

УДК 631.41:631.67.03

ИЗМЕНЕНИЕ СОЛЕВОГО СОСТАВА ПОЧВ ПРИ ОРОШЕНИИ СОЛОНОВАТЫМИ ВОДАМИ В СТЕПНОМ КРЫМУ¹

© 2022 г. О. Е. Клименко^а *, А. П. Евтушенко^а, Н. И. Клименко^а^а Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН,
спуск Никитский, 52, Ялта, 298648 Россия

*e-mail: olga.gnbs@mail.ru

Поступила в редакцию 29.03.2022 г.

После доработки 08.06.2022 г.

Принята к публикации 29.06.2022 г.

Оценено влияние солоноватых артезианских вод, используемых для орошения садов в Присивашье Крыма капельным способом, на солевой состав и состав обменных катионов двух почв, находящихся на разном расстоянии от оз. Сиваш. Наблюдения динамики минерализации и солевого состава оросительных вод на протяжении 3 лет (2019–2021 гг.) показывают, что воды являются нейтральными, слабо(средне)солоноватыми с минерализацией 1.5–3.4 г/л сульфатно-хлоридного натриевого кальциевого состава. Минерализация вод увеличивалась во времени и по мере приближения к оз. Сиваш. В водах наблюдается высокое содержание хлоридов (15–25 ммоль(экв)/л), сульфатов (6–31 ммоль(экв)/л) и Ca^{2+} (14–26 ммоль(экв)/л). Локальное увлажнение почв способствовало локальному слабому сульфатно-хлоридному и хлоридному магниевому-натриевому засолению, токсичному для плодовых культур. Изменение суммы солей в почве имело пульсирующий режим: показатель увеличивался осенью после поливного сезона и уменьшался весной за счет вымывания солей пресными атмосферными осадками в глубину профиля и в стороны от ряда. Слабосолоноватые воды с минерализацией 1.5–2.7 г/л и SAR 2–4 вызывали осолонцевание агрозома сегрегационного до 6–8% обменного Na^+ от суммы катионов, максимально по линии ряда. Воды с минерализацией более 3 г/л и SAR 3–7 способствовали увеличению содержания обменного Na^+ до 9–10% от суммы катионов в агрозоле квазиглееватом слабосолонцеватом. В условиях прогрессирующего засоления поливных вод и почв необходимо продолжать мониторинг солевого состава и обменных процессов в орошаемых почвах.

Ключевые слова: солоноватые артезианские воды, капельное орошение садов, засоление почв, осолонцевание, пульсирующий солевой режим, Присивашье Крыма, Naplic Kastanozem, Luvic Kastanozem

DOI: 10.31857/S0032180X22100471

ВВЕДЕНИЕ

Северная часть степного Крыма, находящаяся в условиях засушливого климата, засоленных почвообразующих пород, а также близости соленого оз. Сиваш с севера, характеризуется наличием засоленных почв, площадь которых до 60-х годов прошлого века (начала масштабного орошения из Северо-Крымского канала) составляла 500 тыс. га [28]. В период 50-летнего орошения водами из данного канала произошло рассоление автоморфных почв с глубоким уровнем грунтовых вод в степном Крыму [21]. В то время в этом регионе было заложено 30 тыс. га садов и виноградников. В настоящее время имеется около 10 тыс. га таких насаждений. После прекраще-

ния подачи воды по Северо-Крымскому каналу в 2014 г., большинство из них орошается подземными(артезианскими) водами, так как количество поверхностных вод невелико. Из-за значительного отбора воды из скважин на питьевое водоснабжение и орошение происходит ухудшение качества подземных вод, что указывает на продвижение соленых вод на юг [17]. Минерализация воды во многих скважинах составляет 2–3 г/л, а в некоторых повышается до 15 г/л, химический состав в основном хлоридный и сульфатно-хлоридный натриевый [10]. Применение таких вод для орошения может привести к засолению, осолонцеванию, подщелачиванию почв и угнетению плодовых растений [16, 24].

В настоящее время не выработано единых утвержденных требований к оценке качества оросительной воды [3]. Исследователи предлагают

¹ К статье имеются дополнительные материалы, доступные для авторизированных пользователей по doi: 10.31857/S0032180X22100471.

различные показатели, учитывающие минерализацию, рН и соотношение ионов [1, 9, 14, 22, 23, 32, 37, 39, 41, 42]. Практически во всех странах, где такая проблема существует, разработаны классификации или рекомендации по предельно допустимым показателям минерализованных вод для орошения [3, 36, 38, 39]. Предельные показатели минерализации оросительных вод значительно разнятся: от 1,2 (Польша) до 7 (10–15) г/л (Алжир), и в большинстве случаев не превышают 2 г/л. Однако расчет пригодности засоленных вод для орошения по показателям, предложенным различными авторами, не всегда дает однозначные результаты [12]. Это зависит от конкретной почвы, ее гранулометрического и химического состава, минерализации и химического состава вод и солеустойчивости сельскохозяйственных культур. На наш взгляд, в настоящее время в России наиболее приемлемой является почвенно-мелиоративная классификация качества оросительной воды, разработанная С.Я. Бездницей [3], которая разработана на основании экологических, агрономических и технических критериев, а также с учетом емкости поглощения почв и устойчивости различных сельскохозяйственных культур к засолению.

В 70–80-х годах прошлого столетия в нашей стране слабоминерализованные воды активно использовались для орошения сероземов в Средней Азии и черноземов на Украине, в том числе в Крыму [11, 13, 26, 32, 33]. На Украине при орошении черноземов тяжелого гранулометрического состава слабоминерализованными водами с повышенной щелочностью (Дунай-Днестровская оросительная система, оз. Сасык) произошло засоление и осолонцевание почв, которое трудно поддавалось мелиорации [9, 25]. Большинство исследователей с осторожностью относятся к использованию для орошения слабоминерализованных вод, но считают, что их применение возможно (иногда просто необходимо), но сложно и должно опираться на данные научного опыта, прогноза и точную технологию [22]. Н.Г. Минашина была категорически против орошения такими водами “почв тяжелого и среднего механического состава ... так как такие почвы трудно освобождаются от вредных солей” [24, с. 870]. В.Ф. Иванов, проводивший исследования в садах Присивашья на темно-каштановых среднесолонцеватых тяжелосуглинистых почвах, наоборот, считал, что “в условиях хорошей водопроницаемости и дренированности почвогрунтов для орошения садов вполне можно использовать воды с содержанием солей до 3 г/л” [15, с. 65].

В настоящее время сады в степном Крыму орошаются капельным способом. Это водосберегающая технология, сохраняющая водно-физические свойства почвы [5, 31]. Однако при капельном орошении солоноватыми водами происходит

вторичное поверхностное засоление почвы, степень и характер которого зависят от многих причин – неравномерного распределения солей в контуре увлажнения, микро- и мезорельефа сада, гранулометрического состава и других физических свойств почвы, минерализации и химического состава поливной воды, количества атмосферных осадков в межполивной период и др. [4, 7, 29]. В настоящее время эти процессы в конкретных почвенно-климатических условиях северного Крыма мало изучены [6, 33].

Учитывая быстрое накопление солей в поливных артезианских водах в Крыму, следует проводить мониторинг их минерализации и химического состава, а также влияния на почву, особенно в садах, так как плодовые культуры слабосолеустойчивы. В настоящее время такой мониторинг не ведется.

Цель исследований – оценить динамику солевого состава оросительных вод из артезианских скважин и их влияние на солевой состав и степень солонцеватости почв Присивашья Крыма в садовых агроценозах при капельном орошении.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Территория исследований находится в зоне сухой степи, в центральной части Присивашской низменности, которая представляет собой пониженную плоскую аккумулятивную слабоволнистую равнину, простирающуюся от берегов оз. Сиваш на юг и запад до отметок 40–50 м над ур. м. [28]. Климат района засушливый, умеренно жаркий с умеренно мягкой зимой. Годовой коэффициент увлажнения – 0,35–0,40.

Почвообразующие породы представлены четвертичными отложениями – желто-бурыми лёссовидными тяжелыми суглинками и легкими глинами эолово-делювиального происхождения, характеризующимися гипсоносностью и карбонатностью. Грунтовые воды залегают на разной глубине, в зависимости от близости к оз. Сиваш. На исследованных участках уровень грунтовых вод находится на глубине 6–10 м. Почвенный покров представлен в основном темно-каштановыми солонцеватыми почвами (по Классификации почв СССР [18]), ближе к оз. Сиваш сменяющимися лугово-каштановыми солонцеватыми почвами с повышением уровня грунтовых вод [28].

Исследования проводили в садовых агроценозах персика и яблони на разном расстоянии от оз. Сиваш. Участок 1 у с. Тимофеевка Джанкойского района (координаты 45°39'33" N и 34°20'48" E, 24 м над ур. м.) расположен в 18 км к юго-западу от ближайшего берега оз. Сиваш (с. Мелководное), рис. 1. Для определения генетической принадлежности почв на участках садов закладывали разрезы до глубины 65–70 см и проводили добу-

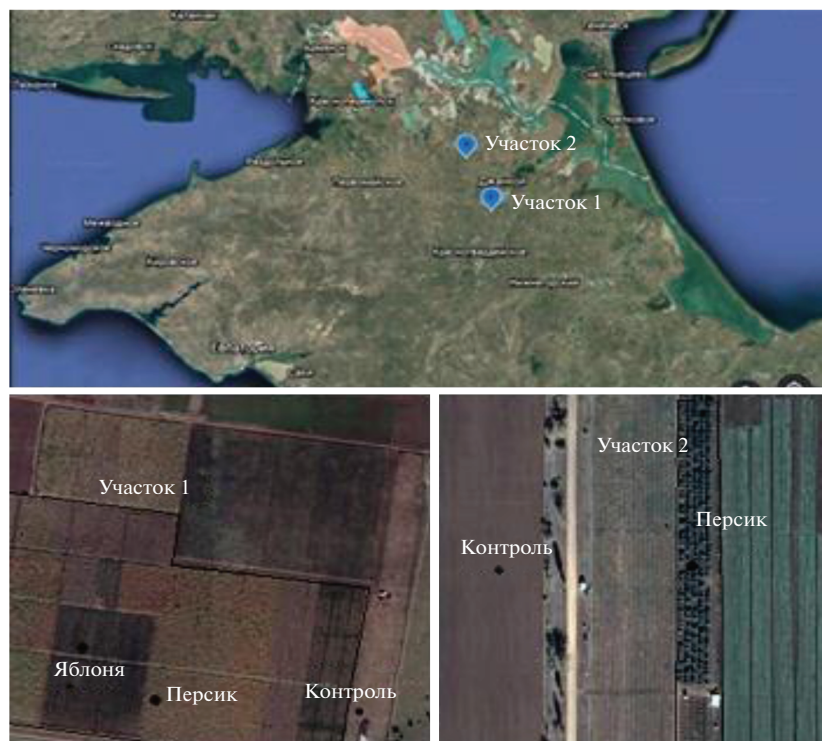


Рис. 1. Расположение участков обследования с указанием мест отбора образцов: сад у с. Тимофеевка (участок 1) и с. Луганское (участок 2), Джанкойский район, Республика Крым.

ривание с описанием морфологии до солевого горизонта.

Почва участка 1 – агрозем аккумулятивно-карбонатный сегрегационный солонцеватый карбонатный слабогумусированный среднemosный глубокогипссодержащий легкоглинистый на лёссовидных глинах (разрез Тба, почва орошаемая), формула профиля: $kg,ca-Pca-Pca,sn,cs-Pca,sn,ad-BCanc-BCca-Cca,cs$ [19], или темно-каштановая солонцеватая пахотная [18], или *Haplic Kastanozem* (Aric, Loamic, Protosodic) по WRB-2015 [40].

Краткое морфологическое описание части почвенного профиля, вскрытого разрезом Тба, заложенном в 1 м от дерева яблони, 70 см от линии ряда, поверхность почвы ровная, пашня, вскипание от HCl с поверхности и по всему профилю. Координаты $45^{\circ}39'32.6'' N, 34^{\circ}20'42.5'' E$, высота над ур. м. 37 м (рис. 2).

$kg,ca, 0-1$ см, осветленная корка, белесый, уплотненный, влажноватый, легкоглинистый, много оговоренных ореховатых агрегатов среди бесструктурных отдельностей.

$Pca, 1-17$ см, светло-серый, рыхлый, непрочноглыбистый, легкоглинистый.

$Pca,sn,cs, 17-28$ см, серый с каштановым оттенком, уплотненный, ореховатый с шероховатыми матовыми гранями и ясно выраженными ребрами, отдельные четко выраженные кутаны

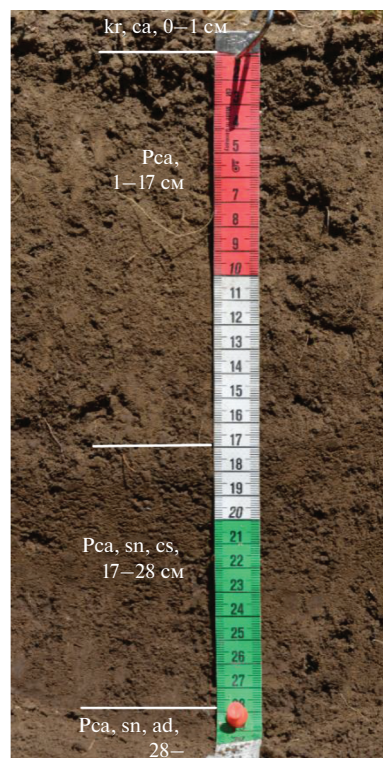


Рис. 2. Разрез Тба. Верхняя часть профиля агрозема аккумулятивно-карбонатного сегрегационного солонцеватого карбонатного (участок 1, с. Тимофеевка, яблоня).



Рис. 3. Прожилки гипса в нижней части горизонта Pca,sn,cs, разрез Тба (участок 1, с. Тимофеевка, яблоня).

по ходам землероев, в нижней части гипс мучнистый в виде редких точек и прожилок, нередко разветвленных, толщиной до 1 мм и длиной 3–7 см (рис. 3).

Pca,sn,ad, 28–58 см, буровато-серый, сухой, уплотненный, однородный по цвету и структуре, легкоглинистый, редкие кутаны, крупные корни персика.

BCAnc, 58–100 см, желто-бурый, влажноватый, легкоглинистый, ореховатый, на боковых гранях светлые кутаны, белоглазка мелкая и средняя диффузная.

BCca, 100–150 см, желто-бурый, однородный, влажный.

Cca,cs, 150–160 см, желто-бурый, влажный, гипс мучнистый в виде прожилок и кристаллов.

Засоление на глубине 150–160 см слабое хлоридно-сульфатное магниевое с гипсом – 0.845%. Содержание токсичных солей 0.23%, отношение Cl/SO_4 0.22.

Участок 2 расположен в 13 км к юго-западу от ближайшего берега оз. Сиваш (с. Митюрино) у с. Луганское Джанкойского района (координаты $45^{\circ}49'09''$ N и $34^{\circ}14'58''$ E, 20 м над ур. м). Почва агрозем аккумулятивно-карбонатный поверхностно-элювирированный солонцеватый глубоководно-зиглееватый глубоководно-слабогумусированный среднемошный легкоглинистый на лессовидных глинах, формула профиля: $kg,el-Pel,sn-P2sn,ad-P3sn-BCAnc,sn-BCAnc,q-BCca,q,Cca,cs$ [19], или лугово-каштановая солонцеватая [18], или Luvic Kastanozem (Aric, Loamic, Protosodic) [40].

Разрез Л11б заложен в саду персика на ровном месте, координаты $45^{\circ}49'08.2''$ N и $34^{\circ}14'58.5''$ E, 20 м над ур. м. (рис. S1). Карбонаты выщелочены до глубины 44 см. В верхнем слое 0–1 см (kg,el) появляются признаки солонцеватости – осветленная корка. Ниже в слоях Pel,sn, 1–6 см,

P2sn,ad, 6–22 см и P3sn, 22–44 см, отличающихся по плотности, структура призмовидная, агрегаты размерами: по вертикали 10–12 см, по горизонтали – 4–5 см. Кутаны (пленки на поверхности агрегатов) сплошные по боковым граням агрегатов. Это свидетельствует о современном вторичном осолонцевании почв. В карбонатном горизонте (BCAnc,sn) на глубине 44–60 см тоже присутствуют кутаны, но они более светлые – следы предыдущего процесса осолонцевания. Квазиглееватость выражена в горизонтах BCAnc,q, и BCca,q на глубине 60–190 см в виде мелких (<1 мм) зеленовато-бурых железистых конкреций. Засоление с глубины 140 см слабое сульфатно-хлоридное магниевое. Содержание токсичных солей 0.1%, отношение Cl/SO_4^{2-} 2.13. Гипс отмечается со 160 см в виде кристаллов в количестве 0.67%. Токсичная щелочность отсутствует.

Общая характеристика почв садов приведена в табл. 1. Почвы слабощелочные, слабогумусированные, в гумусовом горизонте почвы участка 1 содержание карбонатов низкое, на участке 2 карбонаты выщелочены до глубины 44 см. Ниже по профилю в обеих почвах содержание карбонатов увеличивается до 12–20%. Гранулометрический состав легкоглинистый с высоким содержанием ила.

Почвы орошаются водой артезианских скважин системой капельного полива. Поливные трубопроводы располагаются на поверхности почвы вдоль ряда деревьев. Влажность поддерживается на уровне 80% наименьшей влагоемкости на расчетной глубине увлажнения 80 см.

Для определения солевого состава и характера распределения солей в контуре увлажнения капельного орошения закладывали серию скважин от ряда в сторону междурядья на расстоянии 20, 125 и 250 см (середина междурядья) от капельницы-водовыпуска (далее водовыпуск), расположенной у штамба дерева яблони и персика. В 5–10 м к северу и югу от основной скважины по линии ряда (междурядья) закладывали две дублирующие скважины на каждом из выбранных расстояний от водовыпуска. Приведены средние значения, полученные из трех скважин. Контрольные участки располагали в 100–200 м от участков садов на аналогичных неорошаемых почвах полевых севооборотов. Образцы почвы в садах и на контрольных участках отбирали послойно каждые 20 см до глубины 120 см, так как до этой глубины располагается основная масса корней плодового дерева. На участке 1 скважины закладывали в апреле перед поливным сезоном, чтобы определить солевой состав почв после опреснения их зимними атмосферными осадками, на участке 2 – в начале (апрель) и конце (октябрь) поливного сезона для оценки накопления солей в результате орошения.

Таблица 1. Общая характеристика исследуемых почв (2019 г.)

Разрез	Глубина	рН _{H₂O}	Гумус, %	Общие карбонаты, %	Содержание фракций, %	
					<10 мкм	<1 мкм
Агрозем аккумулятивно-карбонатный сегрегационный солонцеватый карбонатный (участок 1)						
6	0–50	8.25	1.67	2.9	62.5	30.5
	50–100	8.45	—*	12.0	67.9	37.9
	100–120	7.70	—	19.9	65.3	35.5
Агрозем аккумулятивно-карбонатный поверхностно-элювируемый солонцеватый глубококвазиглееватый (участок 2)						
11	0–50	7.87	2.17	1.7	58.0	28.2
	50–100	7.91	2.58	9.6	64.3	37.7
	100–120	7.99	—	18.3	63.5	37.2

* Прочерк – нет данных.

Солевой состав почв оценивали на основании определения катионно-анионного состава водной вытяжки (ГОСТ 26423-26428), обменные катионы – по Пфедферу в модификации Молодцова, Игнатовой [8]. Степень и химизм засоления почвы оценивали по классификации Базилевич и Панковой [2], предельно допустимые концентрации токсичных солей для плодовых культур оценивали согласно [16, 21, 30]. Минерализацию и химический состав оросительных вод определяли химическими методами [34], величину рН воды – потенциометрически по РД52.24.495-2017.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Артезианские воды, используемые для орошения сада персика и яблони у с. Тимофеевка (участок 1), имеют общую минерализацию 1.5–2.8 г/л и по существующей классификации (ОСТ 41-05-263-86) относятся к группе солоноватых вод, подгруппе слабосолоноватых (табл. 2). За годы наблюдений (2019–2021 гг.) минерализация вод увеличилась на 1.32 г/л или в 1.8 раза за счет ионов Cl⁻ (в 1.6 раза), SO₄²⁻ (2.6 раза), Ca²⁺ и Na⁺ в 1.7–2.0 раза. Содержание ионов HCO₃⁻ и Mg²⁺ было незначительным и практически не менялось во времени. Химический тип воды – хлоридный кальциевый (натриево-кальциевый).

Вода из скважины сада персика у с. Луганское (участок 2) имела бóльшую общую минерализацию, так как участок располагался ближе к оз. Сиваш. Вода также относится к группе солоноватых, подгруппе слабосолоноватых (2019–2020 гг.), в 2021 г. из-за прогрессирующего засоления переходит в группу умеренно солоноватых. Вместе с увеличением общей минерализации менялся и тип химизма воды от хлоридного кальциевого (2019 г.), через сульфатно-хлоридный натриевый (2020 г.), до сульфатного кальциевого. При этом в

водах за 2 года содержание иона Cl⁻ несколько снизилось, SO₄²⁻ – увеличилось в 3.5 раза, Ca²⁺ и Na⁺ – в 1.7–1.8 раза. Вероятно, это связано с прохождением соленых вод через толщу почвообразующих пород, содержащих гипс и сульфаты натрия.

Артезианские воды на обоих участках не содержали иона CO₃²⁻, были нейтральными: рН воды находился в пределах 6–8 (ОСТ 41-05-263-86), содержание иона HCO₃⁻ было стабильно низким. Кроме того, воды содержали много гипса (CaSO₄) – 6–23 ммоль(экв)/л, концентрация которого увеличивалась во времени с увеличением минерализации воды.

Согласно почвенно-мелиоративной классификации качества оросительных вод [3], для почв со средним гранулометрическим составом и почв, имеющих емкость поглощения 15–30 смоль(экв)/кг, по общей минерализации (>1.5 г/л) и опасности развития хлоридного засоления (Cl⁻ > 10 мг/л) воды относятся к IV классу качества (опасный). По степени опасности развития натриевого осолонцевания (Na⁺/Ca²⁺) вода из скважины участка 1 относится ко II классу качества – малоопасная (0.5–0.8), вода участка 2 – ко II и III классам качества – мало- и умеренноопасная (0.8–1.5). По величине уточненного SAR_{adj} (adjusted sodium adsorption ratio), учитывающего взаимодействие воды с почвой и изменение активностей иона натрия [27] при минералогическом составе почв, относящемся к иллит-вермикулитовой группе (емкость поглощения 15–30 смоль(экв)/кг), воды участка 1 оцениваются как хорошие и среднеопасные, воды участка 2 – средне- и высокоопасные с точки зрения осолонцевания почв [27].

Солевой состав почв, орошаемых солоноватыми водами. Данные солевого состава агрочернозема сегрегационного (участок 1) показывают, что в

Таблица 2. Химический состав вод из артезианских скважин в садах у сел Тимофеевка (участок 1) и Луганское (участок 2) Джанкойского района, 2019–2021 гг.

Дата отбора образцов	Общая минерализация, г/л	pH	НСО ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	SAR	SAR _{adj}
			ммоль(экв)/л мг/л							
Участок 1										
22.09.2019	1.53	Нет данных	<u>3.55</u> 217	<u>15.51</u> 551	<u>5.89</u> 283	<u>14.00</u> 280	<u>4.65</u> 56	<u>6.30</u> 145	2.1	5.4
17.10.2020	1.91	7.43	<u>3.44</u> 210	<u>17.76</u> 620	<u>9.41</u> 450	<u>14.80</u> 300	<u>3.20</u> 40	<u>12.61</u> 290	4.2	10.5
15.11.2021	2.75	7.36	<u>3.45</u> 210	<u>25.30</u> 900	<u>15.59</u> 750	<u>27.78</u> 560	<u>4.40</u> 50	<u>12.16</u> 280	3.0	7.9
Участок 2										
26.10.2019	2.08	7.13	<u>4.35</u> 265	<u>21.00</u> 746	<u>8.85</u> 425	<u>14.60</u> 291	<u>8.65</u> 104	<u>11.00</u> 253	3.2	8.4
17.10.2020	2.75	6.88	<u>3.28</u> 200	<u>22.16</u> 780	<u>18.33</u> 880	<u>14.40</u> 290	<u>7.20</u> 90	<u>22.17</u> 510	6.8	16.2
15.11.2021	3.39	7.37	<u>3.40</u> 210	<u>18.18</u> 640	<u>31.10</u> 1490	<u>25.74</u> 520	<u>7.71</u> 90	<u>19.23</u> 440	4.7	12.2

Примечание. SAR_{adj} – уточненное значение SAR (sodium adsorption ratio) [27, 39]. Ион CO₃²⁻ во всех образцах отсутствовал.

контроле (неорошаемая пашня) почва не засолена до глубины 120 см, сумма солей не превышала 0.04–0.06% от массы почвы (рис. 4а–4д), сумма токсичных солей не выше 0.03%. Тип химизма хлоридно-сульфатный и содово-сульфатный магниевый, отношение Cl/SO₄ 0.32–0.73.

При орошении слабосолоноватыми водами хлоридного кальциевого (натриево-кальциевого) состава сумма токсичных солей значительно увеличивалась до 0.05–0.22%, максимально в слое 60–120 см по линии ряда и на расстоянии 125 см от водовыпуска (рис. 4е–4h). Засоление слабое сульфатно-хлоридное и хлоридное магниевое и натриево-магниевое по линии ряда в слое 60–120 см и слабое хлоридно-сульфатное магниевое в слое 100–120 см на расстоянии 125 и 250 см от ряда, сумма токсичных солей 0.12%. Почвы стали локально солончаковатыми вдоль ряда деревьев и глобосолончаковатыми к середине междурядья.

Такое засоление связано с орошением солоноватыми артезианскими водами данного химического состава и минерализации на протяжении 2–3 лет. Важно подчеркнуть, что в рассматриваемом случае такое распределение солей по профилю складывается весной, после частичной промывки накопленных за поливной сезон солей в более глубокие слои почвы и в стороны от водовыпуска с максимальной величиной в слое 80–120 см на расстоянии 125 см.

Сумма токсичной щелочности в почве контроля была невысокой и равномерно увеличивалась в слое 40–120 см (рис. 4i). При орошении она резко уменьшалась у водовыпуска, где встречалась только в слое 20–40 см в небольших количествах (рис. 4j). Это может быть связано с образованием в почве гипса до 0.28 смоль(экв)/кг, который способствовал нейтрализации щелочных солей. Отметим, что в неорошаемых условиях растворенного в водной вытяжке гипса было мало (0.12 смоль-экв), он встречался только в слое 0–20 см. Гипс присутствует в оросительной воде, а также может образовываться в результате реакции обмена натрия воды на обменный кальций почвы [35]. В целом величины токсичной щелочности при орошении были невысокими и не превышали предельно допустимых значений для яблони и персика (табл. 3).

В составе токсичных солей при орошении в почве преобладали хлориды и сульфаты натрия и магния, составляющие в сумме 1.1–3.4 смоль(экв)/кг (0.04–0.15%) в слое 60–120 см, что выше предельно допустимого значения для яблони и персика. Следует отметить, что в связи с высокой чувствительностью плодовых культур к засолению почв, допустимые для них количества легкорастворимых солей обычно даются в смоль(экв)/кг.

Наблюдались некоторые различия в количестве токсичных солей по профилю почвы в насаждениях персика и яблони. Так как плоды яб-

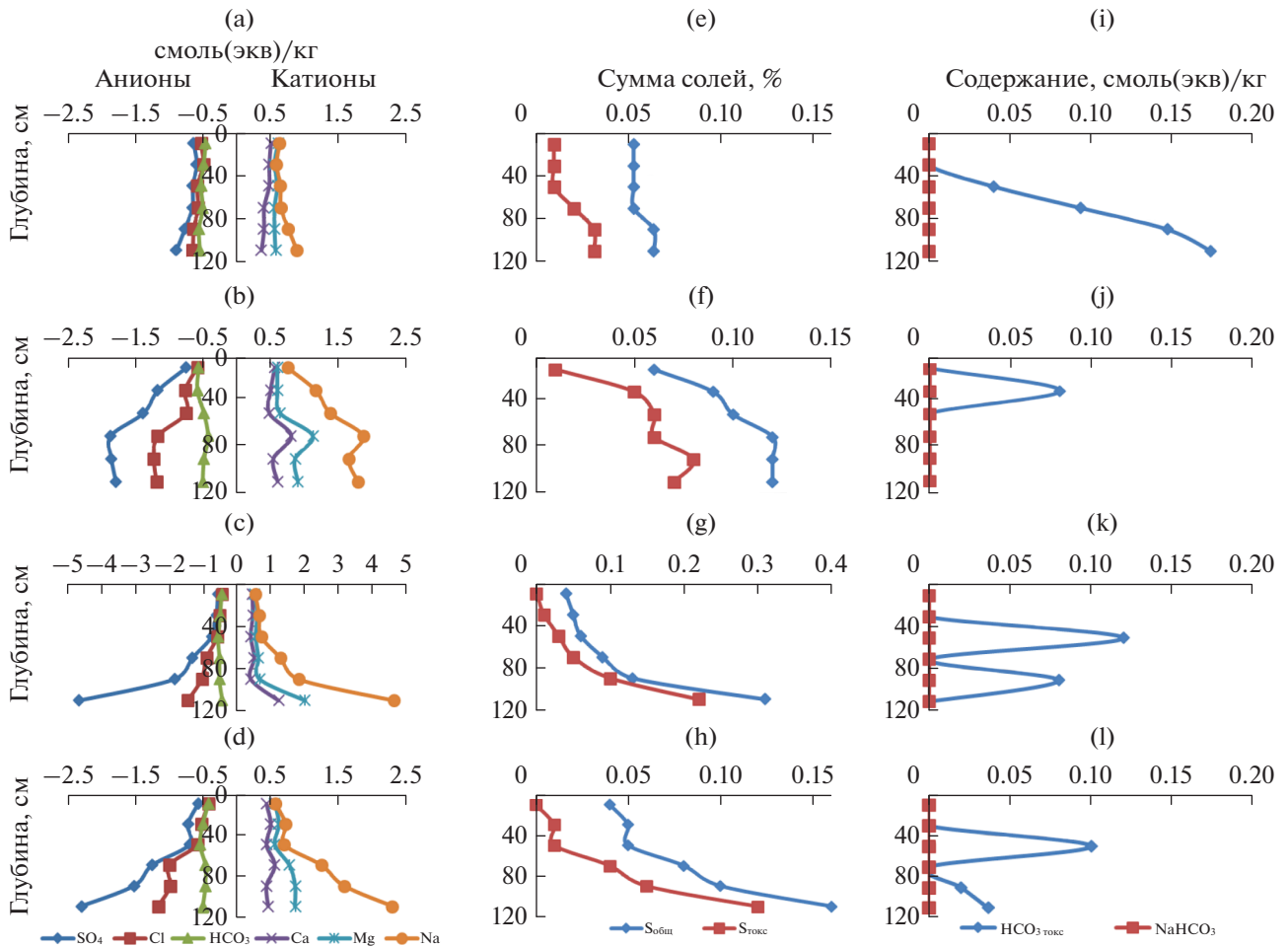


Рис. 4. Ионный состав водной вытяжки из почвы участка 1: а – контроль (неорошаемая), b – 20 см от водовыпуска, с – 125 см от водовыпуска, d – 250 см от водовыпуска; сумма солей (e–h), токсичная щелочность (i–l), среднее из трех определений.

лони созревают позднее, чем персика, ее полив продолжается дольше, и для орошения расходует-ся больше воды, а, следовательно, в почву попа-дет больше солей с минерализованными вода-ми. Вследствие этого сумма токсичных солей в

почве под яблоней была больше, чем под перси-ком у водовыпуска в слое 20–60 см на 0.01–0.03%, на расстоянии 125 см – в слое 60–80 см – на 0.03% и в середине междурядья, на глубине 40–120 см на 0.01–0.08% и достигала 0.07–0.32%

Таблица 3. Предельно допустимые количества токсичных солей для плодовых культур (смоль(экв)/кг почвы) в Присивашье Крыма [16, 20, 30]

Порода	Подвой	Гидрокарбонаты натрия и магния в слое, см			Хлориды в слое, см			Сумма токсичных солей в слое, см		
		0–50	50–100	100–150	0–50	50–100	100–150	0–50	50–100	100–150
Яблоня	Дикая лесная яблоня, Сары синап, М 6, М 9	0.10–0.20*	0.20–0.30*	0.25–0.30*	1.0**	1.4**	1.6**	2.4**	2.4**	3.1**
Персик	Персик	0.10–0.30	0.20–0.40	0.25–0.30	0.2	0.4	0.6	0.7	1.2	1.8
	Миндаль	0.15–0.30	0.15–0.50	0.20–0.60	0.4	0.8	1.2	1.5	2.4	2.6
Черешня	Черешня и антипка	0.1–0.2	0.2–0.3	0.2–0.3	0.2	0.4	0.6	0.7	1.2	1.8

* Для подвоев Сары синап, М 6, М 9; ** для подвоя дикая лесная яблоня. Примечание. Ион CO_3^{2-} не допускается для данных плодовых культур в любом из слоев почвы.

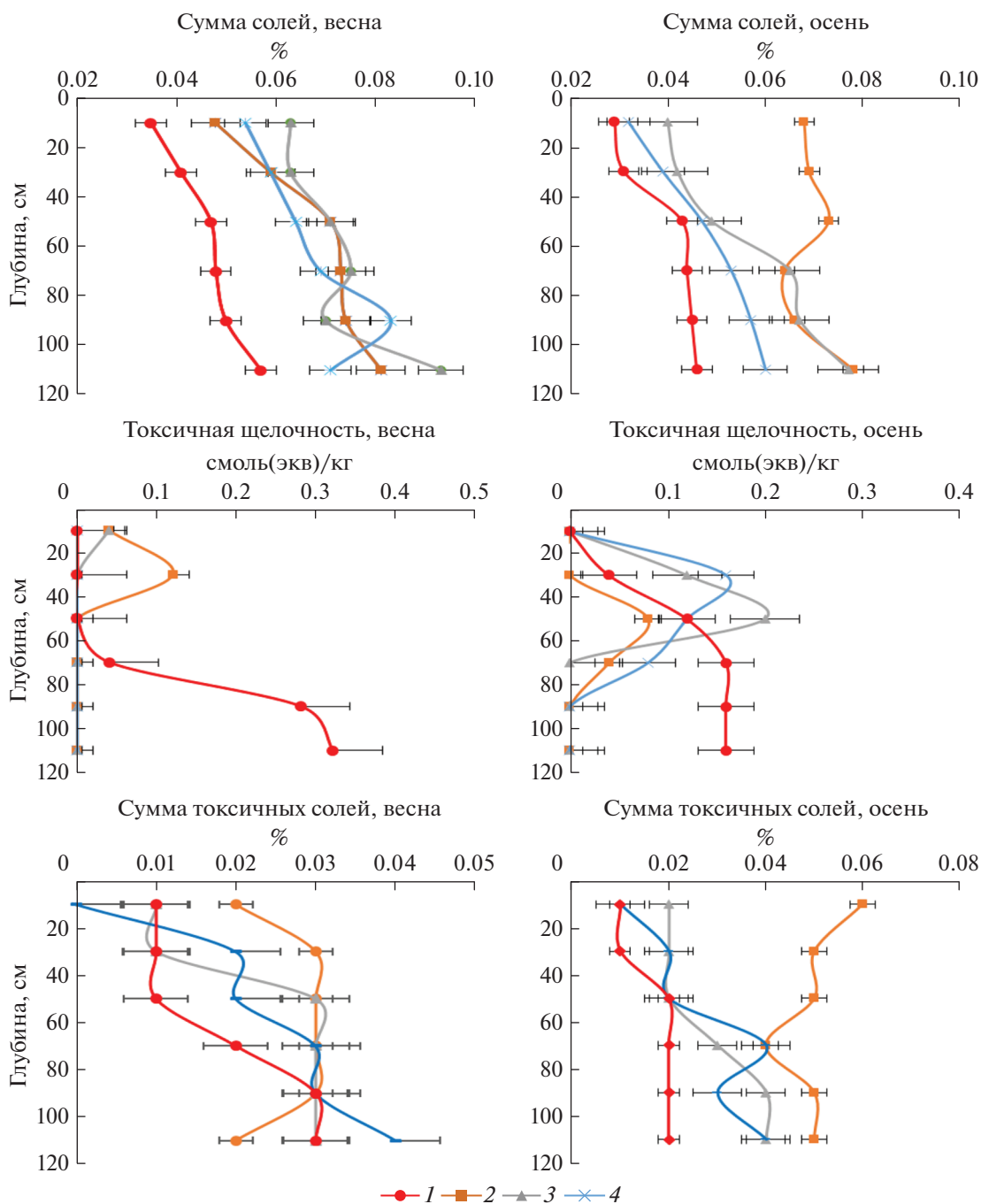


Рис. 5. Влияние орошения слабосоленовой водой на сумму солей и содержание токсичной щелочности в агроземе солонцеватом квазиглееватом под садом персика, участок 2 (с. Луганское, 2020 г.): 1 – контроль (неорошаемая пашня); 2 – 20 см; 3 – 125 см; 4 – 250 см от водовыпуска. Горизонтальные отрезки – ошибка среднего.

(1.7–4.9 смоль(экв)/кг) в слое 80–120 см, что было токсично для яблони.

Исследование солевого состава агрозема аккумулятивно-карбонатного солонцеватого квазиглееватого под агроценозом персика (с. Луганское, участок 2) показало, что сумма солей в неорошаемой почве (контроль) была невысокой, увеличивалась с глубиной и незначительно снижалась от

весны к осени (рис. 5, табл. S1). Токсичная щелочность проявлялась в слое 60–120 см, увеличиваясь с глубиной с 0.04 до 0.35 смоль(экв)/кг почвы с преобладанием гидрокарбоната магния. Сумма токсичных солей была невысокой и возрастала с глубиной в пределах 0.01–0.03%.

В орошаемой почве сумма солей была больше, чем в неорошаемой как весной, так и осенью.

Весной она превышала таковую на 0.022–0.036% или в 1.5–1.8 раза, максимальное содержание солей обнаружено в слое 80–120 см и на расстоянии 125 см от водовыпуска.

Следовательно, весной, после воздействия пресной воды атмосферных осадков содержание солей в орошаемых почвах было больше, чем на богаре, но максимум солей располагался на расстоянии 125 (в слое 60–120 см) и 250 см в слое 80–120 см. Соли “оттеснялись” пресными водами к границам зоны промачивания капельного орошения в стороны и на глубину 100–125 см, что было отмечено ранее и объясняется радиальным передвижением влаги в контуре увлажнения, которая, разбавляя соли, перемещает их от оси к периметру зоны промачивания [26]. В целом весной почвы были формально незасоленными, сумма токсичных солей не превышала 0.02–0.04%. Тип химизма хлоридный и сульфатно-хлоридный натриевый и натриево-магниевый, содержание хлоридов 0.60–0.76 смоль(экв)/кг (0.02–0.03%), токсичных сульфатов 0.01–0.21 смоль(экв)/кг (0.0005–0.01%), Cl^-/SO_4^{2-} 2.7–21.3 (табл. S2).

Осенью сумма солей была максимальной у водовыпуска в слое 0–60 см, ее превышение над контролем составило 0.020–0.039% (1.7–2.3 раза), максимально в слое 0–20 см. На расстоянии 125 см от водовыпуска она была меньше, чем у водовыпуска, но значительно больше, чем в контроле (в 1.1–1.7 раза), максимально в слое 100–120 см. К середине междурядья сумма солей уменьшалась и была близкой к контрольной, что обусловлено зоной промачивания суглинистых почв при капельном орошении шириной около 1 м от водовыпуска на глубине 0.3–0.8 м [33].

Токсичная щелочность в орошаемой почве весной появлялась у водовыпуска в слое 0–40 см в незначительных количествах (0.04–0.08 смоль(экв)/кг) в результате обмена ионов натрия и магния из почвенно-поглощающего комплекса на водород угольной кислоты, растворенной в атмосферных осадках. Осенью в контроле токсичная щелочность отмечалась практически по всему профилю в незначительных количествах с максимумом в слое 40–120 см (табл. S3). При орошении она обнаруживалась в основном в слое 20(40)–80 см в концентрациях 0.08–0.20 смоль(экв)/кг. Вероятно, проявление токсичной щелочности связано, судя по величине SAR_{adj} в поливной воде и ее соотношению с SAR , с осаждением карбонатов при взаимодействии оросительной воды с почвой [27].

Сумма токсичных солей при орошении накапливалась в относительно больших количествах, чем общая сумма солей. Весной под водовыпуском она была больше, чем в неорошаемой почве в 2.7–3.5 раза в слое 0–60 см. На расстоянии 125 см от водовыпуска уменьшалась по сравнению с зоной у водовыпуска, но имела относительный мак-

симум в слое 20–40 см, превышающий контроль в 2.6–3.9 раза. В середине междурядья сумма токсичных солей также увеличивалась относительно контроля, но в меньшей степени (в 1.1–2.5 раза, максимально в слое 0–40 см). Вероятно, такое накопление токсичных солей связано с их высокими концентрациями в оросительной воде.

К осени сумма токсичных солей возрастала по сравнению с весной в 1.1–3.0 раза за счет орошения слабоминерализованной водой, максимально по линии ряда и достигала величин 0.8–0.9 смоль(экв)/кг (0.05–0.06%), превышающих допустимые для персика и черешни. Она была больше контрольных значений в 2.5–6.2 раза, максимально в слое 0–40 см. На расстоянии 125 и 250 см от водовыпуска сумма токсичных солей была меньше, чем у водовыпуска, но больше, чем весной в 1.1–1.3 раза и увеличивалась с глубиной (рис. 5). По сравнению с контролем сумма токсичных солей на этом расстоянии от водовыпуска была выше в 1.1–1.7 раза.

Под капельницей происходило поверхностное слабое засоление почвы в слое 0–60 см в конце поливного сезона (рис. 5). Химизм засоления – сульфатно-хлоридный магниевый-натриевый и натриевый. Почва становилась солончаковой. Обнаруживалось слабое сульфатно-хлоридное магниевое засоление в слое 100–120 см на расстоянии 125 см от водовыпуска, сумма токсичных солей составляла 0.05%, отношение Cl^-/SO_4 равно 2.2, почва здесь глубокосолончаковая (табл. 3S).

Состав токсичных нейтральных солей при орошении также изменялся. Сульфат натрия обнаруживали только в слое 0–20(40) см, тогда как в неорошаемой почве – на глубине 40–120 см (табл. S2, S3). Произшло значительное накопление хлоридов натрия и магния по всему профилю в количествах 0.04–0.42 смоль(экв)/кг, причем до глубины 100 см первый преобладал над вторым, а в слое 100–120 см наблюдалось преобладание хлорида магния на 0.03–0.14 смоль(экв)/кг. В почве накапливался хлорид кальция в слое 40–120 см в количествах 0.06–0.22 смоль(экв)/кг, что является признаком вторичного засоления незасоленных почв [35].

Состав обменных катионов в почвах при орошении солоноватыми водами. Исследование содержания обменных катионов в агроземе сегрегационном (с. Тимофеевка, участок 1) показывает, что в контроле без орошения их сумма колебалась в пределах 21–28 смоль(экв)/кг и уменьшалась с глубиной (табл. 4). При орошении солоноватыми водами сумма катионов снижалась в слое 0–40 см на 1–6 смоль(экв)/кг или на 5–20%, в более глубоких слоях, как правило, увеличивалась на 2–6 смоль(экв)/кг (10–28%) по сравнению с контролем, причем у водовыпуска и на расстоянии 125 см от него эта разница была наибольшей. Скорее всего, это связано с перераспределением илистой фракции по профилю

Таблица 4. Состав обменных катионов в агроземе сегрегационном при орошении солончатыми водами, участок 1, весна 2020 г.

Вариант	Глубина, см	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Сумма	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
		смоль(экв)/кг				% от суммы		
Контроль (неорошаемая почва)	0–20	24.2	3.0	0.37	27.57	87.8	10.9	1.3
	20–40	24.4	3.2	0.46	28.34	86.1	11.3	1.6
	40–60	19.0	3.8	0.64	23.44	81.1	16.2	2.7
	60–80	18.2	4.2	0.74	23.14	78.7	18.1	3.2
	80–100	15.0	6.6	1.10	22.70	66.1	29.0	4.8
	100–120	13.0	7.8	0.67	21.47	60.6	36.3	3.1
20 см от водовыпуска	0–20	20.3*	3.3	0.61	24.21	83.9	13.6	2.5
	20–40	20.5*	5.0	0.79	26.29	78.0	19.0	3.0
	40–60	22.9*	4.7	0.94	28.54	80.3	16.4	3.3
	60–80	17.7	7.0	1.79*	26.49	66.7	26.5	6.8
	80–100	16.9	8.3	2.11*	26.01	65.0	26.9	8.0
	100–120	16.3*	9.6	1.60*	27.50	59.3	34.8	5.8
125 см от водовыпуска	0–20	22.5	3.4	0.70	26.60	84.7	12.7	2.6
	20–40	22.4	4.9	0.70	28.00	79.8	17.7	2.5
	40–60	20.2	6.8*	1.08	28.08	71.9	24.3	3.9
	60–80	19.2	5.7	1.15*	26.05	73.6	21.9	3.8
	80–100	15.6	8.7	1.44	25.74	60.6	33.7	4.2
	100–120	15.3	8.0	1.67*	24.97	61.3	32.0	4.5
250 см от водовыпуска	0–20	21.5	4.7	0.74	26.94	79.8	17.4	2.6
	20–40	19.9*	3.4	0.80	24.08	82.5	14.2	3.3
	40–60	20.0	3.9	0.94	24.84	80.6	15.6	4.4
	60–80	17.8	5.4	0.98	24.18	73.7	22.1	4.7
	80–100	17.1	6.2	1.05	24.35	70.4	25.3	5.8
	100–120	15.2	7.7	1.25*	24.15	62.9	31.9	6.8

*Разница с контролем в соответствующем слое значима на 5%-ном уровне.

почвы – увеличением в слое 0–50 см и нижних горизонтах.

Среди катионов преобладал обменный Ca²⁺ с максимумом в гумусовом горизонте (72–88% от суммы катионов). Ниже по профилю его содержание снижалось с относительным накоплением обменного Mg²⁺. Орошение приводило к перераспределению обменного Ca²⁺ по профилю – уменьшению в верхних горизонтах и относительному увеличению вниз по профилю. Это также может быть связано с перераспределением илистой фракции по профилю почвы.

Содержание обменного Mg²⁺ в неорошаемой почве (контроль) было невысоким – 3–8 смоль(экв)/кг и увеличивалось с глубиной. При орошении оно незначительно увеличивалось в слое 20–80 см до 4–10 смоль(экв)/кг или 18–35% от суммы катионов максимально у водовыпуска, вероятно, за

счет поглощения иона магния, поступающего с оросительной водой.

Содержание обменного Na⁺ в контроле было на уровне 0.4–1.1 смоль(экв)/кг (1.3–4.8% от суммы катионов) и увеличивалось с глубиной, то есть почва была несолонцеватой. Орошение солончатыми водами привело к увеличению концентрации обменного Na⁺, существенному у водовыпуска в слое 60–120 см на 1 смоль(экв)/кг (1.9–2.4 раза) с увеличением относительной доли натрия в сумме катионов до 5.8–8.0% – почва становилась слабосолонцеватой. По мере удаления от водовыпуска доля обменного натрия в сумме обменных катионов снижалась, но была выше, чем в контроле.

На агроземах квазиглееватых солонцеватых под персиком (участок 2) в контроле сумма обменных оснований составила 15–25 смоль(экв)/кг и была максимальной в слое 20–60 см (солонцовый го-

Таблица 5. Состав обменных катионов в агроземе квазиглееватом солонцеватом при орошении солончатыми водами, участок 2, с. Луганское, весна, 2020 г.

Вариант	Глубина, см	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Сумма	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	
		смоль(экв)/кг				% от суммы			
Контроль (без орошения)	0–20	19.0	4.2	0.5	23.7	80.3	17.8	1.9	
	20–40	19.2	4.0	1.2	24.4	78.7	16.4	4.9	
	40–60	17.6	6.0	1.2	24.8	71.0	24.2	4.8	
	60–80	12.8	4.2	0.8	17.8	71.8	23.5	4.7	
	80–100	9.8	4.0	0.8	14.6	67.2	27.4	5.4	
	100–120	10.8	6.2	0.6	17.6	61.3	35.2	3.6	
20 см от водовыпуска	0–20	18.4	6.0	0.9	25.3	72.8	23.7	3.4	
	20–40	18.8	7.6	2.2	28.6	65.7	26.6	7.7	
	40–60	20.6	6.0	2.4	29.0	71.0	20.7	8.3	
	60–80	14.4	3.6	2.0	20.0	72.0	18.0	10.0	
	80–100	17.2	7.6	2.3	27.1	63.5	28.0	8.5	
	100–120	16.4	10.0	2.4	28.8	57.0	34.8	8.2	
125 см от водовыпуска	0–20	18.6	5.9	1.4	25.9	71.8	22.8	5.4	
	20–40	21.0	5.0	2.9	28.9	72.8	17.3	9.9	
	40–60	19.6	6.0	2.7	28.3	69.3	21.2	9.4	
	60–80	21.4	4.6	2.6	28.6	74.7	16.1	9.2	
	80–100	Не опр.							
	100–120	18.0	6.4	2.5	26.9	66.9	23.8	9.3	
250 см от водовыпуска	0–20	16.6	4.2	0.9	21.7	76.5	19.4	4.1	
	20–40	17.0	4.2	1.2	22.4	75.9	18.7	5.4	
	40–60	18.0	4.8	1.4	24.2	74.4	19.8	5.8	
	60–80	16.1	4.3	1.4	21.8	73.9	19.7	6.4	
	80–100	14.4	4.8	1.3	20.5	70.2	23.4	6.4	
	100–120	15.2	6.4	1.4	23.0	66.2	27.9	5.9	

ризонт). В целом по профилю это было меньше, чем в агроземе сегрегационном, вероятно, из-за более легкого гранулометрического состава агрозема квазиглееватого (табл. 5).

Содержание обменного Ca²⁺ в контроле было высоким в слое 0–40 см, вниз по профилю снижалось, значительно в слое 80–120 см. Содержание обменного Mg²⁺ было невысоким, но из-за пониженного содержания обменного Ca²⁺ его доля в сумме катионов резко возрастала до 16–35% с максимумом в слое 100–120 см. Содержание обменного Na⁺ в контроле было низким в слоях 0–20 и 100–120 см, в остальной части профиля составляло 0.8–1.2 смоль(экв)/кг, что в доле обменных катионов было близким к 5%. Почва слабосолонцеватая.

При орошении солончатыми водами в агроземе квазиглееватом происходили те же процессы, что и при орошении агрозема сегрегационного – уменьшение содержания обменного кальция и его доли в сумме катионов в слое 0–40(60) см,

увеличение концентрации обменных Mg²⁺ и Na⁺ в поверхностных горизонтах, то есть шел процесс вторичного поверхностного осолонцевания. Содержание обменного Mg²⁺ при орошении возрастало незначительно в слое 0–40 см независимо от расстояния от водовыпуска на 1.0–1.8 смоль(экв)/кг (5–11% от суммы катионов), у водовыпуска содержание его было максимальным. Концентрация обменного Na⁺ при орошении возрастала по всему профилю значительно на 0.5–2.0 смоль(экв)/кг или 1–6% от суммы катионов и достигала 9–10% от суммы, максимально у водовыпуска. Почва становилась локально среднесолонцеватой, что может неблагоприятно сказаться на росте, состоянии и продуктивности деревьев персика [20].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате интенсивного забора воды из артезианских скважин на севере Крымского полуострова происходит подпитка соленых вод из

Черного моря и Сиваша и прогрессирующее засоление артезианских вод до переменной минерализации в пределах 1.5–3.3 г/л. По существующим показателям пригодности вод для орошения почв тяжелого гранулометрического состава воды являются опасными, вызывающими хлоридное засоление и слабо- и среднеопасными, приводящими к осолонцеванию почв, особенно при минерализации 3 г/л и выше. Орошение такими водами садов персика и яблони в Присивашье Крыма капельным способом вызвало процессы локального засоления почв. Засоление слабое сульфатно-хлоридное натриевое, наиболее значительное осенью после поливного сезона и в пределах ряда деревьев, которое при содержании суммы токсичных солей 1–5 смоль(экв)/кг (0.06–0.10%) и больше может быть токсичным для персика, яблони и других плодовых культур. Весной, после воздействия зимних осадков, верхние слои (0–60 см) частично рассоляются. Слабое сульфатно-хлоридное и хлоридное натриевое и натриево-магниевое засоление отмечается в слое 60–120 см у водовыпуска и на расстоянии 125 см от него. Орошение такими водами вызывает процессы вторичного осолонцевания почв, наиболее существенного при орошении водой с минерализацией 3 г/л и выше с увеличением содержания обменного Na^+ в почве до 9–10% от суммы катионов.

В связи с прогрессирующим засолением оросительных вод, засолением и осолонцеванием почв в плодоносящих многолетних насаждениях, смена культур в которых невозможна в короткий период времени, а орошать которые необходимо, следует продолжить орошение с большой осторожностью, используя разработанные рекомендации по предупреждению засоления и осолонцевания, устранению солонцеватости и повышению плодородия почв. Кроме того, процессы, происходящие в почвах при орошении солоноватыми водами, должны быть изучены в конкретных экологических условиях севера Крыма, что предопределяет продолжение мониторинговых исследований солевого состава оросительных вод и орошаемых почв на ключевых участках, а также их влияния на рост, продуктивность и минеральное питание различных по солеустойчивости пород и сортов плодовых растений. Это позволит установить региональные закономерности в системе почва–оросительная вода–плодовое растение и разработать рекомендации по рациональному использованию слабоминерализованных артезианских вод для орошения садов и повышения плодородия орошаемых почв.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы благодарны д. с.-х. н. Н.Б. Хитрову за помощь в проведении полевых исследований и подготовке материалов к печати.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена в рамках темы государственного задания Никитского ботанического сада АААА-А20-120111090087-0.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Рис. S1. Разрез Л116 (участок 2, сад персика).

Таблица S1. Катионно-анионный состав водной вытяжки из агрозема аккумулятивно-карбонатного солонцеватого квазиглееватого, участок 2.

Таблица S2. Состав гипотетических солей агрозема аккумулятивно-карбонатного солонцеватого квазиглееватого, участок 2, весна, 2020 г.

Таблица S3. Состав гипотетических солей агрозема аккумулятивно-карбонатного солонцеватого квазиглееватого, участок 2, осень 2020 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипов-Каратаев М.Н., Кадер Г.М. К методике определения мелиоративной оценки оросительной воды // Почвоведение. 1969. № 5. С. 96–101.
2. Базилевич Н.И., Панкова Е.И. Опыт классификации почв по содержанию токсичных солей и ионов // Бюл. почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 1972. Вып. 5. С. 36–40.
3. Безднина С.Я. Научные основы оценки качества воды для орошения. Рязань: ООО “Мещерский науч.-технический центр”, 2013. 171 с.
4. Безопасные системы и технологии капельного орошения: научный обзор ФГНУ “РосНИИПМ”. М.: Мелиоводинформ, 2010. 52 с.
5. Боровой Е.П., Кременской В.И., Иванютин Н.М. Капельное орошение как основа развития плодородия на юге Российской Федерации // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2016. № 4(44). С. 246–255.
6. Воеводина Л.А. Влияние капельного орошения минерализованными водами на свойства черноземных почв // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2011. № 1(01). С. 3.
7. Воеводина Л.А., Снопич Ю.Ф., Чекунов А.Н. Влияние капельного орошения на засоление почв // Научный журнал КубГАУ. 2010. № 64(10). <http://ej.kubagro.ru/2010/10/pdf/20.pdf>
8. Воробьева Л.А. Химический анализ почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 272 с.
9. Гоголев И.Н., Хохленко Т.Н., Августовская Е.Л. Термодинамический принцип оценки оросительных вод и состояния почв // Мелиорация и водное хозяйство. 1989. № 8. С. 24–25.

10. Государственный доклад “О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Республике Крым и городе федерального значения Севастополе в 2019 году”. <http://82.gospotrebnadzor.ru/s/82/files/documents/Gosdoklad/148365.pdf>
11. *Егоров В.В.* Засоленные почвы и их освоение. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 112 с.
12. *Заносова В.И., Молчанова Т.Я.* Оценка качества подземных вод и степени их пригодности для орошения // Вестник Алтайского гос. аграрного ун-та. 2017. № 6(152). С. 49–54.
13. *Зборишук Н.Г.* Процессы преобразования черноземов при орошении минерализованными водами // Проблемы почвоведения. М.: Наука, 1990. С. 249–254.
14. *Зимовец Б.А., Хитров Н.Б.* Экологическая оценка качества оросительной воды // Мелиорация и водное хозяйство. 1993. № 5. С. 30–33.
15. *Иванов В.Ф.* О допустимом содержании солей в поливной воде // Бюл. гос. Никитского ботанического сада. 1969. Вып. 2(9). С. 62–65.
16. *Иванов В.Ф., Иванова А.С., Опанасенко Н.Е., Литвинов Н.П., Важов В.И.* Экология плодовых культур. К.: Аграрна наука, 1998. 261 с.
17. *Иванютин Н.М.* Влияние антропогенной деятельности на подземные воды Крыма // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2016. № 3(63). С. 25–31.
18. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 221 с.
19. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
20. *Клименко О.Е.* Щелочные соли в почвах Северо-Крымской низменности и их влияние на плодовые культуры. Автореф. дис. ... канд. с.-х. н. Харьков, 1988. 18 с.
21. *Клименко О.Е.* Ощелачивание орошаемых садопригодных почв степного Крыма и перспективы их использования // Почвоведение. 2016. № 10. С. 1251–1260. <https://doi.org/10.7868/S0032180X16100087>
22. *Ковда В.А.* Качество оросительной воды // Почвы аридной зоны как объект орошения. М.: Наука, 1968. 222 с.
23. *Костяков А.Н.* Основы мелиорации. М.: Сельхозиздат, 1960. 150 с.
24. *Минашина Н.Г.* Проблемы орошения почв степей Юга России и возможности их решения (на основе анализа производственного опыта 1950–1990 гг.) // Почвоведение. 2009. № 7. С. 867–876.
25. *Минашина Н.Г.* Оросительные воды с повышенным содержанием магния и их роль в деградации черноземов на юго-востоке Европы // Почвоведение. 2011. № 5. С. 564–671.
26. *Орел Т.И.* Последствия капельного орошения почв Крыма водой различной минерализации // Агрохімія і ґрунтознавство. 2011. № 76. С. 41–44.
27. *Панкова Е.М., Прохоров А.Н.* Оценка пригодности воды для орошения // Гидротехника и мелиорация. 1985. № 10. С. 54–58.
28. *Половицкий И.Я., Гусев П.Г.* Почвы Крыма и повышение их плодородия. Симферополь: Таврия, 1987. 152 с.
29. *Попова В.П., Фоменко Т.Г.* Капельное орошение плодовых насаждений. Методические рекомендации. Краснодар, 2013. 49 с.
30. Рекомендации по отбору и использованию почв Крыма под плодовые культуры. Ялта, 1972. 32 с.
31. *Сторчоус В.Н.* Капельное орошение – резерв экономики воды при выращивании винограда, плодовых и овощных культур в Крыму // Науч. тр. южного филиала национального университета биоресурсов и природопользования Украины “Крымский агротехнологический университет”. Сер. сельскохозяйственные науки, 2014. Вып. 161. С. 123–129.
32. *Супряга И.К., Лунатов А.Б., Сирик В.Ф., Евтушенко Г.И.* Экологические и экономические аспекты нормирования качества оросительной воды // Мелиорация и водное хозяйство. 1989. № 10. С. 44–45.
33. Технология выращивания плодовых культур в условиях Крыма при капельном способе полива. Симферополь: КОСС, 2008. 73 с.
34. Унифицированные методы анализа вод / Под ред. Ю.Ю. Лурье. М.: Химия, 1973. 376 с.
35. *Хитров Н.Б., Роговнева Л.В.* Пятилетнее изменение засоленности почв и грунтов рисовых систем Прикарпинитской низменности после прекращения орошения // Почвоведение. 2021. № 1. С. 120–135.
36. *Шумаков Б.А.* Использование минерализованных вод для орошения. М.: Колос, 1973. 263 с.
37. Экологические требования к орошению почв России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1996. 72 с.
38. Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality. 2000. V. 3 Ch. 9.2 Water quality for irrigation and general use. <http://www.gfmwq-guidelines-vol3-9-2.pdf>
39. *Ayers R.S., Westcott D.V.* Water quality for agriculture. Irrigation and Drainage Paper. 1985. V. 29. Rev. 1. <https://www.fao.org/3/t0234e/T0234E00.htm#TOC>
40. IUSS Working Group WRB, World Reference Base for Soil Resources 2014, Update 2015, International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps, World Soil Resources Reports No. 106 (UN Food and Agriculture Organization, Rome, 2015).
41. *Richards L.A.* Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Agricultural Handbook. US. Department of Agriculture. Washington DC, 1954. V. 60. 166 p.
42. *Szabolcs J., Darab K.* Irrigation Water Quality and Problems of Soil Salinity // Acta Agronomica Academiae Scientiarum Hungaricae. Academiae Kiado. Budapest. 1982. V. XXXI. P. 173–194. <https://www.fao.org/3/x5870e/x5870e00.htm#Contents>

Changes in Salt Composition of Soils under Irrigation with Back Water in the Steppe Crimea

O. E. Klimenko¹, *, A. P. Yevtushenko¹, and N. I. Klimenko¹

¹*Nikitsky Botanical Gardens – National Research Center of the Russian Academy of Sciences, Yalta, 298648 Russia*

**e-mail: olga.gnbs@mail.ru*

The purpose of the work is to evaluate the effect of brackish artesian waters used for drip irrigation of gardens in the Sivash area of Crimea on the salt composition and composition of exchangeable cations of two soils located at different distances from Lake Sivash. Observations of the dynamics of mineralization and salt composition of irrigation waters over 3 years (2019–2021) show that the waters are neutral (pH 6.88–7.43) slightly (medium) brackish with a mineralization of 1.5–3.4 gL⁻¹ of variable composition: calcium chloride – sulfate-chloride sodium – sulfate calcium. The mineralization of waters increased in time and as it approached Lake Sivash. In the waters, there is a high content of chlorides (15–25 mmol(eq) L⁻¹), sulfates (6–31 mmol(eq) L⁻¹), Ca²⁺ (14–26 mmol(eq) L⁻¹) and a stable concentration of HCO₃⁻ (3 mmol(eq) L⁻¹). Local moistening of soils during drip irrigation contributed to local weak sulfate-chloride and chloride magnesium–sodium salinization in a layer of 0–60 cm along the row line, and at a distance of 125 cm from the row towards the row spacing at a depth of 60–120 cm, which was toxic for fruit crops. The amount of salts in the soil had a pulsating regime: it increased in the fall after the irrigation season and decreased in the spring due to the washing out of salts by fresh atmospheric precipitation into the depth and to the sides of the outlet, but exceeded that in the non-irrigated soil. Slightly brackish waters of this salt composition with a mineralization of 1.5–2.7 gL⁻¹ and SAR 2–4 led to the solonetzization of Haplic Kastanozem with an exchangeable Na⁺ content of 6–8% of the sum of cations. Waters with a mineralization of more than 3 g L⁻¹ and SAR 3–7 contributed to an increase in the content of exchangeable Na⁺ up to 9–10% of the sum of cations in a slightly solonetzic Luvic Kastanozem. Under conditions of progressive salinization of irrigation waters and soils, it is necessary to continue monitoring the salt composition and metabolic processes in irrigated soils.

Keywords: brackish artesian waters, drip irrigation of gardens, soil salinization, alkalization, pulsating salt regime, Crimean Sivash, Haplic Kastanozem, Luvic Kastanozem