микроорганизмами органического вещества [8]. За счет минерализации органических остатков, гумификации и отмирания микроорганизмов происходит постепенное накопление питательных веществ в почве, и в первую очередь таких элементов, как азот, фосфор и калий (табл. 2).

В орошаемом варианте (как в подпочвенной зоне увлажнения, так и по всему корнеобитаемому профилю) увеличивается количество фосфора с 6,9 до 38 мг/100 г почвы для нижних горизонтов почвы и с 9,2 до 31,9 мг/100 г почвы для верхних. По калию, общему азоту и гумусу проявляется та же закономерность увеличения этих элементов. Однако калий как очень подвижный элемент в почве из зоны метрового увлажнения частично вымывается, поэтому его количество невелико по сравнению с неорошаемым вариантом.

Реакция почвенной среды в зоне увлажнения заметно меняется. В верхних горизонтах она из кислой переходит в слабокислую и в нейтральную в зоне укладки увлажнителей. Такое явление свидетельствует об интенсивных микробиологических и физико-химических процессах в орошаемой почве за счет поступления органических и минеральных веществ со сточной водой и воздуха по увлажнителям.

Значительное количество поглощенного водорода (по гидролитической кислотности) заменяется в поглощающем комплексе кальцием и магнием. В варианте с длительным орошением сточными водами гидролитическая кислотность в зоне укладки увлажнителей снизилась с 5,2 до 1,75 мг·экв/100 г почвы. Сумма обменных оснований ($\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$) закономерно увеличилась с 12,7 на контроле до 25,6 мг·экв/100 г почвы в орошаемом варианте. При подпочвенном орошении поступающие со сточной водой и при разложении органических остатков обменные основания вытесняют водород из поглощающего комплекса.

Обогащение почвы и ее поглощающего комплекса органо-минеральными соединениями Ca^{++} и Mg^{++} способствует накоплению гумуса в почве. Если в пахотных горизонтах количество гумуса мало чем различается по вариантам, то в нижележащих его в несколько раз больше на орошаемом участке, чем на контроле. На глубине укладки увлажнителей количество гумуса увеличилось с 0,35 до 0,56% в результате орошения сточными водами (табл. 2). Прирост вносимого органического вещества за счет подпочвенного орошения сточными водами в течение 7 лет в 60-сантиметровом слое составляло около 23 т/га по сравнению с контролем. Элементарный расчет показывает, что ежегодно на один гектар орошаемого поля со сточной водой вносится более 2 т органических веществ.

Наряду с происходящими физико-химическими процессами в почве изменяются и физические ее свойства. Механическим анализом установлено, что при многолетнем орошении сточными водами увеличивается количество ила в почве ($< 0,001$ мм). Он, так же как и органическое вещество и обменные основания, способствует улучшению структуры почвы.

В орошаемом варианте резко улучшается агрономически ценная структура. Коэффициент структурности, определенный отношением структурной части почвы (10—0,25 мм) к бесструктурной ($< 10 + <$

<0,25 мм), в варианте, орошаемом хозяйственно-бытовыми стоками, значительно выше. Для пахотного горизонта он равен 1,34, ниже увеличивается и достигает максимальной величины 5,00 на глубине укладки увлажнителей. Затем снова уменьшается до 2,33 на глубине 100 см. В контрольном варианте коэффициент структурности меньше по сравнению с орошаемым: для верхних горизонтов (пахотного и подпахотного) он колеблется от 0,84 до 1,95, для нижележащих — от 2,78 до 1,75 (табл. 2).

Подпочвенное орошение сточными водами не оказывает отрицательного влияния на солевой режим дерново-среднеподзолистой почвы. Ко-

Таблица 3

Солевой состав дерново-среднеподзолистой почвы

Горизонт и глубина, см	рН водный	НСО ₃	Cl'	SO ₄ "	Ca ^{..}	Mg ^{..}	K [·]	Na [·]	Сумма		Сухой остаток, %
		мг-эка/100 г почвы								анио-нов	
Не орошаемая											
A _{пах} 0—20	6,0	0,25	0,13	0,17	0,22	0,10	0,01	0,30	0,55	0,63	0,036
A ₂ B ₁ 20—40	4,9	0,24	0,13	0,29	0,26	0,10	0,01	0,36	0,66	0,73	0,050
B ₁ 40—60	4,7	0,11	0,15	0,44	0,16	0,04	0,01	0,37	0,70	0,58	0,040
B ₁ B ₂ 60—100	4,6	0,11	0,19	0,54	0,18	0,02	0,01	0,30	0,84	0,51	0,057
Орошаемая											
A _{пах} 0—17	6,2	0,18	0,24	0,27	0,38	0,04	0,05	0,09	0,69	0,56	0,040
A ₂ 17—32	6,5	0,20	0,11	0,08	0,20	0,04	0,02	0,06	0,39	0,32	0,030
B ₁ 32—60	7,2	0,26	0,13	0,15	0,24	0,12	0,01	0,15	0,54	0,52	0,043
B ₁ B ₂ 60—100	7,3	0,26	0,14	0,35	0,28	0,22	0,02	0,17	0,75	0,69	0,048

личество растворенных солей в почве, определенное по сухому остатку, в водной вытяжке на орошаемом варианте незначительно уменьшилось по сравнению с контролем. В основном преобладают в вытяжке такие элементы, как бикарбонаты, кальций, магний и калий, а количество вредных солей хлора, сульфатов и особенно натрия уменьшилось (табл. 3).

Многолетние данные, приведенные в табл. 3, показывают, что при орошении хозяйственно-бытовыми стоками накапливаются соли углекислоты, кальция, магния и калия, которые препятствуют вхождению ионов водорода, натрия и хлора в поглощающий комплекс дерново-подзолистой почвы. Эти соединения вымываются из корнеобитаемого слоя почвы естественными осадками. В водной вытяжке количество сульфатов и хлоридов невелико, значительно меньше, чем в контрольном варианте. Эти элементы в таком количестве не влияют на рост и развитие орошаемых культур.

Проведенные санитарно-бактериологические исследования показали, что почва после полива загрязняется кишечной палочкой и яйцами гельминтов. Через неделю они обнаруживаются на глубине 60—80 см, дальнейшими отборами образцов — на глубине 100 см, кишечная палочка и яйца гельминтов анализами не обнаружены. Подъем кишечной палочки и яиц гельминтов вверх от увлажнителя на 20 и 40 см не наблюдался. Через месяц после полива в почве кишечная палочка не обнаружена. Растения, выращиваемые на системе подпочвенного орошения сточными водами, как показали анализы, не загрязнялись кишечной палочкой и яйцами гельминтов.

Урожай яровой пшеницы сорта Мироновская 808 в дождливом 1974 г. на неорошаемом участке составил 37 ц/га, при 2-кратном вегетационном поливе нормой 300 м³/га — 53 ц/га, а в 1973 г., более засушливом, — 47 ц/га.

Выводы

1. Подпочвенное орошение хозяйственно-бытовыми и животноводческими стоками благоприятно влияет на биологическую активность и агромелиоративные свойства дерново-подзолистой почвы. Оно наиболее полно отвечает санитарно-гигиеническим требованиям и исключает контакт человека, животных и орошаемых культур со сточной водой.

2. Показатели «дыхания» и биологической активности дерново-подзолистой почвы увеличиваются при подпочвенном орошении хозяйственно-бытовыми и животноводческими стоками. CO_2 в условиях влажного и холодного лета 1976 г. выделяется больше с поверхности почвы орошаемого варианта, чем с поверхности неорошаемого. Глубина биологически активного горизонта орошаемой почвы составила 52 см, неорошаемой — 11 см. Степень разложения льняной ткани соответственно составила 62 и 32%.

3. Химический, солевой состав и водно-физические свойства дерново-подзолистой почвы показывают, что подпочвенное орошение хозяйственно-бытовыми стоками благоприятно влияет на ее агромелиоративные свойства. За 7 лет в корнеобитаемом слое этой почвы накопилось более 20 т/га гумуса, улучшилась структура, поглощающий комплекс ее обогатился обменными основаниями и углекислотой за счет поступающих питательных веществ и органического вещества со сточной водой. При этом в почве в 2 раза снизилась гидролитическая кислотность, емкость поглощения возросла и реакция почвенной среды приблизилась к нейтральной.

4. Санитарно-бактериологическая проверка различных культур, выращиваемых на участке подпочвенного орошения сточными водами показала, что сельскохозяйственные культуры не загрязняются кишечной палочкой и яйцами гельминтов на протяжении всего вегетационного периода. В межполевые периоды почва, орошаемая подпочвенным способом сточными водами, самоочищается от патогенных микроорганизмов и яиц гельминтов.

Литература

1. Горбов В. А. Гигиеническая оценка сельскохозяйственного использования сточных вод. Тр. ВНИИГиМ. В сб.: Сельхозоз. использование сточных вод, вып. 1, 1974.
2. Додолина В. Т. Агро-мелиоративная характеристика сточных вод предприятий и поселков. Тр. Центр. НИС по использованию сточных вод ВНИИГиМ, вып. 1, 1969.
3. Макаров Б. Н. Дыхание почвы. Почвоведение, 1950, № 7.
4. Николаев М. В., Соколова С. И., Борисов И. И., Лифскинд Б. А. Опыт подпочвенного орошения сточными водами. Гигиена и санитария, 1962, № 2.
5. Радугин П. А. Возделывание сельскохозяйственных культур на сельскохозяйственных полях орошения. «Колос», 1970.
6. Тепнер Е. З., Шильникова В. К., Переверзева Г. И. Практикум по микробиологии. «Колос», 1972.
7. Шевцов Н. М., Белова З. М. Подпочвенное орошение сточными водами. Земледелие, 1975, № 12.
8. Шевцов Н. М. О заилении полиэтиленовых увлажнителей при подпочвенном орошении сточными водами, Тр. ВНИИГиМ. В сб.: Новое в технике и технологии полива, т. 9, 1976.

ВНИИ механизации и техники полива
Минводхоза СССР

Дата поступления
21.IV.1977 г.

N. M. SHEVTSOV

CHANGES OF A SODDY-PODZOLIC SOIL UNDER THE EFFECT OF SUBSURFACE IRRIGATION WITH SEWAGE

A positive role of subsurface irrigation with domestic sewage in improving fertility of a soddy-podzolic soil has been shown. Vegetative irrigation stimulates the accumulation of humus in the soil and the increase of clay content, thus improving soil structure and the supply of mobile nutrients and organic matter.