

УДК 631.674.6:631.413.3

ВЛИЯНИЕ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ НА ЗАСОЛЕНИЕ ПОЧВ

Воеводина Лидия Анатольевна
к.с.-х.н.

Снипич Юрий Фёдорович
к.т.н.

*Федеральное государственное научное учреждение «Российский научно исследовательский институт проблем мелиорации»,
Новочеркасск, Россия*

Чекунов Алексей Николаевич
ФГОУ СПО «Пухляковский сельскохозяйственный техникум», Пухляковская, Россия

В статье представлены результаты исследований влияния капельного орошения на процесс накопления солей при поливах водой с повышенным содержанием солей и динамику их изменения в течение зимнего периода под действием воды атмосферных осадков. Установлено, что при поливах с помощью систем капельного орошения водой сульфатно-натриевого состава в конце поливного сезона на поверхности почвы формируются зоны с повышенным содержанием солей, в которых состав солей, характеризуется присутствием гипса. В весенний период в этих зонах отмечено повышение содержания сульфата натрия, что указывает на протекание реакций обмена с почвенным поглощающим комплексом, а также о недостаточной степени промывки почвы в течение осенне-зимне-ранневесеннего периода. Весной в верхнем слое отмечался щелочной тип засоления

Ключевые слова: КАПЕЛЬНОЕ ОРОШЕНИЕ, ЧЕРНОЗЕМ, РОСТОВСКАЯ ОБЛАСТЬ, КАЧЕСТВО ВОДЫ, ЗАСОЛЕНИЕ

UDC 631.674.6:631.413.3

EFFECT OF DRIP IRRIGATION ON SOIL SALINIZATION

Voevodina Lidia Anatolyevna
Cand.Agr.Sci.

Snipich Yuriy Fyodorovich
Cand.Tech.Sci.

Federal State Scientific Establishment «The Russian scientific research institute of land improvement problems», Novocherkassk, Russia

Chekunov Alexey Nikolaevich
Federal State Educational Establishment «Puhlyakovsky agricultural college», Puhlyakovskaya, Russia

The article presents the results of researching into the effect of drip irrigation on build-up of soil salinity using water with high salt content and the dynamics of changes during winter period under atmospheric precipitation. It was established that at the end of irrigation season zones with high salt content formed on the soil surface under drip irrigation using sodium sulfate water, among these salts gypsum was presented. In spring time the increasing of sodium sulfate content was found that indicates the exchange reaction with soil exchange complex passed as well as the insufficient salt leaching occurred during the winter period. In spring time the upper soil layer characterized with alkaline type of soil salinization

Keywords: DRIP IRRIGATION, CHERNOZEM, ROSTOV REGION, WATER QUALITY, SALINAZATION

Капельное орошение в настоящее время является одним из интенсивно развивающихся способов орошения. В последние двадцать лет площади, занятые капельным орошением, расширились более чем в 6 раз и в настоящее время в мире составляют порядка 6,1 млн га [1].

В связи с ограниченностью водных ресурсов на Европейской части РФ проблема эффективного использования воды имеет особую актуальность. Являясь одним из наиболее экономичных способов использования воды для выращивания культур, капельное орошение имеет несомненную

перспективу применения при использовании местного стока, на участках сложной формы, а также в системах циклического орошения.

Капельное орошение является наиболее технически сложным и дорогостоящим способом орошения. Недостаточный учет исходных условий при проектировании и эксплуатации системы приводит к негативным результатам, когда вложенные ресурсы (финансовые, трудовые, материальные) не дают ожидаемой отдачи. При непродуманном использовании капельного орошения возможна не только потеря вложенных средств, но и нанесение вреда окружающей среде [2].

Практика применения систем капельного орошения при возделывании овощных культур на Юге России в последние годы показала, что при их проектировании и эксплуатации уделяется недостаточное внимание вопросам влияния на почвенное плодородие. В связи с этим возникла потребность в установлении влияния капельного орошения на засоление, осолонцевание (содержание поглощенного натрия), содержание нитратов, микроэлементов, минералогический состав.

Опыты по установлению влияния капельного орошения на черноземные почвы проводились в ст. Красюковская Ростовской области в пленочных теплицах на солнечном обогреве при выращивании томатов.

Почвы опытного участка принадлежат к обыкновенным черноземам. Гранулометрический состав в слое 0-20 см среднесуглинистый, в слое 40-60 см – легкоголинистый, в слоях 20-40; 60-80 и 80-100 см – тяжелосуглинистый (табл. 1). Содержание гумуса в верхнем слое 0-40 см составляет от 3,26 % до 6,39 %, содержание гумуса в верхнем слое 0-20 см посадочных грядок соответствовало повышенному и очень высокому содержанию. Обеспеченность почв фосфором и калием была высокой и очень высокой. Содержание обменных катионов колебалось от 19,70 до 34,65 мг-экв/100 г почвы, в процентах, от суммы обменных катионов содержание кальция

в среднем составило 70 %, магния – около 17 %, натрия – 6 % осенью и 0,8 % весной.

Таблица 1 – СОДЕРЖАНИЕ ФРАКЦИЙ В ПОЧВЕ
НА ОПЫТНОМ УЧАСТКЕ

Слой поч- вы, см	% содержания фракций по размерам фракций в миллиметрах						Физиче- ский песок (частицы > 0,01мм), %	Физическая глина (час- тицы < 0,01мм), %
	> 0,25	0,25- 0,05	0,05- 0,01	0,01- 0,005	0,005- 0,001	< 0,001		
0-20	12,47	23,33	24,59	9,13	12,72	17,78	60,39	39,63
20-40	4,34	10,85	29,76	10,19	17,48	27,38	44,95	55,05
40-60	1,16	7,19	29,31	11,55	18,41	32,38	37,66	62,34
60-80	0,74	2,34	38,16	12,81	16,62	29,33	41,24	58,76
80-100	0,49	8,24	32,15	11,49	16,93	30,7	40,88	59,12

Отбор проб почвы проводился в трех точках относительно расположения капельной линии: непосредственно под капельницей (зона О); в зоне максимального накопления солей (примерно 20 см от капельной линии) (зона М) и в середине междурядья или дорожки, в точке наиболее удаленной от капельной линии (зона Д). Отбор проб почвы для анализов был произведен осенью по окончанию поливного сезона, весной перед посадкой рассады на постоянное место и в середине вегетации (июль месяц). Глубина взятия проб до 1,0 м. Слои: 0-5 см; 0-20 см; 20-40 см; 40-60 см; 60-80 см; 80-100 см. Почвы были проанализированы на содержание гумуса, основных ионов в водной вытяжке (хлориды, сульфаты, гидрокарбонаты, ионы кальция, магния, натрия, калия), содержание обменных катионов (кальция, магния, натрия, калия и аммония) и емкости катионного обмена.

Отбор проб поливной воды проводился осенью, весной и в середине вегетационного сезона. Химический анализ поливной воды был сделан в аккредитованной эколого-аналитической лаборатории по следующим показателям: рН, плотный остаток, солевой состав (содержание хлоридов, сульфатов, бикарбонатов, ионов кальция, магния, натрия и калия), содержание соединений азота (нитратного, нитритного и аммонийного), содер-

жание марганца, железа общего, фосфатов, цинка, меди, кобальта, кадмия, никеля, свинца, содержание взвешенных веществ.

Поливная вода оценивалась по классам воды и по степени опасности развития почвенных процессов, рекомендованным С.Я. Бездниной; по основным значениям ПДК вредных веществ в водоисточниках для хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения, рекомендованным в Пособие к СНиП 2.06.03-85 для проектирования систем капельного орошения; по показателям для оценки пригодности воды для систем капельного орошения; а также по показателям для оценки опасности возникновения проблем с водопроницаемостью почвы [3, 4, 5, 6].

Обработка почвы состояла из ранневесеннего боронования, после которого было произведено покрытие теплиц прозрачной полиэтиленовой пленкой. Далее были сформированы гряды и лунки для посадки рассады. Возраст рассады составил 60-65 дней. Схема посадки томатов – $(50+90)/2$. Расстояние между растениями – 30 см.

Полив проводился с помощью щелевых капельных линий с номинальным расходом 484 л/час/100 м или 0,98 л/час для одной капельницы при давлении 7,0 м водяного столба, (10 psi). Расстояние между капельницами – 20 см, толщина капельной линии – 8 милс, внутренний диаметр – 16 мм. Капельные трубопроводы располагались посередине гряды. В качестве источника орошения использовались скважины. Поливная вода осенью 2009 года имела сульфатно-натриевый состав (табл. 2). Вода по минерализации представляет собой воду четвертого класса для почв тяжелого и среднего механического состава. Оценка качества воды по степени опасности развития неблагоприятных почвенных процессов показала, что наибольшую опасность представляют процессы развития хлоридного засоления и натриевого осолонцевания (табл. 3).

Таблица 2 – ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЛИВНОЙ ВОДЫ
НА ОПЫТНОМ УЧАСТКЕ В СТ. КРАСЮКОВСКАЯ

Срок отбора пробы	Единицы измерения	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+ и K^+
27.10.2009	мг-экв/л	17,85	25,35	6,28	11,8	9,0	28,7
	г/л	0,633	1,217	0,383	0,236	0,109	0,659
29.03.2010	мг-экв/л	23,61	21,1	7,17	15,2	7,8	28,9
	г/л	0,838	1,013	0,437	0,304	0,094	0,664
25.06.2010	мг-экв/л	18,82	17,22	6,48	12,31	8,37	21,8
	г/л	0,668	0,827	0,395	0,246	0,102	0,502

Таблица 3 – ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ ПО СТЕПЕНИ ОПАСНОСТИ
РАЗВИТИЯ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ПОЧВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Номер пробы	Класс воды по степени опасности развития процессов			
	хлоридного засоления	натриевого осолонцевания	магниевого осолонцевания	содообразования
27.10.2009 г.	четвертый	четвертый	первый	первый
29.03.2010 г.	четвертый	третий	первый	первый
25.06.2010 г.	четвертый	третий	первый	первый

Весной состав поливной воды несколько изменился. В воде повысилось содержание хлоридов (на 32 %), бикарбонатов (на 14 %) и ионов кальция (на 29 %). Снизилось содержание сульфатов (на 17 %) и магния (на 13 %), содержание ионов натрия и калия изменилось незначительно (менее 1 %).

Таким образом, можно заключить, что в осенне-зимний период, в течение которого выпало порядка 300 мм осадков, сложились условия для вымывания в грунтовые воды хлоридов, бикарбонатов и ионов кальция.

Вода атмосферных осадков является чрезвычайно агрессивной, и под ее влиянием ионы кальция почвы перешли в более подвижное состояние, что сделало возможным их миграцию в грунтовые воды. Источником кальция могут быть как растворимые соли, так и менее растворимые, такие как карбонаты кальция, который может растворяться в воде в присутствии углекислого газа, которым вода атмосферных осадков может быть насыщена порядка 9-16 мг/л [7].

Весной было отмечено повышенное содержание бикарбонатов не только в воде, но и в водной вытяжке из почв опытного участка, что является следствием растворения карбонатов кальция и магния агрессивной водой атмосферных осадков в осенне-зимне-ранневесенний период.

В результате оценки воды, по имеющимся в нашем распоряжении показателям, превышения ПДК не отмечалось (табл. 4).

Таблица 4 – ОЦЕНКА ВОДЫ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ПДК,
СТ. КРАСЮКОВСКАЯ

Наименование ингредиента	Предельно допустимая концентрация (ПДК), мг/л	27.10.2009 г.	29.03.2010 г.
Медь (Cu^{2+})	1,0	0,018	0,001
Цинк	1,0	0,124	0,01
Нитраты (по азоту)	10,0	0,52	2,71
Свинец (Pb^{2+})	0,1	0,0075	0,007
Аммиак (по азоту)	2,0	1,4	–

По результатам оценки пригодности воды для капельного орошения, с помощью таблицы 5 «Показателей для оценки пригодности воды для систем капельного орошения» выявлено, что использование поливной воды из скважины на опытном участке в ст. Красюковская может привести к возникновению проблем с засорением капельниц (табл. 6). Если степень сложности проблем, связанных с физическим засорением из-за наличия взвешенных веществ в поливной воде, соответствует незначительной степени сложности, то степень сложности проблем, которые могут возникнуть в результате химического засорения, обусловленного повышенным рН и минерализацией воды, характеризуется как высокая. Также проблемой средней степени сложности является проблема засорения капельниц из-за повышенного содержания общего железа и марганца в поливной воде. Данные по содержанию сероводорода в поливной воде в настоящее время отсутствуют.

**Таблица 5 – ПОКАЗАТЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРИГОДНОСТИ
ВОДЫ ДЛЯ СИСТЕМ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ**

Компонент, содержащийся в воде	Степень сложности проблемы		
	незначительная	средняя	высокая
Влияние на засорение капельниц			
<i>Физическое засорение</i>			
Взвешенные вещества, мг/л	< 50	50-100	> 100
<i>Химическое засорение</i>			
рН	< 7	7-8	> 8
Железо (Fe), мг/л	< 0,1	0,1-1,5	> 1,5
Марганец (Mn), мг/л	< 0,1	0,1-1,5	> 1,5
Сероводород (H ₂ S), мг/л	< 0,2	0,2-2,0	> 2,0
Минерализация, мг/л	< 500	500-2000	> 2000
<i>Биологическое засорение</i>			
Количество бактерий, шт./л	< 10000	10000-50000	> 50000
Влияние на урожайность культуры			
Электропроводность (ЕС), мСм/см	< 0,75	0,75-3,0	> 3,0
Нитраты, мг/л	< 5	5-30	> 30
Токсичность отдельных ионов			
Бор, мг/л	< 0,7	0,7-3,0	> 3,0
Хлорид, мг/л	< 142	142-355	> 355
Хлорид, мг-экв/л	< 4	4-10	> 10,0
Натрий (SAR)	< 3,0	3-9	> 9

**Таблица 6 – ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ ПОЛИВНОЙ ВОДЫ
ДЛЯ СИСТЕМ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ В СТ. КРАСЮКОВСКАЯ**

Компонент, содержащийся в воде	Дата отбора пробы	
	27.10.2009 г.	29.03.2010 г.
1	2	3
Влияние на засорение капельниц		
<i>Физическое засорение</i>		
Взвешенные вещества, мг/л	н/д ¹	13 ²
	н/д	Незначительная ³
<i>Химическое засорение</i>		
рН	7,8	7,8
	высокая	высокая
Железо (Fe), мг/л	н/д	0,63
	н/д	средняя
Марганец (Mn), мг/л	0,364	0,18
	средняя	средняя
Сероводород (H ₂ S), мг/л	н/д	н/д
	н/д	н/д
Минерализация, мг/л	3611	3488
	высокая	высокая

Продолжение таблицы 6

1	2	3
<i>Биологическое засорение</i>		
Количество бактерий, шт./л	н/д	н/д
	н/д	н/д
Влияние на урожайность культуры		
ЕС, мСм/см	5,1 ⁴	5,2 ⁴
	высокая	высокая
Нитраты, мг/л	2,3	12
	незначительная	средняя
Токсичность отдельных ионов		
Бор, мг/л	н/д	н/д
	н/д	н/д
Хлорид, мг/л	633	838
	высокая	высокая
Натрий (SAR)	8,89	8,52
	средняя	средняя
Примечания: 1 – нет данных; 2 – в верхней строке указаны значения показателя; 3 – в нижней строке указана оценка в соответствии с таблицей 70; 4 – данные получены с помощью усредненного переводного коэффициента (0,0015625 x минерализация, мг/л).		

Влияние данной воды на урожайность характеризуется высокой степенью сложности проблем, обусловленных повышенным значением электропроводности и повышенным содержанием нитратов в весенних пробах воды. Высокое содержание нитратов может быть вызвано высокой подвижностью данных ионов, которые были вымыты, подобно хлоридам, в грунтовые воды в осенне-зимний период. В то же время грунтовые воды, которые используются для полива, могут быть источником азота для растений, который следует учитывать при внесении удобрений.

Наибольшую настороженность при использовании капельного орошения вызывают проблемы, связанные с образованием на поверхности почвы пятен или полос с повышенным содержанием солей.

По результатам анализов почвы, отобранных осенью, было обнаружено, что в результате орошения к концу вегетации наибольшее скопление водорастворимых солей отмечено в верхнем слое 0-20 см в зоне М. Тип засоления – нейтральный. Химизм засоления – сульфатно-хлоридный. По степени засоления почва очень сильно засолена.

Тип засоления осенью 2009 года и весной 2010 года представлен в таблице 7. Тип засоления осенью 2009 года в зоне Д по всем слоям был нейтральным. В зоне М только в слое 40-60 см тип засоления был щелочной. В зоне О щелочному типу засоления соответствовали почвы в слоях с глубины 20 см до глубины 80 см. Весной тип засоления остался щелочным в зоне О в слое 20-40 см и в зоне М в слое 40-60 см. Наибольшие изменения произошли в верхнем слое 0-20 см. В нем тип засоления с нейтрального изменился на щелочной. Изменения в также произошли в слое 20-40 см в зоне М. В зоне О тип засоления изменился в слоях 40-60 см и 60-80 см со щелочного на нейтральный.

Таблица 7 – ТИП ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВЫ НА УЧАСТКЕ
В СТ. КРАСЮКОВСКАЯ

Слой почвы, см	Осень 2009 г.			Весна 2010 г.		
	О	М	Д	О	М	Д
0-20	Н	Н	Н	щелочной	щелочной	щелочной
20-40	щелочной	Н	Н	щелочной	щелочной	Н
40-60	щелочной	щелочной	Н	Н	щелочной	Н
60-80	щелочной	Н	Н	Н	Н	Н
80-100	Н	Н	Н	Н	Н	Н
Примечание Н – нейтральный тип засоления						

Химизм засоления осенью 2009 года и весной 2010 года представлен в таблице 8.

Таблица 8 – ХИМИЗМ ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВЫ НА УЧАСТКЕ
В СТ. КРАСЮКОВСКАЯ

Слой поч- вы, см	Осень 2009 г.			Весна 2010 г.		
	О	М	Д	О	М	Д
0-20	хлоридно-сульфатный	сульфатно-хлоридный	хлоридно-сульфатный	сульфатно-содовый	сульфатно-содовый	сульфатно-содовый
20-40	хлоридно-содовый	сульфатно-хлоридный	сульфатно-хлоридный	сульфатно-содовый	сульфатно-содовый	сульфатный
40-60	хлоридно-содовый	хлоридно-содовый	хлоридно-сульфатный	хлоридно-сульфатный	сульфатно-содовый	сульфатный
60-80	хлоридно-содовый	сульфатно-хлоридный	хлоридно-сульфатный	сульфатно-хлоридный	хлоридно-сульфатный	хлоридно-сульфатный
80-100	хлоридно-сульфатный	сульфатно-хлоридный	хлоридно-сульфатный	хлоридно-сульфатный	сульфатный	хлоридно-сульфатный

Анализ химизма засоления в осенний и весенний период показал, что хлориды были вымыты из метрового слоя почвы и в почвенном растворе стали преобладать сульфаты, а в верхних слоях гидрокарбонаты. В весенний период в верхнем слое почвы проявилось влияние содового химизма засоления. Воздействие воды атмосферных осадков наиболее сильно проявилось в верхних 20 см. Слой почвы 40-60 см являлся своеобразной границей, выше которой почва промывалась от солей, а ниже – воздействие воды атмосферных осадков становилось незначительным, либо соли, растворенные в верхних слоях, проникали в слои глубже 60 см.

Оценка степени засоления по общему количеству солей представлена в таблице 9. При оценке степени засоления по сумме токсичных солей отличия были только в верхнем слое 0-20 см в зоне М, которые по сравнению с сильнозасоленной степенью по общей сумме солей соответствовали средnezасоленной степени.

Таблица 9 – СТЕПЕНЬ ЗАСОЛЕНИЯ ПО ОБЩЕМУ КОЛИЧЕСТВУ СОЛЕЙ СТ. КРАСЮКОВСКАЯ

Слой почвы, см	Осень 2009 г.			Весна 2010 г.		
	О	М	Д	О	М	Д
0-20	незасоленные	очень сильнозасоленные	незасоленные	незасоленные	незасоленные	незасоленные
20-40	слабозасоленные	слабозасоленные	незасоленные	незасоленные	незасоленные	незасоленные
40-60	слабозасоленные	слабозасоленные	незасоленные	незасоленные	незасоленные	незасоленные
60-80	слабозасоленные	слабозасоленные	слабозасоленные	слабозасоленные	незасоленные	слабозасоленные
80-100	незасоленные	слабозасоленные	незасоленные	незасоленные	незасоленные	незасоленные

Осенью наиболее засоленной зоной являлась зона М, верхний слой которой характеризовался как очень сильно засоленный, ниже расположенные слои соответствовали слабой степени засоления. Весной все слои этой зоны стали незасоленными.

Весной все слои почвы во всех зонах характеризовались как незасоленные, кроме слоя 60-80 см в зонах О и Д. Можно предположить, что

в этом слое происходило некоторое накопление солей. Еще одно предположение касается того, что изменение степени засоления наиболее сильно проявилось в зоне М, поэтому можно предположить, что более засоленные слои способствовали лучшей фильтрации воды и рассолению почвы, по крайней мере, до глубины 1,0 м.

Содержание ионов хлоридов по результатам анализа водной вытяжки из почвы представлено в таблице 10. По результатам анализов, проведенных весной, отмечено, что в верхних слоях 0-20 и 20-40 см содержание ионов хлорида уменьшилось, наиболее значительно в верхнем слое 0-20 см в зоне М на 1,6 мг-экв/100 г почвы и составило 0,12 мг-экв/100 г почвы. Такие же значения содержания хлоридов в верхнем слое 0-20 см были и в зонах О и Д.

Таблица 10 – СОДЕРЖАНИЕ ИОНОВ ХЛОРИДОВ
В СТ. КРАСЮКОВСКАЯ

Слой почвы, см	Осень 2009 г.			Весна 2010 г.		
				Изменения по отношению к осенним результатам		
	О	М	Д	О	М	Д
	мг-экв/100 г почвы					
0-20	0,29	1,72	0,76	-0,17	-1,6	-0,64
20-40	0,57	0,57	0,48	-0,43	-0,45	-0,34
40-60	0,48	0,67	0,38	0,09	-0,44	-0,09
60-80	0,48	0,57	0,76	0,57	-0,21	0,2
80-100	0,48	0,57	0,57	0,38	-0,38	0,39

Повышение содержания хлоридов отмечено в нижних слоях в зонах О и Д. Так в зоне О в слое 60-80 см содержание хлоридов повысилось на 0,57 мг-экв/100 г почвы, а в слое 80-100 см в зонах О и Д на 0,38 и 0,39 мг-экв/100 г почвы соответственно.

Таким образом, содержание хлоридов снизилось в верхних слоях до глубины 40 см на 0,17-1,6 мг-экв/100 г почвы, что указывает на активное воздействие воды атмосферных осадков в течение осенне-зимнего периода. В зонах О и Д в нижних слоях с глубины 60 см до 100 см содержание

хлоридов повысилось, что свидетельствует о перемещении этих ионов из верхних в нижние слои. В зоне М по всем слоям произошло снижение содержания ионов хлорида, что несколько странно, т.к. вымывание здесь хлоридов отмечается по всему метровому профилю в отличие от зон О и Д, в которых вымывание отмечалось только до глубины 40 см, а слой 40-60 см был своеобразной переходной границей, выше которой происходило вымывание хлоридов, а ниже – их накопление.

Содержание ионов сульфатов по результатам анализа водной вытяжки из почвы представлено в таблице 11.

Таблица 11 – СОДЕРЖАНИЕ ИОНОВ СУЛЬФАТОВ
В СТ. КРАСЮКОВСКАЯ

Слой почвы, см	Осень 2009 г.			Весна 2010 г.		
				Изменения по отношению к осенним результатам		
	О	М	Д	О	М	Д
	мг-экв/100 г почвы					
0-20	0,38	1,21	1,49	0,25	-0,84	-1,20
20-40	0,26	0,46	0,26	0,40	0,25	1,49
40-60	0,41	0,13	0,47	0,80	0,51	2,32
60-80	0,16	0,39	1,57	0,76	0,55	0,04
80-100	0,55	0,29	1,34	0,75	1,14	-0,20

По результатам анализов, проведенных весной, отмечено, что в верхнем слое 0-20 см в зонах М и Д произошло снижение содержания сульфатов на 0,84 и 1,2 мг-экв/100 г почвы соответственно. Во всех остальных зонах и слоях содержание сульфатов увеличилось наиболее значительно в слое 40-60 см в зоне Д на 2,32 мг-экв/100 г почвы.

Вероятно, что в течение осенне-зимнего периода воздействие атмосферных осадков повлияло на подвижность соединений сульфатов, например гипса, который растворился и перешел в почвенный раствор, что и повысило содержание сульфатов в водной вытяжке.

Содержание ионов гидрокарбоната весной в верхних слоях 0-20 и 20-40 см всех зон повысилось (табл. 12). Наиболее значительно в слое

0-20 см на 0,47 мг-экв/100 г почвы в зоне О и на 0,26 мг-экв/100 г почвы в зонах М и Д. Снижение содержания ионов гидрокарбоната отмечено в нижних слоях 60-80 и 80-100 см, однако в слое 60-80 см в зоне М и в слое 80-100 см в зоне Д отмечено незначительное повышение их содержания. Несомненно, что на повышение содержания ионов гидрокарбоната оказала влияние вода атмосферных осадков осенне-зимне-ранневесеннего периода.

Таблица 12 – СОДЕРЖАНИЕ ИОНОВ ГИДРОКАРБОНАТА
В СТ. КРАСЮКОВСКАЯ

Слой почвы, см	Осень 2009 г.			Весна 2010 г.		
				Изменения по отношению к осенним результатам		
	О	М	Д	О	М	Д
	мг-экв/100 г почвы					
0-20	0,41	0,64	0,62	0,47	0,26	0,26
20-40	0,74	0,72	0,47	0,1	0,12	0,15
40-60	0,74	0,88	0,47	-0,13	-0,02	0,09
60-80	0,8	0,68	0,64	-0,37	0,04	-0,08
80-100	0,56	0,62	0,49	-0,07	-0,04	0,03

По результатам анализов, проведенных весной, отмечено, что в верхнем слое 0-20 см произошло снижение содержания ионов кальция (табл. 13). Наиболее значительное в зоне М на 1,1 мг-экв/100 г почвы, в результате содержание ионов кальция весной в водной вытяжке составило 0,4 мг-экв/100 г почвы.

Таблица 13 – СОДЕРЖАНИЕ ИОНОВ КАЛЬЦИЯ
В СТ. КРАСЮКОВСКАЯ

Слой почвы, см	Осень 2009 г.			Весна 2010 г.		
				Изменения по отношению к осенним результатам		
	О	М	Д	О	М	Д
	мг-экв/100 г почвы					
0-20	0,40	1,50	1,2	-0,1	-1,1	-0,8
20-40	0,40	0,50	0,6	0	0	0,8
40-60	0,50	0,50	0,5	0,1	0	1,3
60-80	0,50	0,4	1,2	0,1	0,2	0,2
80-100	0,50	0,5	0,9	0,1	0,2	-0,1

В слое 20-40 см в зонах О и М изменений в содержании ионов кальция не отмечено. В зоне Д если в верхнем слое 0-20 см произошло снижение содержания ионов кальция на 0,8 мг-экв/100 г почвы, в слое 20-40 см на такую же величину произошло их повышение. Ниже слоя 40-60 см произошло некоторое повышение содержания ионов кальция, кроме слоя 80-100 см в зоне Д, в котором отмечено повышение на 0,1 мг-экв/100 г почвы.

По результатам анализов, проведенных весной, отмечено снижение содержание водорастворимого магния в верхнем слое 0-20 см на 0,2 мг-экв/100 г почвы в зоне М и на 0,4 мг-экв/100 г почвы в зоне Д (табл. 14). Как и в случае с кальцием, изменений в содержании магния в слое 20-40 см в зонах О и М не произошло, изменений в содержании ионов магния также не отмечено в зоне М в слоях 40-60 и 80-100 см, а также в зоне Д в слое 60-80 см. В остальных зонах и слоях отмечено некоторое повышение содержания ионов магния, кроме слоя 60-80 см в зоне М, где отмечалось незначительное снижение его содержания.

Таблица 14 – СОДЕРЖАНИЕ ИОНОВ МАГНИЯ
В СТ. КРАСЮКОВСКАЯ

Слой почвы, см	Осень 2009 г.			Весна 2010 г.		
				Изменения по отношению к осенним результатам		
	О	М	Д	О	М	Д
	мг-экв/100 г почвы					
0-20	0,3	0,5	0,7	0,1	-0,2	-0,4
20-40	0,2	0,3	0,2	0	0	0,1
40-60	0,2	0,3	0,3	0,2	0	0,3
60-80	0,2	0,4	0,4	0,1	-0,1	0
80-100	0,3	0,2	0,3	0,1	0	0,3

Вероятно, как и в случае с кальцием, магний в осенне-зимний период переходит в почвенный поглощающий комплекс.

К концу поливного сезона 2009 года содержание натрия в верхнем слое 0-20 см в зоне М доходило до 1,3 мг-экв/100 г почвы (табл. 15). По результатам анализов, проведенных весной, отмечено, что в верхнем слое

0-20 см снижение содержания натрия произошло лишь в зонах М и Д, в зоне О отмечено повышение содержания ионов натрия во всех слоях. В целом, можно сказать, что содержание натрия в водной вытяжке повысилось. Это может быть связано с переходом поглощенного натрия из ППК в почвенный раствор.

Снижение содержания водорастворимого натрия в весенний период в зоне М характеризовалось меньшими величинами по сравнению с водорастворимым кальцием, а в зоне О произошло даже увеличение содержания водорастворимого натрия, что и обусловило щелочную реакцию верхнего слоя почвы.

Таблица 15 – СОДЕРЖАНИЕ ИОНОВ НАТРИЯ В СТ. КРАСЮКОВСКАЯ

Слой почвы, см	Осень 2009 г.			Весна 2010 г.		
				Изменения по отношению к осенним результатам		
	О	М	Д	О	М	Д
	мг-экв/100 г почвы					
0-20	0,34	1,3	0,55	0,35	-0,74	-0,24
20-40	0,77	0,82	0,29	0,09	-0,1	0,17
40-60	0,84	0,74	0,41	0,29	0,1	0,39
60-80	0,69	0,7	1,02	0,47	0,21	-0,03
80-100	0,72	0,64	0,88	0,25	0,22	0,03

К результатам анализов водных вытяжек мы применили подход выделения гипотетических солей (табл. 16). В зоне О при наиболее активном воздействии поливной воды образование гипса CaSO_4 по всему метровому почвенному профилю не отмечено. К концу поливного сезона в зоне М в верхнем слое 0-20 см произошло накопление гипса порядка 0,86 мг-экв на 100 г почвы или 0,059 г на 100 г почвы, если допустить, что полосы почвы соответствующие свойствам зоны М составляют около 38 % от общей площади поля, то на поле в верхнем слое 0-20 см содержалось порядка 430-490 кг/га гипса (при плотности верхнего слоя в пределах 1,0-1,2 т/м³).

Таблица 16 – ГИПОТЕТИЧЕСКИЕ СОЛИ В ПОЧВЕ
СТ. КРАСЮКОВСКАЯ

Слой почвы, см	Ca(HCO ₃) ₂	Mg(HCO ₃) ₂	NaHCO ₃	CaSO ₄	CaCl ₂	MgSO ₄	MgCl ₂	Na ₂ SO ₄	NaCl	KCl
	мг-экв/100 г почвы									
Зона О, осень 2009 г.										
0-20	0,4	0,01				0,29		0,09	0,25	0,04
20-40	0,4	0,2	0,14					0,26	0,37	0,2
40-60	0,5	0,2	0,04					0,41	0,39	0,09
60-80	0,5	0,2	0,1					0,16	0,43	0,05
80-100	0,5	0,06				0,24		0,31	0,41	0,07
Зона О, весна 2010 г.										
0-20	0,3	0,4	0,18					0,51		0,12
20-40	0,4	0,2	0,24					0,62		0,14
40-60	0,6	0,01				0,39		0,82	0,31	0,26
60-80	0,43			0,17		0,3		0,45	0,71	0,34
80-100	0,49			0,11		0,4		0,79	0,18	0,68
Зона М, осень 2009 г.										
0-5	0,41			3,48	2,71		2,4		4,21	0,57
0-20	0,64			0,86		0,35	0,15		1,3	0,27
20-40	0,5	0,22				0,08		0,38	0,44	0,13
40-60	0,5	0,3	0,08					0,13	0,53	0,14
60-80	0,4	0,28				0,12		0,27	0,43	0,14
80-100	0,5	0,12				0,08		0,21	0,43	0,14
Зона М, весна 2010 г.										
0-20	0,4	0,3	0,2					0,36		0,12
20-40	0,5	0,3	0,04					0,68		0,12
40-60	0,5	0,3	0,06					0,78	0,14	0,09
60-80	0,6	0,12				0,18		0,76	0,15	0,21
80-100	0,58			0,12		0,2		0,86		0,19
Зона Д, осень 2009 г.										
0-20	0,62			0,58		0,7		0,21	0,34	0,42
20-40	0,47			0,13		0,13	0,07		0,29	0,12
40-60	0,47			0,03		0,3		0,14	0,27	0,11
60-80	0,64			0,56		0,4		0,61	0,41	0,35
80-100	0,49			0,41		0,3		0,63	0,25	0,32
Зона Д, весна 2010 г.										
0-20	0,4	0,3	0,18					0,13		0,12
20-40	0,62			0,78		0,3		0,67		0,14
40-60	0,56			1,24		0,6		0,95		0,29
60-80	0,56			0,84		0,4		0,37	0,62	0,34
80-100	0,52			0,28		0,6		0,26	0,65	0,31

Дополнительно мы проанализировали самый верхний слой почвы 0-5 см, где накопление солей визуально обнаруживалось наиболее явно. При применении подхода по выделению гипотетических солей нами была обнаружена соль хлорида кальция. Если данное соединение действительно присутствует на поверхности почвы, то, растворяясь под действием атмосферных осадков, оно образует на поверхности почвы концентрированный раствор, который препятствует замерзанию почвы, поэтому почва дольше остается незамерзшей и может впитывать зимние осадки, что может быть причиной лучшего вымывания солей в зоне М. (Водные растворы хлорида кальция замерзают при низких температурах (20%-ный – при минус 18,57 °С, 30%-ный – при минус 48 °С). Кроме того, данное вещество может повышать растворимость гипса, т.к., по литературным данным [8], растворимость гипса увеличивается в присутствии других солей, т.е. в данном случае – хлоридов.

Зона М при поливах капельным способом характеризуется замедлением движения воды по сравнению с зоной О. Здесь концентрация почвенного раствора повышается, а при повышении концентрации соли начинают выпадать в осадок и тем самым выходить из раствора. Первыми в осадок будут выпадать наименее растворимые соли, это карбонаты кальция и магния, сульфаты кальция и магния. Анализы по определению карбонатов в почве были заказаны в эколого-аналитической лаборатории института, но, ввиду недостаточной освоенности методики, сделаны не были. Поэтому можно только предположить, что они имеются в наличии в верхнем слое 0-20 см в зоне М. Наличие водорастворимой соли гипса установлено с помощью гипотетических солей. Его содержание фиксируется там, где движение поливной воды незначительное, в зоне Д и в верхнем слое 0-20 см в зоне М. В верхнем слое 0-20 см зоны М происходит наиболее интенсивное испарение с поверхности почвы, т.к. температура почвы здесь высокая и имеется постоянный приток воды, с этим током воды в зону по-

ступают соли. При повышении концентрации почвенного раствора происходит выпадение солей в осадок, который в виде белого налета можно видеть на расстоянии примерно 20 см от капельной линии.

В зоне М осенью в верхнем слое 0-20 см также произошло накопление солей магния и натрия, соли натрия находились в почвенном растворе в виде NaCl , соединений Na_2SO_4 обнаружено не было. Весной содержание NaCl не обнаруживалось, т.к. произошло снижение содержания хлоридов. Однако появился Na_2SO_4 , которого не было осенью.

Магний в почвенном растворе в слое 0-20 см осенью присутствовал в виде двух соединений MgSO_4 и MgCl_2 . Весной данные соединения не обнаружены, что, скорее всего, связано с поглощением магния ППК и обменом на натрий. Вероятно, это является причиной повышения содержания магния в ППК в этом слое.

Весной верхние слои в зоне М уже не содержали гипс, в то же время повысилось содержание водорастворимых солей натрия: Na_2SO_4 и NaHCO_3 . Если осенью в верхнем слое 0-20 см Na_2SO_4 отсутствовал, то весной его содержание составило 0,36 мг-экв на 100 г почвы. Наличие в почвенном растворе Na_2SO_4 указывает на прошедшие реакции обмена с ППК, при котором произошло поглощение кальция ППК и выделение натрия в почвенный раствор. Вероятно, что именно наличие гипса в осенний период в этой зоне повлияло на то, что весной данная зона была наиболее промытой от солей, в ней все слои весной характеризовались как незасоленные. В верхнем слое 0-20 см отмечено также самое большое абсолютное снижение содержания солей, которое составило 4,36 мг-экв/100 г почвы.

В зоне Д значительное уменьшение содержания солей отмечено в верхнем слое 0-20 см, в то же время в слоях 20-40 и 40-60 см произошло их накопление. Вероятно, это связано с тем, что в зоне Д расположена дорожка, которая в течение поливного сезона была уплотнена, т.к. по ней происходили перемещения, связанные с уходом за растениями и уборкой

урожая. Поэтому в осенне-зимний период атмосферные осадки проникали только в верхний слой, а в слои расположенные глубже проникновение воды было ограничено. Так как зона М характеризовалась наибольшим снижением содержания солей, возможно, что соли из этой зоны были вымыты в слои 20-40 и 40-60 см зоны Д. Повышение содержания солей в зоне О также может быть связано с тем, что соли, накопившиеся в зоне М в осенний период, были разбавлены атмосферными осадками в осенне-зимний период и перераспределились по поверхности почвы.

Выводы

Было установлено, что при поливах с помощью систем капельного орошения водой сульфатно-натриевого состава происходит накопление солей на поверхности почвы на расстоянии примерно 20 см от капельного трубопровода, что соответствует примерно середине радиуса распространения увлажненного контура. Полоса с повышенным накоплением солей составляет примерно 38 % от общей площади поля. В данной зоне осенью (по завершению поливного сезона) состав солей, полученный нами с помощью допущения об образовании гипотетических солей, характеризовался присутствием гипса. В весенний период присутствие гипса в этой зоне не обнаруживалось, в то же время отмечено повышение содержания Na_2SO_4 , что позволило нам сделать вывод о протекании реакций обмена с ППК, в результате этих реакций произошло поглощение кальция почвенным поглощающим комплексом и выход поглощенного натрия в почвенный раствор. Однако присутствие данной соли свидетельствует также о недостаточной степени промывки почвы в течение осенне-зимне-ранневесеннего периода.

Также было обнаружено, что наиболее интенсивно процесс рассоления происходил именно в наиболее засоленной зоне (зона М), если осенью данная зона характеризовалась как сильно засоленная в верхнем слое

0-20 см и слабозасоленная по всем остальным слоям, то весной все слои данной зоны были незасоленными.

Установлено, что весной тип засоления в верхнем слое 0-20 см по всем зонам изменился с нейтрального (осенью) на щелочной, что связано с появлением в почвенном растворе соли NaHCO_3 .

Литература

1. Reinders F.B. Micro-irrigation: world overview on technology and utilization // Keynote address at the opening of the International Micro-Irrigation Congress in Kuala Lumpur. – Malaysia, 2006.
2. Снипич Ю.Ф. Техника и технология орошения в современных условиях землепользования // Мелиорация и водное хозяйство. – 2006. – № 6. – С. 28-30.
3. Безднина С.Я. Экологические основы водопользования. – М.: ВНИИА, 2005. – 224 с.
4. Капельное орошение // Пособие к СНиП 2.06.03-85 «Мелиоративные системы и сооружения». – Москва, 1986. – 150 с.
5. Воеводина Л.А. Оценка качества воды для систем капельного орошения // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск: ООО «Геликон», 2009. – Вып. 42. – С. 174-179.
6. Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality (2000). – Volume 3. – Chapter 9 – Primary Industries. – 9.2 Water quality for irrigation and general use // <http://www.gfmwq-guidelines-vol3-9-2.pdf>.
7. Абдрахманов Р.Ф., Чалов Ю.Н., Абдрахманова Е.Р. Пресные подземные воды Башкортостана. – Уфа: Информреклама, 2007. – 184 с.
8. Орлов Д.С. Химия почв: Учебник. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985. – 376 с.