

ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ

ФОРМИРОВАНИЕ ВОДНО-СОЛЕВОГО РЕЖИМА ПОЧВ ПРИ МНОГОЛЕТНЕМ ОРОШЕНИИ ГОРОДСКИМИ СТОЧНЫМИ ВОДАМИ В УСЛОВИЯХ ЕГИПТА

Гома Ботхина Саад¹, Н.И. Чернуха²,
А.В. Шуравилин¹, Елсайед Саид Мохаммед¹

¹Кафедра почвоведения и земледелия

²Кафедра генетики, растениеводства и защиты растений

Российский университет дружбы народов

ул. Миклухо-Маклая, 8/2, Москва, Россия, 117198

В статье рассмотрены результаты исследований водного и солевого режимов аллювиальных почв озерного происхождения и пустынных серо-бурых почв, расположенных в северной части Египта, а также водный режим почв и его формирование при орошении сточными водами. Установлена оросительная норма при возделывании кукурузы на зеленую массу. Изучены процессы засоления аллювиальных и пустынных серо-бурых почв. Доказано, что многолетнее орошение сточными водами усиливает процессы засоления и слабозасоленные почвы при их орошении переходят в разряд средnezасоленных.

Ключевые слова: сточные воды, почва аллювиальная и пустынная, оросительная норма, воднорастворимые соли, минерализация воды, химизм и степень засоления, электропроводность.

Состояние вопроса. Засоленные почвы занимают значительную площадь земной поверхности и распространены главным образом в аридной зоне, где испаряемость превышает сумму осадков. При преобладании восходящих токов почвенной влаги над нисходящими происходит подъем и накопление солей в верхних почвенных горизонтах. Распространение засоленных земель находится в тесной связи с источниками их происхождения [1; 4; 5]. Широкое распространение засоление получило в орошаемых районах: это так называемое вторичное засоление, когда сам человек ускорил процесс засоления даже незасоленных плодородных почв. Как отмечают многие ученые [3; 6], основной причиной вторичного засоления орошаемых почв являются близкое залегание минерализованных грунтовых вод, ненормированное орошение и отсутствие дренажа. В Египте орошаемые засоленные почвы занимают 1,250 млн га, или 33% от общей площади орошаемых земель.

В современных условиях одной из причин засоления почв является использование на орошение сточных вод, содержащих большое количество воднорастворимых солей. При этом процесс засоления зависит как от объема поступающих сточных вод и их химического состава, так и от продолжительности периода их использования. Особо большое значение отводится оптимальному водообеспечению.

В связи с этим целью наших исследований было изучение влияния многолетнего орошения условно очищенными городскими сточными водами на формирование водно-солевого режима почв в северном Египте.

Материалы и методы исследований. Экспериментальные данные получены на землях четырех крестьянских (фермерских) хозяйств Египта. Первый и второй опытные участки расположены в пригороде Александрии Абис. Почва участка староорошаемая аллювиальная озерного происхождения. Третий и четвертый опытные участки расположены в пригороде Александрии Борж-Эль-Араб. Почва пустынная серо-бурая с периодом освоения порядка 40—50 лет.

Опытные участки по рельефным, почвенным, гидрогеологическим и другим природным условиям являются характерными для рассматриваемых зон и условий их использования.

Изучение влияния многолетнего орошения городскими сточными водами г. Александрия (Египет) на формирование водно-солевого режима почв осуществлялось нами путем проведения полевых и лабораторных исследований. Контролем при этом на аллювиальных почвах являлся полив речной водой, а на пустынных серо-бурых почвах — грунтовыми водами. Во втором и третьем вариантах использовались на орошение городские сточные воды соответственно с периодом орошения 1—3 года и многолетним их применением. Химический анализ оросительных вод и почв проводился общепринятыми методами. Определение солевого состава почв осуществлялось по методикам, изложенным в руководстве Аринушкиной [2]. Водобалансовым методом определялась оросительная норма и водопотребление. Поливная норма определялась по А.Н. Костякову [3]. Нормы полива учитывались по производительности насоса. Орошение проводилось по водопотреблению.

Результаты исследований и их обсуждение. Для получения высокой урожайности кукурузы и других культур в аридных условиях Египта проводится орошение. Оптимальное водообеспечение позволяет растениям формировать большую листовую поверхность, а вследствие высокой обновленности листьев лучше ориентировать их к свету. Оросительная сточная вода, обогащенная питательными веществами, способствует повышению почвенного плодородия. Она растворяет питательные вещества, делает их более подвижными и усвояемыми для растений. Чем ближе к оптимуму запасы почвенной влаги, тем сильнее положительное влияние орошения на почву, тем выше ее эффективное плодородие.

Орошение сточными водами сильно изменяет условия питания растений. Подвижные формы азота, передвигаясь в зону действия активной корневой системы, улучшают питание растений.

Однако поливы чрезмерно большими нормами вымывают азот за пределы активной зоны, и тогда азотное питание растений ухудшается. При поливах сточными водами в почву поступают загрязняющие вещества химического и биологического происхождения. Поэтому при орошении стоками необходимо вести постоянный контроль за состоянием почвы. Почва, увлажненная экологически допустимыми нормами сточных вод, обладает лучшей рыхлостью, меньшей твердостью и удельным сопротивлением, меньше распыляется при обработке. Но сохранить эти свойства при орошении сточными водами можно лишь при соблюдении ряда условий: применением в севообороте комплекса агротехнических приемов, соответствующих способов и техники полива с соблюдением строго нормированной подачи поливной воды.

Нерациональный режим орошения отрицательно действует на физические свойства почвы: увеличивается плотность сложения, уменьшается пористость и водопроницаемость, ухудшается структура, развивается ирригационная эрозия. Оптимальное поступление оросительной воды снижает концентрацию почвенного раствора, способствуя тем самым растворению минеральных веществ. Регулирование водного режима растений на заданном уровне во все фазы вегетации в конечном итоге определяет их продуктивность и качество урожая.

Орошение искусственным путем повышает значение индекса засушливости климата, делает его равным или близким единице. Таким образом создаются благоприятные условия для улучшения свойств почв, прежде всего водно-физических, и повышения плодородия почвы.

Наиболее благоприятно биологические процессы в почве протекают при поддержании в почве предполивной влажности почвы на уровне 70—80% НВ (наименьшей влагоемкости) и проведении своевременных обработок почвы.

В нашем опыте поливной режим кукурузы принимался согласно общепринятым рекомендациям, разработанным в Египте и используемым при возделывании кукурузы на зеленую массу и зерно. Контроль за проведением сроков поливов осуществлялся по морфологическим признакам растений кукурузы. На аллювиальных и пустынных почвах для получения дружных всходов кукурузы ежегодно проводился предпосевной полив нормой 1000 м³/га. В период посева почва остается иссушенной, так как в это время осадки не выпадают и необходимо увлажнение для появления всходов растений.

На аллювиальных почвах озерного происхождения для возделывания кукурузы на зеленую массу в 2008—2009 гг. потребовалось проведение 10 поливов нормами 600—800 м³/га (табл. 1). По годам исследований оросительная норма составляла 6800 и 6700 м³/га в вегетационные периоды кукурузы в 2008 и 2009 гг. соответственно. При этом межполивные интервалы были растянуты и составляли в начальный период вегетации 11—13 дней, а затем уменьшались до 9—10 дней, в то же время поливные нормы в течение вегетации увеличивались от 600 до 750 м³/га. Последний полив был проведен нормой 600 м³/га 20—21 августа. Оросительный период в среднем составлял 96 суток (с 14—18 мая по 20—21 августа). На пустынной серо-бурой почве количество поливов составляло 11 и было больше на один по сравнению с числом поливов на аллювиальной почве, а оросительная норма при этом увеличилась на 1550—1650 м³/га, или на 23—24%. Эти различия

обусловлены более жестким термическим режимом и другими особенностями погодных условий. Во все годы исследований в вегетационный период кукурузы осадки практически не выпадали, межполивные периоды были небольшими и изменялись в пределах 9—11 дней.

Таблица 1

Нормы и сроки поливов кукурузы на зеленую массу при ее возделывании на аллювиальных почвах озерного происхождения в 2008—2009 гг.

Номер полива	2008 г.		2009 г.	
	Дата полива	Норма полива, м ³ /га	Дата полива	Норма полива, м ³ /га
1	17 мая	600	14 мая	600
2	29 мая	600	27 мая	600
3	10 июня	700	8 июня	700
4	21 июня	700	19 июня	700
5	2 июля	700	30 июня	700
6	12 июля	700	10 июля	700
7	22 июля	750	30 июля	700
8	1 августа	750	26 июля	700
9	11 августа	700	9 августа	700
10	21 августа	600	20 августа	600
Оросительная норма, м ³ /га		6 800	—	6 700

На пустынной серо-бурой почве поливные нормы были больше, чем при поливах кукурузы на аллювиальной почве, и составляли 600—800 м³/га. Причем в начальный период вегетации кукурузы они принимались меньше (600 м³/га), затем, начиная с 5—9 листа, увеличивались до 800 м³/га (табл. 2). Оросительная норма в 2008 и 2009 гг. составляла 8350 и 8250 м³/га соответственно.

Таблица 2

Нормы и сроки поливов кукурузы на зеленую массу при ее возделывании на пустынных серо-бурых почвах в 2008—2009 гг.

Номер полива	2008 г.		2009 г.	
	Дата полива	Норма полива, м ³ /га	Дата полива	Норма полива, м ³ /га
1	14 мая	600	17 мая	600
2	25 мая	700	28 мая	700
3	5 июня	750	8 июня	700
4	15 июня	800	18 июня	800
5	25 июня	800	28 июня	800
6	5 июля	800	8 июля	800
7	14 июля	800	17 июля	800
8	23 июля	800	26 июля	800
9	1 августа	800	4 августа	800
10	10 августа	800	13 августа	750
11	19 августа	700	22 августа	700
Оросительная норма, м ³ /га		8 350	—	8 250

Орошение кукурузы проводилось в период с 12—17 мая по 18—22 августа. Полученные нами данные по величине оросительной нормы согласуются с нормативными материалами Министерства ирригации Египта. Для конкретных условий суммарное водопотребление кукурузы по отчетным данным Министерства составляет 700—800 мм.

В зависимости от водного режима почв изменялся солевой режим. На процесс засоления аллювиальных и пустынных серо-бурых почв оказывало влияние множество факторов природного и антропогенного характера. Особенно ярко это про-

является в условиях аридного климата Египта, где испаряемость доминирует над осадками. Нерациональное использование оросительной воды в условиях орошения способствует засолению почв. Даже при незначительной минерализации оросительной воды наблюдается тенденция накопления солей в верхнем слое почвы. С увеличением степени минерализации оросительной воды процессы засоления почв усиливаются.

Вторичное засоление почв повсеместно отмечается на орошаемых землях Египта. Исследуемые аллювиальные почвы озерного происхождения в результате многолетнего орошения речной водой перешли из разряда незасоленных в слабозасоленные, а верхний горизонт почвы при многолетнем орошении (20 лет) сточными водами по содержанию солей характеризуется средней степенью засоления, причем подпахотные горизонты приблизились к этому уровню.

Пустынные оазисные серо-бурые почвы в процессе многолетнего орошения грунтовой водой также перешли из категории незасоленных почв в средnezасоленные. Особенно высокое содержание воднорастворимых солей отмечается в серо-бурых почвах, на которых много лет проводились поливы сточными водами. Здесь содержание солей достигало 0,8—0,9% по массе.

Наши данные (табл. 3, 4) показали, что многолетнее орошение сельскохозяйственных культур городскими сточными водами усиливает процессы вторичного засоления почв. Если при многолетнем орошении аллювиальных почв озерного происхождения речной водой содержание воднорастворимых солей в верхнем горизонте почвы составляло 0,334%, то при многолетнем орошении сточными водами оно увеличилось до 0,43%, или на 28,7%.

Таблица 3

Солевой состав водной вытяжки из аллювиальной почвы озерного происхождения на начало исследований, апрель 2008 г.

Горизонт, см	Анионы, мг-экв/100 г			Катионы, мг-экв/100 г				Сумма солей	EC _{sm-1}	SAR
	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺			
Разрез 1. Полив грунтовой водой										
Ап, 0—25	1,307*	0,142	3,695	1,617	1,326	1,938	0,227	—	0,42	1,32
	0,046*	0,009	0,177	0,032	0,016	0,045	0,009	0,334		
А, В, 25—33	1,218	0,137	3,443	1,663	1,252	1,724	0,121	—	0,37	1,42
	0,044	0,009	0,166	0,033	0,015	0,040	0,004	0,311		
В 33—70	1,137	0,128	3,316	1,802	1,296	1,594	0,105	—	0,32	1,28
	0,041	0,008	0,161	0,036	0,010	0,037	0,004	0,303		
ВС 70—95	1,015	0,119	3,214	1,092	1,175	1,348	0,092	—	0,30	1,13
	0,041	0,007	0,155	0,034	0,014	0,031	0,004	0,286		
С, более 95	0,96	0,106	2,87	1,585	1,073	1,257	0,08	—	0,28	1,09
	0,034	0,006	0,138	0,032	0,013	0,029	0,003	0,255		
Разрез 2. Многолетнее внесение сточных вод										
Ап, 0—30	1,733	0,184	4,722	2,342	1,868	2,105	0,324	—	0,51	1,45
	0,062	0,011	0,227	0,047	0,022	0,048	4,013	0,43		
А, В, 30—40	1,625	0,172	4,533	2,255	1,726	1,958	4,301	—	0,45	1,39
	0,058	0,010	0,218	0,045	0,021	0,045	0,012	0,41		
В 40—73	1,432	0,164	4,393	2,213	1,671	1,721	0,252	—	0,43	1,23
	0,051	0,010	0,211	0,044	0,020	0,040	0,010	0,39		
ВС 73—95	1,261	0,151	4,168	2,152	1,511	1,556	0,241	—	0,39	1,15
	0,045	0,009	0,200	0,043	0,018	0,036	0,009	0,36		
С, более 95	1,134	0,142	4,021	4,079	1,463	1,461	0,191	—	0,35	1,10
	0,040	0,009	0,193	0,042	0,018	0,034	0,007	0,34		

*Примечание: числитель — мг-экв/100 г почвы, знаменатель — % от массы.

Солевой состав водной вытяжки из серо-бурой почвы на начало исследований, апрель 2008 г.

Горизонт, см	Анионы, мг-экв/100 г.			Катионы, мг-экв/100 г.				Сумма солей	EC _{sm-1}	SAR
	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺			
Разрез 1. Полив грунтовой водой										
Ап, 0—12	1,95	0,21	5,51	2,79	2,31	2,39	0,18	—	0,61	1,50
	0,07	0,013	0,26	0,056	0,028	0,055	0,007	0,49		
А ₁ В, 12—36	1,79	0,19	5,05	2,51	2,16	2,19	0,15	—	0,52	1,43
	0,06	0,012	0,24	0,050	0,026	0,050	0,006	0,44		
В 36—80	1,624	0,171	4,39	2,35	1,82	1,89	0,13	—	0,45	1,31
	0,059	0,011	0,21	0,047	0,022	0,043	0,005	0,40		
BC 80—125	1,299	0,137	3,872	2,12	1,61	1,52	0,10	—	0,39	1,11
	0,047	0,009	0,186	0,042	0,019	0,035	0,004	0,34		
С, более 125	1,05	0,110	3,32	1,92	1,32	1,25	0,090	4,50	0,32	1,0
	0,037	0,007	0,159	0,038	0,016	0,029	0,004	0,29		
Разрез 2. Многолетнее внесение сточных вод										
Ап, 0—19	3,09	0,33	7,82	3,92	3,81	3,25	0,26	—	0,82	1,65
	0,11	0,02	0,38	0,08	0,046	0,075	0,01	0,72		
А ₁ В, 19—39	2,6	0,28	7,34	3,51	3,45	3,01	0,25	—	0,73	1,61
	0,09	0,017	0,35	0,07	0,041	0,069	0,01	0,65		
В 39—80	2,26	0,21	6,22	3,01	2,92	2,67	0,15	—	0,62	1,55
	0,08	0,013	0,298	0,06	0,035	0,061	0,006	0,55		
BC 80—125	1,92	0,17	4,82	2,52	2,22	2,12	0,12	—	0,54	1,38
	0,07	0,010	0,231	0,05	0,027	0,049	0,005	0,44		
С, более 125	1,74	0,12	4,21	2,25	1,92	1,81	0,09	—	0,45	1,25
	0,062	0,007	0,202	0,045	0,023	0,042	0,004	0,39		

*Примечание: числитель — мг-экв/100 г почвы, знаменатель — % от массы.

Заметное повышение содержания воднорастворимых солей проявляется также и в нижележащих горизонтах. Однако в целом аллювиальная почва при поливах кукурузы речной водой характеризуется слабой степенью засоления, причем с глубиной содержание солей снижается.

По-видимому более высокое содержание солей в верхнем слое почвы обусловлено ежегодным многолетним орошением, в результате которого вместе с оросительной водой в почву поступают воднорастворимые соли. По химизму засоления по анионам пахотный горизонт характеризуется хлоридно-сульфатным засолением.

В аллювиальной почве, орошаемой речной водой (разрез 1), отношение $SO_4^{2-} : Cl^- = 2,82$. При многолетнем орошении сточной водой аллювиальных почв (разрез 2) отношение $SO_4^{2-} : Cl^- = 2,72$. По катионам тип засоления кальциевый (при поливах речной водой). Отношение $Na^+ : (Ca^{2+} + Mg^{2+}) = 0,66$, $Mg^{2+} : Ca^{2+} = 0,82$. При многолетнем орошении сточной водой тип засоления в пахотном горизонте кальциевый. Отношение $Na^+ : (Ca^{2+} + Mg^{2+}) = 0,5$, $Mg^{2+} : Ca^{2+} = 0,80$.

Электропроводность аллювиальной почвы при поливах речной водой изменялась в пределах 0,28—0,42 $ds m^{-1}$, постепенно снижаясь по глубине. При почвенном орошении сточной водой она повысилась до 0,35—0,51 $ds m^{-1}$, что указывает на более высокое засоление почвы по сравнению с поливом речной водой. Однако электропроводность почвенного раствора в рассматриваемых разрезах свидетельствует о невысоком содержании воднорастворимых солей. На это указывают численные значения SAR, которые не превышали 1,32 и 1,45 по разрезам 1 и 2 соответственно, где орошение осуществлялось речными и сточными водами.

В связи со снижением содержания иона натрия и суммы солей с глубиной отмечается некоторое уменьшение значения SAR по глубине почвенного разреза как при поливах речной водой, так и при многолетнем внесении стоков. В целом содержание солей равномерно снижается по глубине почвенного профиля.

Иная картина содержания и распределения воднорастворимых солей отмечается в пустынной серо-бурой почве. Здесь пахотный и подпахотный горизонты содержат значительно большее количество воднорастворимых солей по сравнению с аллювиальной почвой. При поливах грунтовой водой содержание солей в пахотном горизонте в среднем составляет 0,49% от массы, а в аллювиальной почве при поливах речной водой — 0,33%, т.е. в 1,5 раза меньше.

Аналогичная зависимость наблюдается и при многолетнем внесении стоков. В пахотном горизонте пустынной серо-бурой почвы среднее содержание воднорастворимых солей составляет 0,72%, а в аллювиальной — 0,43%, т.е. в 1,7 раза больше.

Следовательно, многолетнее внесение стоков на серо-бурые почвы способствовало большему накоплению воднорастворимых солей по сравнению с аллювиальной почвой. Это обусловлено более высоким термическим режимом и повышенной испаряемостью пустынных почв в сравнении с аллювиальными почвами.

В целом пустынная серо-бурая почва характеризуется средней степенью засоления при многолетнем внесении стоков и приближается к средnezасоленным почвам при использовании на орошение грунтовых вод. Так же как и в аллювиальной, в серо-бурой почве отмечается снижение содержания суммы воднорастворимых солей по глубине. Это, по-видимому, связано с тем, что нижние горизонты почвы и материнская порода имеют природное невысокое содержание солей, а в верхний горизонт соли поступают вместе с оросительной водой. Электропроводность серо-бурой почвы при поливах грунтовой водой составляет 0,61—0,32 dsm^{-1} , а при внесении сточных вод — 0,82—0,45 dsm^{-1} , что соответствует слабой и средней степени засоления почв соответственно. По химизму засоления серо-бурые почвы по анионам относятся к хлоридно-сульфатному типу как при поливах грунтовой, так и сточной водой; отношение $\text{SO}_4^{2-} : \text{Cl}^- = 2,82—2,53$. По катионам химизм засоления серо-бурой почвы был кальциевым как при поливах грунтовой водой, так и сточной. При поливах грунтовой водой отношение $\text{Na}^+ : (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) = 0,47$, $\text{Mg}^{2+} : \text{Ca}^{2+} = 0,83$. Эти отношения при многолетнем внесении сточных вод составляли 0,42 и 0,97 соответственно.

Одинаковый химизм засоления обусловлен преобладанием в почве суммы катионов кальция и магния над катионом натрия. Показатель SAR, характеризующий степень засоления почв, составляет 1,0—1,50 при поливах грунтовой водой и 1,25—1,65 при многолетнем внесении стоков. Причем с глубиной SAR уменьшается из-за значительно меньшего содержания солей и иона натрия в почве.

Заключение. Таким образом, рассмотренные данные по формированию водно-солевого режима почв показали, что орошение сточными водами усиливает процессы засоления почв. При этом при многолетнем орошении городскими сточными водами по степени засоленная почвы переходят из разряда слабозасолен-

ных в категорию среднесоленных почв. Особенно эти процессы проявляются на пустынных серо-бурых почвах вследствие более высокой испаряемости влаги из почвы и большего объема (оросительной нормы) поступающих сточных вод. Для снижения процессов засоления необходимо ограничивать продолжительность использования сточных вод для орошения и проводить поливы экологически безопасными нормами.

На пустынных серо-бурых почвах из-за более высокого засоления по сравнению с аллювиальными (менее засоленными) почвами процессы роста и развития растений кукурузы замедлялись, что отрицательно сказалось на урожайности зеленой массы кукурузы.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Айдаров И.П., Арент К.П., Голованов А.М. и др.* Концепция мелиорации сельскохозяйственных земель в стране (проект). — М., 1992.
- [2] *Ариушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. — М.: Изд-во МГУ, 1961.
- [3] *Ковда В.А.* Происхождение и режим засоленных почв. — М.: АН СССР, 1964. — Т. 1.
- [4] *Костяков А.Н.* Основы мелиорации / Костяков А.Н. Избранные труды. — Т. 1—2. — М., 1960.
- [5] *Панкова Е.И., Айдаров И.П.* Экологические требования к качеству оросительных вод // Почвоведение. — 1995. — № 7 — С. 870—878.
- [6] *Шуравлин А.В., Кибика А.И.* Мелиорация. — М.: Экмос, 2006.
- [7] *Abbott C.L., El-Quosy D.E.D.* Soil Salinity Levels due to Reuse of Drainage Water in the Nile Delta, Egypt // HR Wallingford Report. — 1995. — № OD/TN71.

FORMATION OF WATER-SALT REGIME OF SOILS UNDER LONG-TERM IRRIGATION OF MUNICIPAL WASTEWATER IN EGYPT

**Goma Bothina Saad¹, N.I. Thernuha²,
A.V. Shuravilin¹, Elsayed Said Mohamed¹**

¹Department of soil science and agriculture

²Department of genetics, plant science and plant protection

Russian People's Friendship University

Miklukho-Maklaya str., 8/2, Moscow, Russia, 117198

The water and salt regimes of alluvial soils of lacustrine origin, and gray-brown desert soil, located in the northern part of Egypt. We consider the soil moisture regime and its formation during irrigation wastewater. Established irrigation norm for the cultivation of maize for green fodder. The processes of salinization of alluvial soils and gray-brown desert soil proved that long-term wastewater irrigation enhances the processes of colonization and saline soils when irrigated with river and groundwater into being the medium of saline.

Key words: waste water, soil and alluvial and desert, irrigation rate, water-soluble salts, water salinity, chemistry and degree of salinity, conductivity.