

A:=JYAG?GB? IHQ< LY@?EUFB F?L:EE:FB < J?AMEV
HJHR?GBY =HJH>KDBFB KLNQGUFB <H>:FB

Н.Н. Бушуев, к.б.н., МГТУ им. Н.Э. Баумана, А.В. Шуравилин, д.с.-х.н., РУДН

Среди всех источников загрязнения почв агроландшафтов наибольшая доля приходится на орошение сточными водами. В России ежегодно образуется около 52 км³ сточных вод [12].

Один из наиболее значимых источников загрязнения – городские сточные воды. Они характеризуются близкой к нейтральной или слабощелочной реакцией среды (рН 7,2-8,3), относительно невысокой минерализацией – до 2 г/л, умеренным уровнем органического загрязнения, низким содержанием основных элементов питания и микроэлементов. Городские сточные воды представляют собой смесь бытовых (хозяйственно-фекальных) и сточных вод промышленных предприятий, поступающих в канализационные сети. Качество сточных вод (в том числе содержание загрязнителей) определяется соотношением бытовых и промышленных сточных вод. Концентрации питательных элементов и загрязнителей в городских сточных водах не постоянны, так как они изменяются вследствие разбавления водой, наличия производственных циклов на промышленных предприятиях и т.д. Кроме того, на содержание загрязнителей, в том числе и тяжелых металлов (ТМ), могут влиять биологические, физико-химические и химические процессы, происходящие в сточных водах. Городские сточные воды богаты органическими веществами, содержат зна-

чительное количество легкодоступных питательных элементов (азот, фосфор, калий, кальций) для растений, поэтому их используют при орошении сельскохозяйственных культур. При этом, помимо утилизации биогенных веществ, осуществляется очистка сточных вод под действием почвенных физико-химических процессов.

Перед использованием сточные воды проходят механическую и биологическую очистки на очистных сооружениях (рис.), но они по-прежнему содержат значительное количество тяжелых металлов. Поэтому возникает опасность загрязнения почв рядом тяжелых металлов. Даже при полной биологической очистке более 10% загрязнителей (как правило, самых стойких) поступает в почвы и водоемы.

Тяжелые металлы, содержащиеся в сточных водах, могут оказать негативное воздействие на растения, животных и человека, поэтому при использовании городских сточных вод для орошения необходимо контролировать содержание ТМ в них. Тяжелые металлы, проникая в почву вместе со сточной водой, дифференцируются в пределах почвенного профиля и почвообразующих пород под влиянием геохимических барьеров. К числу важнейших процессов, обуславливающих распределение химических элементов в почвах, относятся: осаждение, включение в минералы; адсорбция минеральными компонентами почвы; сорбция органическим веществом; выщелачивание из почв.

Благодаря различным видам поглощательной способности, почва в той или иной мере может задерживать попадающие в неё загрязняющие вещества (в том числе тяжелые металлы), препятствуя их вовлечению в биологический и геологический круговороты. Значительная часть ТМ накапливается в почве и может поступать в растения.

Схема очистки сточной воды

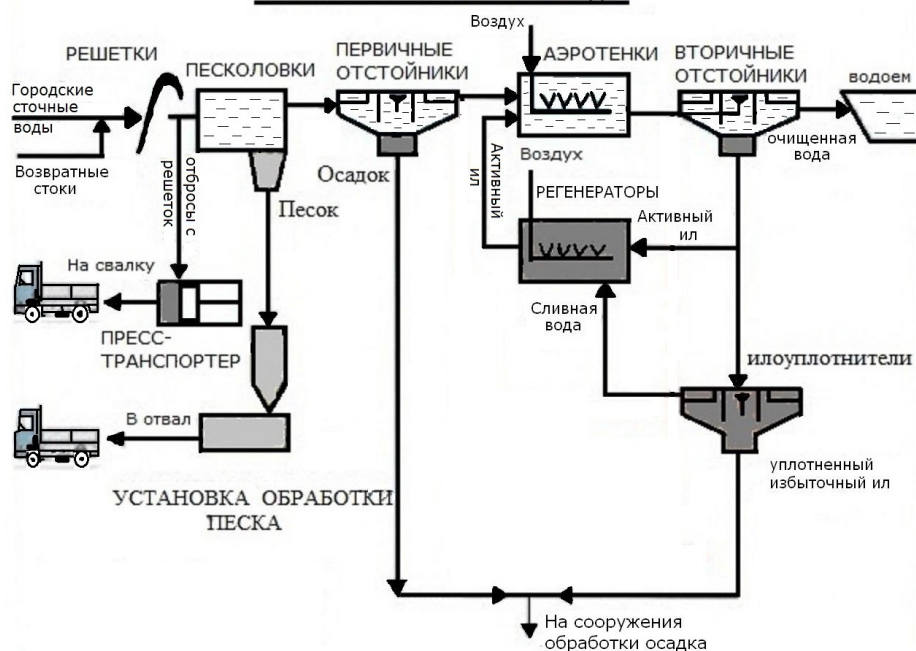


Рис. Схема очистки городских сточных вод Люберецкой станции аэрации в Москве[5]

1. D h g p _ g l j Z p b y l y ` _ e u o f _ l Z e e h \ \ k l h q g u o \ n i e T M b e l o z n a c h i t e l n o n i z h e , n o v r e z u l t a t e m n o g o - l e t n e g o o r o s h e n i y a o n o p r i b l i z i l o s y k P D K . D a z h e o r o s h e n i e s t o c h n y m i w o d a m i v t e c h e n i e 1 - 3 l e t p r i v o d i l o k s u s h e s t v e n n o m u p o v y s h e n i y u s o d e r z a n i y a T M v p o c h v a x . S o d e r z a n i e T M v o z r a s t a l o p r o p o r c i o n a l n o k o l i c h e s t v u s t o c h n y x w o d , p r i m e n y a e m y x n a o r o s h e n i e . V a l l y u v i a l n o y p o c h v e , o r o s h a e m o y r e c h n o y w o d o y , v a l o v o e k o l i c h e s t v o T M z n a c h i t e l n o b o l s h e , c h e m v p u s t y n n o y p o c h v e , c h t o s v y a z a n o , v e r o y a t n o , s z a g r y a z n e n i e m p . N i l p r o m y s l e n n y m i s t o k a m i K a i r a , A l e k s a n d r i i y i d r u g i x i n d u s t r i a l n y x c e n t r o v E g i p t a .

Тяжелые металлы	ПДК воды, мг/л	Среднее содержание			
		г. Рубцовск, Алтайский край, Россия [10]	г. Хаджа, Йемен [2,7]	г. Ибб, Йемен [8]	г. Александрия, Египет [1,4]
Медь	1,0	0,083	0,03	0,106	0,14
Цинк	1,0	0,937	0,13	0,018	0,18
Кадмий	0,001	0,05	0,008	0,002	0,007
Никель	0,1	0,176	0,04	0,003	0,03
Свинец	0,03	0,227	0,015	0,003	0,12
Кобальт	0,1	0,022	0,02	0,024	0,024

. ПДК даны по СанПин 2.1.7.573-96.

Результаты исследований показали, что содержание тяжелых металлов в городских сточных водах не постоянно и зависит от сбросов загрязнителей в канализационную сеть промышленными предприятиями, от влияния различных биологических, химических и физико-химических процессов. Так содержание ТМ, за исключением кадмия и свинца, в сточных водах г. Рубцовск после очистки было ниже ПДК в оросительной воде (табл. 1).

При многолетнем (30 лет) орошении сточными водами г. Александрия (Египет) аллювиальных и желто-бурых пустынных почв зафиксировано загрязнение этих земель тяжелыми металлами: кадмием, цинком, медью и свинцом [1, 4, 6, 11]. Также зафиксировано повышение содержания в почвах кобальта и никеля, хотя оно не достигает опасных значений. При орошении сточными водами происходит интенсивное накопление тяжелых металлов в верхнем слое (0-20 см) аллювиальных и пустынных почв. В дальнейшем отмечается миграция в глубь почвы для меди и свинца – до 40 см, а кадмия – до 1,0 м. При многолетнем орошении сточными водами аллювиальной почвы валовое содержание кадмия достигало 2,21-2,68 мг/кг, что превышает ПДК, и с глубиной оно уменьшалось незначительно. Также в аллювиальной почве при многолетнем орошении наблюдалось превышения ПДК по содержанию меди, цинка и свинца. В аллювиальной почве содержа-

ние ТМ было значительно ниже, но в результате многолетнего орошения оно приблизилось к ПДК. Даже орошение сточными водами в течение 1-3 лет приводило к существенному повышению содержания ТМ в почвах. Содержание ТМ возрастало пропорционально количеству сточных вод, применяемых на орошение. В аллювиальной почве, орошаемой речной водой, валовое количество ТМ значительно больше, чем в пустынной почве, что связано, вероятно, с загрязнением р. Нил промышленными стоками Каира, Александрии и других индустриальных центров Египта.

Орошение сточными водами приводило к повышению содержания тяжелых металлов в зеленой массе кукурузы. При этом отмечалась тенденция к закономерному накоплению ТМ в зеленой массе кукурузы при увеличении длительности орошения сточными водами. На аллювиальных почвах накопление ТМ в зеленой массе кукурузы было в 1,5-2,0 раза выше, чем на пустынных. При длительном орошении сточными водами на аллювиальных и пустынных почвах содержание кадмия в зеленой массе кукурузы превышало минимально допустимый уровень, поэтому зеленая масса в чистом виде мало пригодна для кормления животных. Для уменьшения накопления ТМ в почвах и предотвращения загрязнения почв и растительной продукции рекомендуют использовать цикличное орошение, т.е. чередовать поливы городскими сточными и речными водами [4].

При проведении исследований в северном Йемене установлено, что при трехлетнем орошении кукурузы городскими сточными водами г. Хаджа содержание подвижных форм тяжелых металлов в горной красной почве (слой 0-30 см) увеличилось по сравнению с исходным в 1,5-4,0 раза и более, но оставалось ниже ПДК. Наименьшие значения были характерны для цинка, наибольшие – для кадмия [2, 7].

Также выявлено, что при орошении очищенными сточными водами г. Ибб (Южный Йемен) горных красно-бурых карбонатных почв в зависимости от возделываемой культуры содержание подвижных форм меди

возросло в 3,9-4,7 раза, цинка в 2,8-3,7, марганца в 1,8-2,9, кобальта в 5,4-7,1, никеля в 3,7-6,3, свинца в 3,5-4,2 раза. Хотя ни по одному элементу не была достигнута ПДК, необходимо учесть, что орошение длилось всего 3 года, а городские сточные воды были малозагрязненными по концентрации ТМ. Таким образом, даже при низком содержании ТМ в используемых для орошения сточных водах остается серьезная опасность загрязнения почв некоторыми токсичными элементами. Согласно выполненным расчетам, содержание меди и кадмия превысит ПДК через 10 лет орошения, а кобальта – через 15 лет [8]. Для предотвращения накопления ТМ в почве исследователи [4, 8] рекомендуют применять циклический режим орошения, при котором чередуются периоды орошения грунтовыми и сточными водами.

Анализ данных показал, что применение городских сточных вод в объемах 1800-3000 м³/га ежегодно при различных технологиях их внесения под кормовые культуры не вызывало загрязнения почвы патогенной микрофлорой и яйцами гельминтов [10]. Однако орошение сточными водами может привести к накоплению тяжелых металлов и азотсодержащих соединений в количестве, представляющем опасность для возделывания сельскохозяйственных культур.

Анализ почв на содержание в них тяжелых металлов при трехлетнем орошении городскими сточными водами г. Рубцовска свидетельствует, что их количество отличается от исходного состояния. Однако содержание некоторых элементов к концу исследований уменьшалось. В контрольном варианте (полив водой из оз. Горькое) содержание кобальта, хрома, кадмия, никеля, марганца снижалось. Это произошло, по-видимому, в результате промывного режима почвы в весенне-летний период. Накопление тяжелых металлов в орошаемых вариантах в лугово-черноземной почве в слое 0-60 см обусловлено поступлением их со сточными и речными водами. Максимальное накопление по всем элементам вместе (Mn, Zn, Cu, Co, Pb, Cr, Cd, Ni) за годы исследований произошло в варианте при трехлетнем орошении сбросными сточными водами из оз. Горькое, минерализация воды которого составляла 2,0-2,5 г/л по сухому остатку [10]. Содержание марганца увеличилось на 25,8%, меди – на 52,4, кобальта – на 7,9, свинца – на 8,3, хрома – на 7,5, кадмия – на 12,5, никеля – на 9%.

В зависимости от состава городских сточных вод изменялось содержание тяжелых металлов (табл. 2). На промышленных предприятиях качество сбросных сточных вод также определяется особенностями технологических процессов и профилем предприятия. Так, в зависимости от степени и характера загрязнения сточные воды сахарных заводов можно разделить на три категории: 1 – условно-чистые воды; 2 – транспортно-мочные; 3 – производственные. Сточные воды 1-й категории сбрасывают в водоемы без предварительной очистки, однако они могут иметь специфический запах и содержат больше органических растворенных и взвешенных веществ. Сточные воды 2-й категории пригодны для орошения после соответствующей подготовки (в частности, предварительного удаления осадка). Производственные воды – самые загрязненные и содержат большое количество растворимых и нерастворимых органических и минеральных веществ. Перед использованием их подвергают механической и биологической очистке.

2. Kh^_j`Zgb_ ly`_euo f_lZeeh\ \]hjh^kdbo klhqq
:elZckdh]h,djZq3,9]

Химический элемент	Смешанные городские сточные воды		Хозяйственно-бытовые городские сточные воды		ПДК для хозяйственно-питьевого водопользования
	min	max	min	max	
Кадмий	0,005	0,021	—	—	0,001
Кобальт	0,015	0,031	0,001	0,01	0,1
Медь	0,02	0,278	0,001	0,02	1,0
Молибден	0,013	0,049	0	0,002	0,25
Никель	0,055	0,42	0,001	0,1	0,1
Свинец	0,108	0,749	6*10 ⁻⁴	0,04	0,03
Селен	0,100	0,16	0,003	0,08	0,01
Стронций	—	0,357	0,02	0,04	7,0
Хром	0,007	0,085	0,003	0,09	0,5
Цинк	0,193	3,454	0,003	0,06	1,0

*ПДК даны по СанПин 2.1.7.573-96.

Орошение сточными водами сахарного завода г. Алейска Алтайский край) может привести к химическому загрязнению почвы и накоплению тяжелых металлов. Результаты исследований показали, что количество тяжелых металлов в слое почвы 0-60 см при поливах сточными водами по сравнению с контролем несколько повышалось. Так, содержание кадмия в исходной почве составляло 0,06 мг/кг, а к концу исследований после трехлетнего орошения сточными и смешанными водами оно увеличилось в 1,5-2,0 раза и было наибольшим при поливах сточными водами сахарного завода на фоне внесения животноводческих стоков. Поливы речной водой также приводили к некоторому повышению содержания кадмия в почве (с 0,6 до 0,08 мг/кг). Аналогичная тенденция к изменению содержания ТМ в зависимости от варианта опыта отмечалась и по другим элементам. Содержание свинца в почве при поливе сточными водами повышалось на 6-28%, а при поливах речной водой увеличивалось незначительно. Содержание меди в почве повышалось в 1,4 раза, а при поливах речной водой составляло 5,7 мг/кг почвы. Содержание цинка в почве при поливе сточными водами возросло в 1,1-2,0 раза, а при поливах речной водой практически не менялось. Содержание кобальта после трехлетнего орошения увеличилось в 1,2-1,4 раза, а хрома за тот же период почти не изменилось. Содержание марганца при поливах сточными водами и речной водой возрастало незначительно [10]. Содержание всех рассмотренных элементов в почве было значительно ниже ПДК.

Таким образом, в результате исследований установлено, что существует реальная опасность загрязнения почв тяжелыми металлами в результате орошения городскими сточными водами. Промышленные сточные воды содержат большие количества тяжелых металлов, многократно превышающие ПДК. При длительном орошении коммунально-бытовыми сточными водами опасность загрязнения почвы ТМ невелика, в отличие от использования промышленных сточных вод.

1. . . . Фракционный состав тяжелых металлов в почвах Египта при многолетнем орошении городскими сточными водами // Плодородие. – 2010. – № 6. – С. 41-43. 2. . . . Влияние водного режима и химического состава оросительной воды на загрязнение горной красно-бурой почвы

тяжелыми металлами в северном Йемене // Плодородие. – 2010. – № 4. – С. 46-47. 3.

. Влияние орошения сточными водами на содержание тяжелых металлов в почве // Алтай: экология и природопользование: Материалы III российско-монгольской научной конференции. – Бийск: НИЦ БГПУ им. В.М. Шукшина, 2004. – С. 5-10. 4.

. Влияние многолетнего внесения сточных вод г. Александрия (Египет) на загрязнение почв тяжелыми металлами, питательный режим, урожайность и качество кукурузы, возделываемой на зеленую массу// Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. – М., 2011. – 21 с. 5.

. От Люберецких полей фильтрации к природоохранному комплексу. – М.: Изд-во АВО, 1998.-138 с. 6.

. Содержание и формы соединений тяжелых металлов в почвах Египта при поливе сточными водами // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий: Сборник научных трудов. – Рязань: Мещерский филиал

ГНУ ВНИИГиМ, 2010. – С. 517-528. 7.

. Режим орошения кукурузы сточными водами при возделывании на зеленую массу в условиях Северного Йемена// Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. – М., 2010. – 22 с. 8.

. Влияние орошения городскими сточными водами на продуктивность сельскохозяйственных культур на горных красно-бурых карбонатных почвах Йемена// – Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. – М., 2010. – 22 с. 9.

. Управление использованием органических отходов в сельском хозяйстве на региональном уровне// Автореф. дисс. ... докт. техн. наук. – М., 2010. – 45 с. 10.

. Эффективное использование сточных вод и их осадка для орошения и удобрения сельскохозяйственных культур. – Волгоград: Нива, 2009. – 636 с. 11.

. Влияние многолетнего орошения городскими сточными водами на загрязнение почв тяжелыми металлами в условиях Египта // Доклады РАСХН. – 2010. – № 6. – С. 42-43.

SOIL CONTAMINATION WITH HEAVY METALS CAUSED BY IRRIGATION WITH MUNICIPAL WASTEWATER

N.N. Bushuev¹, A.V. Shuravilin²

¹*Bauman Moscow State Technical University, ul. Vtoraya Baumanskaya 5, Moscow, 105005 Russia*

²*People's Friendship University of Russia, ul. Miklukho-Maklay 6, Moscow, 117198 Russia*

The hazard of heavy metal accumulation in the soil at the irrigation with municipal wastewater has been shown. A wastewater clearing scheme has been presented. At the long-term irrigation with municipal wastewater, the concentrations of heavy metals, particularly cadmium, exceed the MPC levels. To prevent the accumulation of heavy metals in the soil, it is recommended to alternate municipal wastewater with river water.

Keywords: heavy metals, wastewater, irrigation, soil contamination.