

ных грунтах выполняют в два этапа. На первом этапе в расчетах используют коэффициент фильтрации, определенный для грунта, не затронутого процессом перехода в псевдожидкое состояние. Определяют локальные участки области фильтрации с критическими градиентами фильтрационного потока. На втором этапе область фильтрации разбивают на две и более кусочно-однородных областей. Одна область включает грунт, охваченный процессом перехода в псевдожидкое состояние, другая этим процессом не затронута.

Выводы

Фильтрационные расчеты выполняют для различных стадий процесса перехода грунта в псевдожидкое состояние. Учет особенностей плавунного грунта обеспечивает повышение надежности работы гидротехнических сооружений на мелиоративных объектах.

Материал поступил в редакцию 23.03.11.
Касьянов Александр Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Почвоведение и земледелие»
E-mail: Kasian64@mail.ru

УДК 502/504:631.6.02:574

Т. И. СУРИКОВА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

Е. А. ПИВЕНЬ, А. В. ШУРАВИЛИН

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский университет дружбы народов»

СОДЕРЖАНИЕ И ФОРМЫ СОЕДИНЕНИЙ КАДМИЯ И СВИНЦА В ПОЧВАХ ПРИ ОРОШЕНИИ СТОЧНЫМИ ВОДАМИ В УСЛОВИЯХ ЕГИПТА

Проанализирована динамика общего содержания и распределения разных форм соединений кадмия и свинца при орошении сточными водами аллювиальных и пустынных почв Египта. Предложена технология циклического орошения сточными водами.

Орошение земель, сточные воды, тяжелые металлы.

При остром дефиците водных ресурсов в Египте сточные воды рассматривают как дополнительный источник оросительной воды на территориях, удаленных от реки Нил. Сточные воды городов Египта характеризуются непостоянством химического состава и после очистки обладают слабой минерализацией, щелочной реакцией, имеют высокое содержание взвешенных веществ и химически поглощенного кислорода (ХПК), среднее количество биогенных элементов. По ирригационным

и санитарно-гигиеническим показателям сточные воды являются умеренно опасными. Наличие большинства тяжелых металлов значительно ниже предельно допустимой концентрации (ПДК), однако содержание кадмия и свинца часто довольно высокое [1].

Динамика содержания и формы соединений тяжелых металлов изучались при орошении сточными водами на аллювиальной легкоуглинистой почве озерного происхождения и пустынной желто-бурой

супесчаной почве Египта в провинции города Александрии в 2008–2010 годах [1]. Методика и варианты полевых экспериментов описаны в [1, 2]. Изучались разные формы соединений тяжелых металлов в почве: остаточная, осажденная, органическая, сорбированная, обменная. В данной

статье представлены материалы исследований по кадмию и свинцу (рис. 1 и 2, таблица). В сточной воде после биологической очистки в среднем за годы исследований кадмия было 0,0073, свинца – 0,12 мг/л при ПДК соответственно 0,01 и 0,3. При орошении городскими сточны-

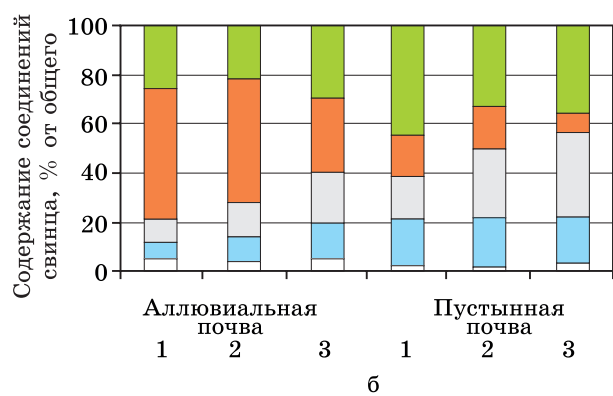
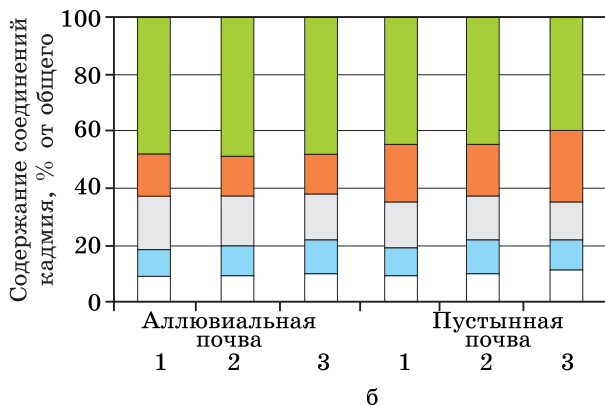
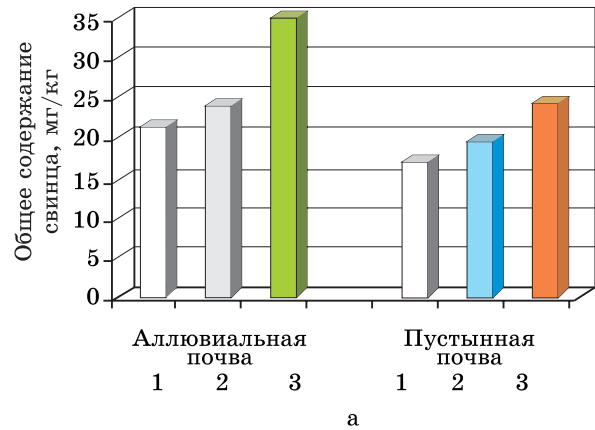
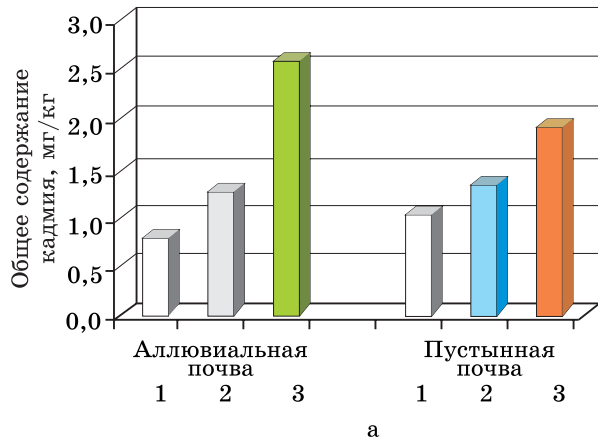


Рис. 1. Общее содержание кадмия (а) и его соединений (б) в слое почвы 0...20 см к концу периода исследований: 1, 2, 3 – варианты опытов. Формы соединений: □ – остаточная, □ – осажденная, □ – органическая, □ – сорбированная, □ – обменная

Рис. 2. Общее содержание свинца (а) и его соединений (б) в слое почвы 0...20 см к концу периода исследований: 1, 2, 3 – варианты опытов. Формы соединений: □ – остаточная, □ – осажденная, □ – органическая, □ – сорбированная, □ – обменная

Исходное содержание кадмия и свинца в почве опытных участков, мг/кг (общее/подвижные соединения)

Почва	Слой почвы, см	Cd	Pb
Аллювиальная	0...20	0,88 0,18	22,10 1,60
	0...60	0,95 0,23	15,43 2,49
Пустынная желто-бурая	0...20	1,08 0,21	17,55 3,58
	0...60	1,02 0,21	15,02 1,53
ПДК		2 0,50	30 6

ми водами, как показали проведенные авторами исследования, происходит загрязнение почвы кадмием и его соединениями на глубину более 1 м. В контроле (полив речной на аллювиальной почве и грунтовой водой на пустынной) наиболее высокое общее содержание кадмия было в слоях 60...100 и 100...150 см, где оно достигало 1,35...1,54 мг/кг. В слое 0...20 см содержание кадмия составляло 0,90...1,10 мг/кг. При трехлетнем орошении сточными водами валовое содержание кадмия варьировало в пределах 1,06...1,79 мг/кг, а наибольшее его количество аккумулировано в слое 100...150 см. В пустынной желто-бурой почве наибольшее накопление отмечалось в слое 100...150 см – 1,52 мг/кг, в слое 20...40 см – 1,28 мг/кг. При многолетнем (более 20 лет) внесении сточных вод наибольшее накопление общего кадмия характерно для верхних слоев почвы: 0...20 и 20...40 см (в среднем 2,63 мг/кг (1,32 ПДК) в аллювиальной почве и 2,01 мг/кг (ПДК) в пустынной).

Обменная и сорбированная составляющие (подвижные соединения) занимали 18,1...19,8 % суммарного содержания кадмия в аллювиальной почве и 16,1...19,3 % в пустынной. На аллювиальной почве в слое 0...150 см среднее содержание подвижных соединений кадмия составляло 0,25 мг/кг при поливах речной водой, 0,264 мг/кг при трехлетнем и 0,454 мг/кг при многолетнем внесении сточных вод, причем верхний слой почвы 0...40 см был загрязнен подвижными соединениями кадмия до 0,54 мг/кг (1,07 ПДК).

На пустынной почве в контрольном варианте подвижных соединений кадмия было 0,18...0,23 мг/кг. При трехлетнем орошении сточными водами более высокое содержание подвижных соединений отмечалось в пахотном слое – 0,27 мг/кг. При многолетнем внесении сточных вод наиболее загрязненным был верхний слой – в среднем 0,48 мг/кг (0,96 ПДК). В слое 20...40 см содержание подвижных соединений кадмия снизилось до 0,39 мг/кг, ниже по профилю – до 0,25 мг/кг. В слое 0...150 см подвижных соединений кадмия содержалось 0,205 мг/кг в контрольном варианте, 0,252 мг/кг при трехлетнем и 0,346 мг/кг при многолетнем внесении стоков.

Среди подвижных соединений кадмия обменные соединения составляли 40...45 %, сорбированные – до 55 %.

Соединения кадмия с органическим веществом составляли 14...18 % от суммарного значения в аллювиальной почве и 14...16 % в пустынной. В пахотном слое аллювиальной почвы их содержание в контрольном варианте было 0,20 мг/кг, при многолетнем внесении достигало 0,39 мг/кг, в слое 0...150 см – 0,26 и 0,33 мг/кг. В пустынной почве соединения кадмия с органическим веществом при многолетнем внесении сточных вод в слое 0...20 см увеличились с 0,16 до 0,33 мг/кг, а в слое 0...150 см – с 0,204 до 0,272 мг/кг. При трехлетнем внесении сточных вод различия с контролем не превышали 25 % в верхнем слое почвы и практически не наблюдались в слое 0...150 см.

Основная масса кадмия находилась в связанных соединениях в осадочной и остаточной формах. В их составе доминировали прочно связанные соединения кадмия в структуре первичных и вторичных минералов. Основная доля связанных соединений кадмия удерживалась алюмосиликатами и гидроксидами Fe и Mn. Суммарное содержание осадочной и остаточной форм соединений кадмия в аллювиальной почве составило 64 % в слое 0...20 см и 63...66 % в слое 0...150 см, а в пустынной – соответственно 61...66 % и 66...68 %. При этом осадочная фракция кадмия составила 15...17 % в аллювиальной почве и 20...22 % в пустынной, а остаточная фракция – 44...48 % суммы соединений кадмия.

В естественных условиях содержание свинца в почвах тесно связано с минералогическим и химическим составом материнских пород. При орошении сточными водами наибольшая его концентрация обнаруживается в верхнем слое почвы. В аллювиальной почве в этом слое общее содержание свинца составляло 22,2 мг/кг в контрольном варианте, 25,1 мг/кг при орошении сточной водой в течение трех лет и 35,9 мг/кг при многолетнем внесении сточных вод. При длительном орошении сточными водами до 30,2 мг/кг был загрязнен также слой 20...40 см. При трехлетнем орошении в слое 20...40 см содержание свинца было

23,9 мг/кг (0,79 ПДК). В слое 0...150 см среднее содержание свинца составляло 12,36 мг/кг, 15,5 мг/кг и 22,5 мг/кг по вышеуказанным вариантам.

В пустынной почве содержание свинца в верхнем слое 0...20 см контрольного варианта составляло 17,7 мг/кг, 20,5 мг/кг – при трехлетнем и 25,30 мг/кг – при многолетнем внесении сточных вод (0,59; 0,68; 0,84 ПДК соответственно). В слое 20...40 см содержание свинца было ниже, в слое 0...150 см оно составляло 12,44; 13,52; 13,9 мг/кг в рассмотренных вариантах и соответствовало фоновому уровню для рассматриваемых почв.

Подвижность свинца в значительной степени обусловлена как обменными формами металла, так и специфически сорбированными, при этом доля сорбированного свинца значительно выше обменной. Наиболее высокие концентрации подвижных соединений свинца в верхнем слое почвы. В слое 0...20 см аллювиальной почвы их было 2,7 мг/кг (контроль); 3,6 мг/кг – при трехлетнем орошении сточными водами; 6,93 мг/кг – при многолетнем орошении сточными водами. В подпахотном слое аллювиальной почвы содержание подвижных соединений свинца при орошении сточными водами также было высоким и составляло 3,10 мг/кг при трехлетнем и 4,52 мг/кг при многолетнем орошении (0,52 ПДК и 0,75 ПДК соответственно).

В слое 0...150 см среднее содержание подвижного свинца составляло 2,36 мг/кг в контрольном варианте, 2,62 мг/кг при трехлетнем и 3,15 мг/кг при многолетнем внесении сточных вод. Тенденция снижения концентрации подвижных соединений свинца по глубине сохранялась во всех вариантах опыта.

В пустынной почве в слое 0...20 см подвижные соединения свинца составляли 3,7 мг/кг в контрольном варианте, 4,6 мг/кг после трех лет и 6,2 мг/кг при многолетнем внесении сточных вод. В слое 20...40 см концентрация подвижного свинца мало отличалась от нижерасположенных слоев, в слое 0...150 см составляла 1,02; 1,56; 1,96 мг/кг соответственно по рассмотренным вариантам.

Концентрации соединений свинца, связанных с органическим веществом

(непрочно и прочно), при орошении сточными водами существенно возрастают. В аллювиальной почве (контрольный вариант) они составили 2,1 мг/кг в слое 0...20 см и 1,02 мг/кг в слое 0...150 см. При трехлетнем орошении сточными водами их содержание увеличилось до 3,30 мг/кг в слое 0...20 см и до 1,76 мг/кг в слое 0...150 см; при многолетнем орошении – возросло до 8,2 и до 3,76 мг/кг соответственно.

Аналогичная картина в содержании и распределении соединений свинца, связанных с органическим веществом, отмечалась в пустынной почве. В слое 0...20 см – 2,8 мг/кг (контроль); 6,1 мг/кг – при трехлетнем орошении сточными водами; 9,0 мг/кг – при многолетнем орошении сточными водами, т.е. 16,8; 21,2; 27,1 % суммы всех соединений. Аналогичная тенденция изменения по вариантам опыта сохранялась и в слое 0...150 см.

В составе соединений свинца наибольшую долю занимают труднорастворимые минеральные соединения, представленные осадочной и остаточной формами. В аллювиальной почве в слое 0...20 см их концентрация в контрольном варианте составляла 16,6 мг/кг, или 77 % суммы соединений свинца, при трехлетнем орошении сточными водами – 17,9 мг/кг (72,2 %), при многолетнем – 20,07 мг/кг (57,0 %); в слое 0...150 см независимо от варианта орошения оно составляло в среднем 70 % суммы всех соединений. При этом в слое 0...20 см соединений остаточной фракции, т.е. связанных с алюмосиликатами, было в 1,5–2 раза больше, чем соединений, связанных с оксидами и гидроксидами (осадочная фракция). Эти различия менее выражены в слое 0...150 см.

В пустынной почве в слое 0...20 см концентрация свинца, связанного с оксидами, гидроксидами и алюмосиликатами, составляла 10,3; 10,5 и 11,90 мг/кг по вариантам орошения (61,3; 49,5; 43,9 % суммы всех соединений свинца соответственно). В слое 0...150 см доля соединений свинца в остаточной и осадочной формах была 83,7; 63,4; 62,9 % (по вариантам опыта). Доля остаточных фракций в 1,5–2,0 раза превышала осадочные.

Анализ результатов полевых экспериментов и прогнозные расчеты

позволили сделать следующие выводы [2].

Орошение городскими сточными водами аллювиальных и пустынных почв Египта в течение первых трех–пяти лет не приводит к загрязнению почв токсичными соединениями кадмия и свинца. При многолетнем орошении сточными водами в пахотном слое общее содержание этих элементов в аллювиальных почвах, а кадмия в пустынных превышает ПДК.

При орошении сточными водами в аллювиальных и пустынных почвах происходит накопление всех форм соединений свинца и кадмия. При многолетнем орошении в слое почвы 0...20 см содержание подвижных соединений (обменных и сорбированных) изменяется в пределах от 6 до 24 %, связанных с органическим веществом – от 3 до 33 %, труднорастворимых соединений осадочной и остаточной формы – от 47 до 91 % суммы всех соединений.

Для орошения исследованных аллювиальных и пустынных почв в качестве дополнительного источника оросительной воды можно использовать очищенные до нормативных величин городские сточные воды. Однако при многолетнем орошении (20 лет и более) сточными водами для предотвращения загрязнения почв наиболее опасными тяжелыми металлами кадмием и свинцом рекомендуется технология циклического орошения: сточные воды – в течение 4–5 лет, грунтовые или речные – 2–3 года. Это значительно

снизит риски возможного загрязнения почв и растительной продукции.

1. Гома Ботхина Саад Мохамед Али. Влияние многолетнего внесения сточных вод города Александрия (Египет) на загрязнение почв тяжелыми металлами, питательный режим, урожайность и качество кукурузы, возделываемой на зеленую массу: дис.... канд. с.-х. наук. – М.: РУДН, 2011. – 232 с.

2. Шуравилин А. В., Пивень Е. А., Сурикова Т. И. Динамика содержания тяжелых металлов в почве при орошении сточными водами в условиях Египта: Проблемы развития мелиорации и водного хозяйства и пути их решения: материалы Международной научно-практической конференции ФГОБУ ВПО МГУП. – М.: ФГОБУ ВПО МГУП, 2011. – Ч. 2. Комплексное обустройство ландшафтов. – С. 267–272.

Материал поступил в редакцию 22.09.11.

Сурикова Тамара Ивановна, кандидат технических наук, доцент

Тел. 8 (495) 976-47-73

Пивень Елена Анатольевна, кандидат медицинских наук, доцент

Тел. 8 (495) 787-38-03

Шуравилин Анатолий Васильевич, доктор сельскохозяйственных наук

Тел. 8 (495) 787-38-03