



Научные записки НИЦ МКВК

№ 17

2023

Г.В. Стулина, Г.Ф. Солодкий

Водопотребление сельхозкультур на засоленных почвах



Научно-информационный центр
Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии
Центральной Азии

Г.В. Стулина, Г.Ф. Солодкий

**Водопотребление сельхозкультур
на засоленных почвах**

Ташкент 2023

Введение

Как показано многочисленными экспериментами, натурными наблюдениями присутствие солей в почве оказывает существенное воздействие на механизм водопотребления растений.

В бассейне Аральского моря засоление почв одно из ярко выраженных процессов.

Учитывая, что в регионе сельскохозяйственные земли в основном орошаемые, в Узбекистане более 90 %, взаимодействие растений и воды в значительной степени определяется засолением почв.

Воздействие солей на растения имеет как прямое токсическое действие, так и гидрофизическое, снижая способность корней поглощать воду.

При разработке моделей расчётов режимов орошения необходимо учитывать данный фактор.

1. Засоление почв

Проблема засоления почв.

В той или иной степени, 25 % почв в мире засоленные. Основное влияние соли на растение – ограничение потребления воды корнями. При увеличении концентрации соли в почвенном растворе корням становится труднее поглощать воду из солевого раствора. На почвах с высокой концентрацией солей у растений наблюдается водный стресс, вследствие чего растения прекращают рост. Особенно это наблюдается при снижении влажности почвы, так как это приводит к резкому увеличению концентрации соли в почвенном растворе.

В Узбекистане 45 % орошаемых земель имеет различную степень засоления. Карта засоления почв Узбекистана (Рис. 1).

Засоление почв выражается как количественными показателями, так и качественными. Ниже приводится классификация засоления.

Таблица 1

**Группировка засоленных щелочных и нещелочных почв
по данным анализа водонасыщенных паст**

Классы почв	ЕС	ESP**	pH	SAR	Основные ионы и их соотношение	Гипс*	Щелочно-земельные карбонаты
Незасоленные, нещелочные	< 4	< 15	< 7 <	низкий		+, -	+, -
Засоленные (saline)	> 4	< 15	< 8.5	невысокий	Cl, SO ₄ ²⁻ · HCO ₃ ⁻ - мало; CO ₃ ²⁻ - нет; Na ⁺ > Ca ²⁺ + Mg ²⁺	+	+
Незасоленные щелочные	Невысокая	> 15	Обычно > 8.5	высокий	Na ⁺ , может быть в виде NaHCO ₃ ²⁻ - NaCO ₃	Редко +	
Засоленные щелочные	> 4	> 15	Обычно < 8.5		Подобны 2-ому классу почв, но выше доля натрия		

2. Категории почвенной влаги

При решении вопроса об обеспечении сельскохозяйственных культур водой для их жизнедеятельности необходимо учитывать все аспекты процесса: почва→вода→растение.

Почва – тип почвы, гранулометрический состав, засоление; вода – химический состав, физическое состояние; растение – вид растений, его засухо- и солеустойчивость.

Один из важных параметров, характеризующих доступность воды (почвенного раствора) – это категории почвенной влаги.

Вода в почве связана различными силами, которые корневая система должна преодолеть при принятии, поэтому вода в почве делится на два класса: доступная и недоступная. Вода, которая образуется в результате

выпадения осадков или наводнений, называется поверхностной водой, она вызывает эрозию и оползни. Свободная и связанная вода являются наиболее распространенными состояниями почвенной воды. К связанной воде относятся: химически связанная вода, гигроскопическая вода, мембранная вода, вода в виде водяного пара и капиллярная вода, а к свободной воде - гравитационная, грунтовая вода и вода в виде льда.

Связанная вода в почве находится в следующих формах:

1. Химически связанная вода не имеет значения для растения, поскольку она связана в твердой решетке минералов и как таковая принадлежит к твердой фазе почвы. Химически связанная вода не участвует в физических процессах и не испаряется при температуре 100° С. Она присутствует в виде конститутивной и кристаллизованной воды. Если вода в виде ионов H^+ и OH^- входит в состав различных минералов, то ее назвали кристаллической водой. Если она связана с минералами в виде молекулы, то это конституционная вода. Химически связанная вода недоступна для растения.

2. Гигроскопическая вода - это вода, которая адсорбируется на абсолютно сухой почве под действием поверхностных сил при относительной влажности менее 100%. Способность частиц почвы поглощать относительную влагу из воздуха была названа гигроскопической водой. Гигроскопическая вода в почве удерживается под высоким давлением в 50 бар; поскольку всасывающая сила корневой системы составляет от 6 до 16 бар, она недоступна для растений. Максимальная гигроскопическая вода является водной константой, но не имеет практического применения, кроме использования для расчета других водных констант. Она также адсорбируется на сухой почве поверхностными силами при относительной влажности 95-100%.

3. Мембранная или пленочная вода находится вокруг частиц почвы и используется растениями только при высыхании почвы до мембранной влаги. Мембранная вода связывается с поверхностью частицы после завершения, то есть насыщения связывания воды до максимальной гигроскопичности, если частицы могут притягиваться и в какой степени имеется доступная вода. Это была вода, связанная дипольными силами, которые ослабевают к периферии. Известняковая вода движется в почве очень медленно. Согласно Шкоричу, можно разделить пленочную воду на: стационарную пленочную воду, которая соответствует двукратному значению гигроскопичности и недоступна для растений, и подвижную пленочную воду, где водная мембрана достаточно толстая, чтобы вода могла перемещаться через растения. Существуют различные зоны: гигроскопическая, в которой сила превышает 50 бар, лентокапиллярная

(6,25-50 бар) и мембранная вода 0,50-6,25 бар, которая доступна для растений.

4. Вода в газообразном состоянии (водяной пар) физиологически полезна, если она переходит в жидкое состояние путем конденсации, и является постоянным компонентом почвенного воздуха. Воздух в почве насыщен водяным паром на 98%. Водяной пар в почве перемещается из более теплой области в более холодную или из области с более высоким напряжением в область с более низким напряжением.

5. Капиллярная вода очень подвижна и имеет большое значение для обеспечения растений водой, а также для физических и химических процессов в почве. В сухом климате она является единственным резервом для растения, и мерами, позволяющими сохранить капиллярную воду, являются глубокая обработка почвы, внесение мульчи и культивация. Капиллярная вода - это вода, которая заполняет самые узкие поры почвы благодаря действию поверхностного натяжения и возникает при увеличении влажности почвы. Капиллярная вода является наиболее экологически важной формой воды и является основным фактором динамики и плодородия почвы.

Свободная вода в почве находится в следующих формах: гравитационная, грунтовая вода и вода в форме льда. Для всех форм свободной воды характерна одна общая черта - когда они находятся в жидком состоянии, они перемещаются в боковом и вертикальном направлениях под действием наклона или под действием силы тяжести. Силы, которые прижимают воду к частицам почвы, - это, с одной стороны, натяжение влаги (поверхностные, гидростатические и гравитационные силы), а с другой - осмотическое давление водной фазы почвы. Силы когезии соединяют молекулы воды (водородные мостики и силы Ван-дер-Ваальса-Лондона), тогда как адгезия отвечает за их связывание с частицами почвы и образование двойного слоя. Адгезионная вода - это вода, находящаяся в поверхностном слое почвы и удерживаемая силами взаимного молекулярного действия между частицами почвы и поглощенной водой.

1. Гравитационная или выщелачивающая вода образуется в случае полного насыщения пор почвы водой. В таком состоянии насыщения вода просачивается через макропоры под действием силы тяжести и не связана с почвой. Гравитационная вода является основной формой свободной воды в почве. После выпадения осадков поры почвы заполнились водой и под действием силы тяжести она стекает в глубину или в сторону, вниз по склону. Размер пор в почве или текстура почвы сильно зависят от движения водного потока в почвенном профиле. Если почва имеет более легкий механический состав и содержит большее

количество некапиллярных пор, гравитационная вода будет проходить через почву быстрее, и меньше воды останется в почве. Существует две формы гравитационной воды: быстрая гравитационная вода (для крупных пор) и вода, которая постепенно стекает (для мелких пор). Гравитационная вода может удерживаться в мельчайших некапиллярных порах в течение нескольких дней во время влажного периода. Затем она набухает под действием собственного веса.

2. Подземная вода, находящаяся под определенным давлением в водопроницаемом слое между водонепроницаемыми слоями. Грунтовые воды - это еще одна форма свободной воды, которая образуется, если гравитационная вода сталкивается с непроницаемым слоем почвы. Грунтовые воды также могут быть связаны с речной водой, и тогда эта вода находится близко к поверхности (1,0-2,5 м). Воздействие грунтовых вод на почву зависит от их глубины и состава. Грунтовые воды не имеют значения для растений, если они находятся на большой глубине, но если они расположены высоко и слишком близко к поверхности почвы, то они оказывают негативное влияние на растения. Грунтовые воды полезны для растений, когда они доступны для корней благодаря капиллярному поднятию или, когда растения могут поглощать воду из более глубокого слоя с помощью длинной корневой системы. Грунтовые воды оказывают большое влияние на растения и почву, если они содержат растворимые соли.

3. Вода в виде льда или вода в твердом состоянии - это особая форма свободной воды. Эта форма воды не имеет большого значения для наших климатических районов. Замораживание и таяние отрицательно влияют на почву.

3. Передвижение влаги в почве

Три основные формы движения воды в жидком состоянии - это капиллярное движение, инфильтрация и фильтрация. Движение воды возможно через ненасыщенную и насыщенную почву. Движение возможно нисходящее, восходящее и боковое. Направление движения воды и скорость сильно связаны с состоянием возникновения воды, количеством, текстурой, структурой, пористостью, количеством органического вещества и силами, вызывающими движение. Основными причинами движения почвенной воды являются капиллярные силы, гравитация и гидростатическое давление.

Капиллярное движение воды происходит из зоны повышенной влажности в зону пониженной влажности, то есть в ненасыщенной почве в микропорах.

Инфильтрация – это неравномерное поглощение вертикальным и боковым движением в ненасыщенную почву под действием капиллярных, гравитационных и осмотических сил.

Фильтрация – это вымывание избыточной воды из насыщенной почвы в более глубокие слои через макропоры почвы под действием силы тяжести (и гидростатического давления).

Вода в почве движется в трех основных направлениях: нисходящем, восходящем и боковом. Нисходящий поток воды направлен вниз, при этом вода свободно стекает через макропоры почвы, в основном под воздействием гравитационной силы. Этот устойчивый поток воды в культурной инженерии соответствует понятию фильтрации. Восходящее движение воды поднимается к поверхности почвы и интерпретируется капиллярной теорией, мембранной теорией воды или разностью потенциалов (сила всасывания-натяжения). Согласно капиллярной теории, вода поднимается по профилю за счет силы сцепления, возникающей между частицами почвы и воды. Благодаря адгезии капилляры заполняются, и вода поднимается за счет силы мениска (адгезии) и за счет поверхностного натяжения. Согласно теории мембранной воды, ионы во внешней диффузной оболочке обладают всасывающей силой (осмос), которая заполняет капилляры. Частицы почвы, имеющие более тонкую мантию, принимают воду лучше, чем те, у которых мантия больше. Последней является потенциальная теория, в которой вода движется за счет напряжения от более влажного к более сухому участку. Латеральное (боковое и радиальное) движение воды интерпретируется капиллярной теорией, теорией мембранной воды и осмотического давления, а также теорией потенциала.

Снабжение почвы водой из более глубоких слоев почвы зависит не только от типа и состава, но и от метода обработки почвы в зависимости от ее назначения. Осадки, выпадающие на землю, не везде одинаково обильны. Многолетние гидрометеорологические и агрометеорологические измерения определяют среднесуточное, среднемесячное и среднегодовое количество осадков для конкретной территории, которое закономерно меняется от места к месту. Почти половина поступающей в почву воды испаряется в атмосферу, около $2/6$ теряется за счет выщелачивания и стока в понижения, ручьи, реки и различные стоячие воды, и только $1/6$ впитывается в почву, то есть около $1/6$ от общего количества осадков и влаги, поступающей в почву, остается доступной для растений. Удержание воды - очень важный фактор состава почвы. Это означает, что, например,

песчаные почвы значительно отличаются от глинистых с точки зрения удержания, поглощения и потери влаги. Любая почва обладает определенной степенью пористости, поскольку почва состоит из мельчайших фракций песка и даже крошечных частиц пыли. В зависимости от фракции песка меняется и размер пор, или степень проницаемости такой почвы. Глинистая почва, с другой стороны, состоит в основном из мельчайших частиц порошка и глины, между которыми образовалось или имеет возможность образоваться очень малое количество и диаметр пор, что ограничивает пористость данного типа почвы.

4. Потенциал почвенной влаги и сосущая сила почвы

Оценка состояния воды в почве, наряду с традиционным водобалансовым подходом, базирующимся на категориях почвенной влаги и почвенно-гидрологических константах, возможна и с термодинамических позиций. В этом случае одновременно с влажностью почвы необходимо получить характеристику энергетического состояния воды в почве.

Под энергетическим состоянием воды понимают внутреннюю энергию, заключённую в её массе. Для почвенной влаги она складывается из кинетической энергии хаотического движения молекул воды и потенциальной энергии взаимодействия молекул друг с другом, с ионами и молекулами растворённых в воде веществ и с поверхностями раздела твёрдой фазы почвы. С изменением энергетического состояния воды изменяются её свойства и характер её участия в протекающих в почве физических, химических, физико-химических и биологических процессах. Поэтому в почвах, различающихся своими свойствами, при одном и том же содержании воды её энергетическое состояние будет разным и, собственно, окажется неравнозначным влияние воды на процессы, протекающие в почвах.

Почвенная влага находится под одновременным влиянием различных по природе силовых полей – адсорбционного, капиллярного, осмотического, гравитационного. Выразить результирующее влияние этих разных по величине и направлению сил на энергетическое состояние почвенной влаги путём их простого суммирования для такой сложной системы, как вода в почве, практически невозможно. Поэтому для данной цели введено понятие термодинамического, или полного потенциала почвенной воды.

Полный потенциал почвенной влаги – работа (Дж \times кг⁻¹), которую необходимо затратить на преодоление водоудерживающих сил при извлечении из почвы единицы массы воды. Он складывается из суммы частных потенциалов, связанных с разными силовыми полями:

$$\Psi_t = \Psi_a + \Psi_k + \Psi_o + \Psi_g$$

где:

Ψ_a – адсорбционный потенциал;

Ψ_k – капиллярный потенциал;

Ψ_o – осмотический потенциал;

Ψ_g – гравитационный потенциал.

Экспериментально потенциал почвенной воды определяется через потенциал тензиометрического давления, который можно непосредственно измерить с помощью тензиометров или иным способом (методом сорбции-десорбции паров воды, психрометрическим методом, методом мембранного пресса).

Потенциал тензиометрического давления воды (или матричный потенциал) зависит от влажности почвы, определяющей характер водных плёнок и кривизну менисков, давления в газовой фазе, геометрии твёрдой фазы почвы (или матрицы), т.е. взаимного расположения почвенных частиц.

Потенциал почвенной воды – величина отрицательная, так как затрачивается работа (положительного знака) на его преодоление. Основная единица измерения потенциала Дж/кг. Эквивалентными терминами потенциала являются давление почвенной влаги, измеряемое в паскалях (Па = кг/с² \times м), и гидростатическое (гидравлическое) давление, измеряемое в см водного столба.

В почве насыщенной водой, потенциал почвенной влаги практически равен нулю. По мере уменьшения влажности почвы влага всё сильнее удерживается твёрдой фазой, что ведёт к снижению потенциала (увеличению его абсолютных отрицательных значений). Так, при влажности почвы, равной предельно-полевой влагоёмкости, давление почвенной влаги варьирует от -10^4 до -3×10^4 Па, а влажности завядания соответствуют значения от -6×10^5 до $-2,5 \times 10^6$ Па. Одновременно со снижением потенциала растёт суммарная сила, обуславливающая

способность почвы поглощать воду при контакте с ней. Соответственно, чем выше степень иссушения почвы, тем с большей силой она будет впитывать воду.

Способность почвы поглощать соприкасающуюся с ней воду получила название всасывающего давления или сосущей силы почвы. Всасывающее давление эквивалентно потенциалу почвенной влаги, но выражено положительной величиной. Проявление всасывающего давления, или невыравненности потенциалов, вызывает спонтанное передвижение воды от более увлажнённых участков почвы к более сухим. При этом движущей силой является не собственно разность потенциалов (давлений) между двумя точками, а градиент потенциала вдоль направления движения.

Движущая сила достигает максимальных величин в зоне фронта смачивания, т.е. там, где вода вступает в контакт с сухой почвой и продвигается вперёд. Здесь градиент потенциала достигает величин порядка нескольких сот и даже тысяч Дж \times кг⁻¹ \times см.

Всасывающее давление почвы можно определить в широком интервале влажности – от гигроскопической до полной влагоёмкости тензиометрами или капиллярометрами, и выражается оно в паскалях, атмосферах, сантиметрах водного столба ($1 \text{ Па} = 9,86 \times 10^{-6} \text{ атм} = 1,02 \times 10^{-2} \text{ см водн.ст.}$).

Всасывающее давление, развивающееся в почвах, варьирует в широких пределах. При полном насыщении почвы влагой оно равно 0 и возрастает по мере иссушения, приближаясь в сухой почве к значениям 10^7 см водн.ст. Оперировать такими величинами неудобно, поэтому предложено выразить всасывающее давление почвы не в см водн.ст., а десятичным логарифмом этого числа, обозначив его символом rF по аналогии с pH . Тогда у сухих почв rF будет стремиться к своему верхнему пределу, равному примерно 7, уменьшаясь по мере увлажнения почвы.

Дальнейшее развитие термодинамического подхода к оценке состояния воды в почве имеет большое значение для управления водным режимом в системе «почва-растение».

5. Механизм потребления воды растениями, термодинамический подход, осмотический потенциал

Процесс транспирации растений, поступление воды в растения, передвижение от корня к листьям также объясняется механизмом воздействия термодинамических потенциалов.

Движение воды в растениях происходит преимущественно за счёт пассивного или активного переноса осмотически активных веществ вместе с водой через мембрану. Одним словом, осмотический потенциал при поглощении корнями влаги (почвенный раствор) возникает между почвой и растением на границы мембран.

При растворении в воде другого вещества, концентрация её молекул, а, следовательно, и водный потенциал, снижаются. Таким образом, у всех растворов водный потенциал ниже, чем у чистой воды. Количественно это понижение выражают величиной, называемой осмотическим потенциалом (Ψ_o). Иными словами, осмотический потенциал – это мера снижения водного потенциала системы в результате присутствия в ней «неводных» молекул. Осмотический потенциал водного раствора всегда отрицателен. Чем больше в растворе молекул растворенного вещества, тем этот потенциал ниже. Если к чистой воде или раствору приложить давление, то водный потенциал возрастает, поскольку у жидкости возникает тенденция переместиться в другое место. Такая ситуация возможна в живой клетке. Например, когда за счёт осмоса в неё поступает вода, клетка набухает, и внутри неё повышается давление, называемое тургорным. Гидростатический потенциал обычно положителен, но в некоторых случаях, например, когда столб воды, висящий в ксилеме растения, растягивается, он может стать отрицательным (возникает отрицательное давление). На водный потенциал влияет как концентрация растворённого в воде вещества, так и давление, поэтому можно выразить его в виде уравнения: $\text{Водный потенциал} = \text{Осмотический потенциал} + \text{Гидростатический потенциал}$. Осмотический потенциал всегда отрицателен, а гидростатический обычно положителен.

Разница в водном потенциале между внешним и внутренним пространством мембраны является силой, позволяющей транспортироваться воде почвенной в корень растения. Потенциальное осмотическое давление клетки уменьшается при поступлении воды и увеличивается при её выделении.

Полупроницаемые мембраны имеют важное значение для водного режима растительной клетки. Клеточная стенка обычно полностью проницаема для любых растворённых молекул, поэтому её нельзя считать осмотическим барьером. В клетке часто имеется крупная центральная вакуоль, содержимое которой, клеточный сок, влияет на общий осмотический потенциал системы. В целом водный режим клетки зависит от двух мембран – плазмалеммы, окружающей снаружи цитоплазму, и тонопласта, ограничивающей вакуоль. Если растительная клетка контактирует с раствором, водный потенциал которого ниже, чем у её содержимого (например, с концентрированным сахарным сиропом), то

вода будет выходить из неё за счёт осмоса через плазмалемму. Сначала воды станет меньше в цитоплазме, а затем и в вакуоле, откуда она выйдет сквозь тонопласт. Протопласт, т.е. живое содержимое растительной клетки, окружённое клеточной стенкой, спадется и отойдёт от этой стенки, как бы сжавшись внутри неё. Этот процесс называется плазмолизом, а клетка в таком состоянии – плазмолизированной. Момент, когда протопласт ещё прилегает к клеточной стенке, но уже перестал оказывать на неё давление, называется начальным плазмолизом. В этот момент клетка теряет тургор, т.е. становится вялой. Вода будет покидать протопласт до тех пор, пока его содержимое по водному потенциалу не сравняется с окружающим раствором. Тогда установится равновесное состояние, и спадение протопласта прекратится. Обычно плазмолиз обратим, и не причиняет существенного вреда клетке. Если затем перенести клетку в чистую воду или в раствор с более высоким водным потенциалом, чем у цитоплазмы, то вода будет поступать в неё за счёт осмоса. По мере увеличения объёма протопласта он станет давить на клеточную стенку и растянет её. Эта стенка прочная и относительно жёсткая, поэтому давление на неё быстро возрастет – повысится гидростатический потенциал клетки. Внешне поступление в неё воды путём осмоса приведёт к набуханию, напряжённому состоянию, которое называется тургором. Говорят, что клетка становится тургесцентной, а давление друг на друга её содержимого и стенки называют тургорным. Полная тургесцентность достигается при погружении клетки в чистую воду. Когда водный потенциал окружающего клетку раствора уравнивается её возросшим гидростатическим потенциалом, внутрь будет проникать столько же водных молекул, сколько выходит наружу за то же время. Несмотря на продолжающееся их движение через мембрану, изменения системы в целом прекратятся.

6. Методика расчёта водопотребления сельхозкультур на засоленных почвах, снижение осмотического потенциала

Процесс передвижения в растении довольно сложный и требует отдельного рассмотрения. В настоящее время наше внимание обращено на процесс потребления влаги и влияния на это на это засоления как такового.

Избыточная концентрация солей оказывает как осмотическое действие, нарушающее нормальное водоснабжение растений, так и токсическое, вызывая отравления. В частности, отравление возникает в результате резкого нарушения азотного обмена и накопления продуктов распада белков. Сильное засоление замедляет синтез белков, подавляет

процессы роста. Засоление почвы угнетающе действует и на почвенные микроорганизмы (в том числе на те группы, жизнедеятельность которых весьма существенна для высших растений). В жарком и сухом климате с преобладанием в почве восходящего тока воды засоление встречается очень часто, на огромных площадях (большая часть территорий степной, полупустынной и пустынной зон). Вредное влияние высокой концентрации солей связано с повреждением мембранных структур, в частности плазмалеммы, вследствие чего возрастает его проницаемость, теряется способность к избирательному накоплению веществ. В этом случае соли поступают в клетки пассивно вместе с транспирационным током воды. Поскольку в большинстве случаев засоленные почвы располагаются в районах, характеризующихся высокой летней температурой, интенсивность транспирации у растений очень высокая. В результате солей поступает много, и это усиливает повреждение растений.

В зависимости от преимущественного накопления отдельных солей натрия засоление может быть сульфатным, хлоридным, содовым или смешанным. Наиболее вредное влияние оказывают ионы Na^+ и Cl^- . Под влиянием солей происходят нарушения ультраструктуры клеток, в частности изменения в структуре хлоропластов. Особенно это проявляется при хлоридном засолении.

Как показано в многочисленных экспериментах, особенно сильно действует на растения хлоридное засоление, в то время как сульфатное менее вредно. Меньшая токсичность сульфатного засоления, в частности, связана с тем, что в отличие от иона Cl^- ~ ион SO_4 в небольших количествах необходим для нормального минерального питания растений, и вреден только его избыток.

Проведение исследования по определению и влиянию на некоторые тепличные культуры.

Солевой статус определялся с помощью различных методов водной экстракции. Полученные результаты коррелировали с осмотическим давлением почвенного раствора. В качестве показателя использовались величины урожайности. Имело значение тип засоления, вид растворимых солей.

Вредный эффект высокого осмотического давления обычно является результатом препятствия поглощения воды сельскохозяйственной культурой.

Таблица 2

Относительный выход и электропроводность насыщенных экстрактов (ЕС)

культуры	Без		NaCl		KNO ₃	
	NaCl	KNO ₃	применение		применение	
	урожай	ЕС	урожай	ЕС	урожай	ЕС
Помидоры	100	5.0	82	7.4	89	7.1
Салат-латук	100	4.6	86	7.0	89	6.4
Сладкий перец	100	5.4	85	6.3	89	6.6
Эндивий	100	3.2	85	5.3	90	5.3
Цветная капуста	100	4.3	98	7.2	100	6.9
Фасоль	100	5.3	71	8.8	90	8.4
Шпинат	100	3.6	89	7.2	103	6.4

Результаты демонстрируют, что существует специфический эффект от различных солей. Применение хлорида натрия привело к большему снижению урожайности всех культур, чем нитрат калия. В данном случае показано, что это не хлорид калия вызвал ожог растений, при этом электропроводимость раствора не была значительно различна, т.е. скорее всего воздействие солей можно отнести к токсичным.

Повышение осмотического давления путём применения хлорида натрия привело к большему снижению урожая, чем применение нитрата калия. Осмотическое давление почвенного раствора может оказывать важное влияние на рост растений. Вредным является как высокое, так и низкое осмотическое давление. В теплицах часто можно регулировать осмотическое давление почвенного раствора путём тщательного контроля за внесением удобрений и поливом. Для этого необходимо регулярно проверять осмотическое давление. Низкое осмотическое давление почвенного раствора, как правило, способствует буйному росту. У плодоносящих культур это может привести к чрезмерному вегетативному росту и пропорционально недостаточному генеративному росту. Риск особенно велик в условиях плохой освещённости. Буйный рост также может повлиять на качество продукции.

Вредный эффект высокого осмотического давления обычно является результатом препятствия поглощения воды культурой. Следствием этого

является снижение урожайности. Помимо этого, называемого осмотического эффекта, повреждение урожая может также происходить из-за воздействия специфических ионов. Однако для большинства культур ущерб вызывается в основном осмотическим эффектом.

Результаты проводимых исследований показали, что снижение осмотического потенциала способствует поглощению водного раствора растениями и способствует тем самым продуктивности оросительной воды. К методам снижения осмотического потенциала относятся промывки почв, внесение мелиорантов.

6.1. Промывной полив

6.1.1. Характеристика задачи

Промывка земель – наиболее эффективный способ растворения и выноса солей из корнеобитаемого слоя почвы.

Необходимость промывки обусловлена значительным снижением урожайности сельхозкультур на засоленных почвах.

Опреснение почвенного слоя достигается проведением в хозяйстве в течение ряда лет эксплуатационных промывок. Размер промывных норм зависит от ряда природных факторов: фильтрационных свойств грунта, качественного и количественного содержания солей.

Выделение контуров по данным признакам внутри участка и расчёт дифференцированных промывных норм по выделенным контурам преследует одну из целей программирования урожая – выравнивание фона.

Расчёт промывных норм проводится по общепринятой методике А.Е. Нерозина

Задача решается на основании солевой съемки хозяйства, проводимой раз в 3 года.

Применение ЭВМ позволит провести расчёты в более сжатые сроки, с большей точностью.

Результаты решения задачи выдаются на АЦПУ в виде страниц документа «Паспорт поля», который затем передаётся в хозяйство.

Сбор исходной информации осуществляется группой внедрения, которая несёт ответственность за правильность заполнения, достоверность форм исходной информации.

6.1.2. Выходная информация

В результате решения задачи должны быть получены следующие страницы документа «Паспорт поля»:

а) Картограмма по засолению (по содержанию токсичных солей, % на метровый слой к сухой массе почвы), содержит карту поля и таблицу. Контуры выделены по следующим признакам: тип засоления, степень засоления. Таблица содержит расшифровку условных обозначений, а также площадь выделенных контуров. Внешний вид таблицы приведен на рис. 1.

б) Расчётные промывные нормы по контурам поля. Содержит карту поля и таблицу. Контуры выделены по следующим признакам: гранулометрический состав, тип засоления, степень засоления. В таблице перечислены площадь и промывная норма по каждому выделенному контуру. Внешний вид страницы приведён на рис.2.

Перечень выходных документов представлен в таблице 3. Перечень и описание структурных единиц информации выходных документов, имеющих самостоятельное смысловое значение, представлены в таблице 4.

**Картограмма по засолению (по содержанию токсичных солей,
% на метровый слой к сухой массе почвы)**

Съёмка _____ г.

Условные обозначения	Степень засоления	Тип засоления	Площадь
-------------------------	-------------------	---------------	---------

Рис. 1. Страница документа «Паспорт поля»

Расчетные промывные нормы по контурам поля

Условные обозначения	Площадь, га	Промывная норма, м ³ /га
----------------------	-------------	-------------------------------------

Расчёт произведён по программе на основании результатов почвенной съёмкигода.

Контуры поля выделены по следующим признакам: тип засоления, степень засоления, УГВ.

Рис. 2. Страница документа «Паспорт поля»

Таблица 3

Характеристика выходных документов (страницы документа «Паспорт поля»)

Наименование	Код документа	Периодичность	Сроки выдачи	Получатель информации
1. Картограмма по засолению		1 раз в 3 года	К началу вегетации	Хозяйство. Мелиоративная служба
2. Расчётные промывные нормы по контурам поля				Хозяйство. Мелиоративная служба

Таблица 4

Характеристика структурных единиц информации выходных документов

Наименование	Код документа	Требования к точности вычисления	
		Диапазон изменения	Длина в знаках
Площадь, га		0 + 999,99	9(3), 9(2)
Площадь, га		0 + 999,99	9(3), 9(2)
Промывная норма, м ³ /га	Стр. 14	0 + 99999	9(5)

6.1.3. Входная информация

Перечень и описание входных документов представлены в таблице 5.

Перечень и описание структурных единиц информации входных документов представлены в таблице 6.

При кодировании входных документов приняты следующие обозначения:

Входной документ № 1 кодируется и т.д.

Таблица 5

Описание входных документов

Наименование	Код документа	Частота поступления
1. Таблица результатов хим.анализа водной вытяжки почвогрунтов		1 раз в 3 года
2. «Почвенная карта»		1 раз в 10 лет

Таблица 6

Характеристика структурных единиц информации входных документов

Наименование	Требуемая точность		Код документа
	Диапазон изменения	Длина в знаках	
Хозяйство			
Место взятия проб (№ скважины)			
Глубина, см	0 + 100	9 (3)	
а) содержание Cl, %			
SO ₄ , %			
Б) содержание SO ₄ , мг-экв			
Cl, мг-экв			

6.1.4. Описание алгоритма

Почвенные образцы на содержание солей берутся по слоям 0+30, 30+70, 70+100 см.

В лаборатории в образцах определяется содержание и заполняется форма 1.

1. Определить средневзвешенные величины по Cl, SO₄ по данным хим. анализа.

Например: Cl'_1 - мг-экв для слоя 0+30;

Cl'_2 - мг-экв для слоя 30+70;

Cl'_3 - мг-экв для слоя 70+100.

$$\text{Сред. на метр. слой} = \frac{Cl'_1 \cdot 0.3 + Cl'_2 \cdot 0.4 + Cl'_3 \cdot 0.3}{1.0}$$

$$\text{Сред. на метр. слой} = \frac{SO_4'_1 \cdot 0.3 + SO_4'_2 \cdot 0.4 + SO_4'_3 \cdot 0.3}{1.0}$$

2. Найти отношение Cl средн. взвеш. / SO₄ средн. взвеш. и определить тип засоления

Если Cl свз./ SO₄ свз. ≥ 2 – хлоридный

1 – 2 – сульфатно-хлоридный

0,2 – 1 – хлоридно-сульфатный

\leq – сульфатный

3. Степень засоления определяется соответственно выборкой по таблице 9.

4. На карте агроучастка выделяются культуры по степени засоления (5 градаций).

5. Карта степени засоления накладывается на почвенную карту. В результате выделяются контуры.

6. Для каждого контура определяется по таблице 3. Объемная масса (dV) и почвенная влагоёмкость (ПВ) и выводятся значения A , W , h .

7. По формуле для каждого контура рассчитывается промывная норма

$$M = (\text{ПВ} - W) + S/K - (A - h),$$

где:

M - норма промывки, $\text{м}^3/\text{га}$;

ПВ - полевая влагоёмкость расчётного слоя, $\text{м}^3/\text{га}$;

W - содержание влаги в том же слое перед промывкой, $\text{м}^3/\text{га}$;

S/K - норма воды для вытеснения солей;

S - количество хлора, подлежащего вымыву из расчётного слоя, $\text{кг}/\text{га}$;

K - коэффициент промывного действия воды (по хлору), $\text{кг}/\text{м}^3$ (табл.4);

A - осадки, поступающие в почву за период от начала промывки до посева, $\text{м}^3/\text{га}$;

h - потери воды на испарение за тот же период, $\text{м}^3/\text{га}$.

$$S = 100 \cdot h \cdot dV (S_o - S_{\text{доп}}) 1000,$$

где

h - расчётный слой почвы, м ;

dV - объёмный вес почвы, $\text{г}/\text{см}^3$, ($\text{т}/\text{м}^3$);

$S_o, S_{\text{доп}}$ - исходное и допустимое содержание хлора в % к весу;

W, A, h - задаются как среднееголетние из агрометоблока

ПВ, dV, K - определяются по таблицам 3 и 4;

H - 1 метр.

$$S_{\text{доп}1} = 0.02, \quad S_{\text{доп}2} = 0.01, \quad S_o = 10^{z \cdot 5 + 8} \quad (1)$$

$$S_o = 10^{z \cdot \delta + 8}, \quad z = 1.28, \quad b = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \lg \cdot S_o^i \quad (2)$$

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (\lg S_o^i - b)^2} \quad (3)$$

Таблица 7

Агрофизические свойства почв

Механический состав	Слой 0 - 100 см	
	Объемная масса, г/см ³	Полевая влагоёмкость ПВ (от массы), %
1. Глины	1,44 – 1,50	24-26
2. Тяжёлые суглинки	1,39 – 1,44	22-24
3. Средние суглинки	1,35 – 1,39	20-22
4. Лёгкие суглинки	1,30 – 1,35	17-20
5. Супеси	1,25 – 1,30	14-17

Таблица 8

Коэффициенты промывного действия воды (при опреснении метрового слоя почвы по хлору до 0,02 %, верхних её горизонтов до 0,01 %)

Хлор до промывки в слое 0-100 см, %	Среднее содержание хлора, %	Коэффициенты вымыва хлора (кг/м ³ воды) при глубине залегания грунтовых вод до промывки, м		
		1,5	2,5	3,5
Средние по механическому составу почвы				
0,02 - 0,04		1,0	1,3	2,1
0,04 - 0,1	0,07	1,3	2,1	3,8
0,1 - 0,2	0,15	2,2	3,3	5,0
0,2 - 0,3	0,25	2,9	4,0	5,9
Тяжелые по механическому составу почвы				
0,02 - 0,04		0,7	1,0	1,3
0,04 - 0,1	0,07	1,0	1,5	2,9
0,1 - 0,2	0,15	1,8	2,6	4,0
0,2 - 0,3	0,25	2,4	3,3	4,7

Классификация почв по степени засоления

Степень засоления почвы	Содержание солей в почве, %	
	Хлоридные, сульфатно-хлоридные	Сульфатные, хлоридно-сульфатные
	Cl	SO ₄
Незасоленные	0,02	0,1
Слабая	0,02 - 0,04	0,3 - 0,4
Средняя	0,04 - 0,1	0,4 - 0,6
Сильная	0,1 - 0,2	0,6 - 0,8
Солончаки	0,1	0,8

6.2. Применение мелиорантов

Для повышения эффективности промывки засоленных земель и регулирования засоленности корнеобитаемого слоя почвы во время вегетации целесообразно применять предварительное опрыскивание почвы 10% раствором препарата «Биосольвент». Использование Биосольвента по сравнению с традиционными технологиями способствует не только снижению солёности почвы, положительным изменениям химического состава солей в почве, но и увеличению урожайности хлопка.

Результаты: при опрыскивании почвы сильного и среднего засоления 10% раствором Биосольвента перед промывкой и поливами хлопчатника выщелачивание токсичных для растений ионов выше по сравнению с обычной промывкой, вымыто большее количество вредных ионов: хлора на 35–42 %, сульфатов на 13–16 %, кальция на 21–28 %, натрия на 21–23 %. При обработке поверхности борозд 10% раствором перед поливом хлопчатника также установлено более существенное снижение содержания вредных солей, чем при обычном поливе. По обработанным бороздам вымыто солей на 18–23 % больше, а ионов хлора, сульфатов и кальция соответственно на 17, 18 и 14 %. В результате улучшения условий в корневой зоне хлопчатника была получена прибавка урожая 7,5 ц/га.

Литература

1. Water Plant and Soil Relation under Stress Situations. Written By. Adrijana Filipović. Submitted: April 16th, 2020 Reviewed: July 31st 2020 Published: September 16th, 2020 DOI: 10.5772/intechopen.93528
<https://www.intechopen.com/chapters/73223>
2. Руководство по управлению засоленными почвами. Под ред. Р. Варгаса, Е.И. Панковой, С.А. Балюка, П.В. Красильникова и Г.М. Хасанхановой ФАО Рим, 2017.
3. Germann, P. (2010), Comment on “Theory for source-responsive and free-surface film modeling of unsaturated flow”, *Vadose Zone J.* 9(4), 1000-1101.
4. Шеин Е.В. Курс физики почв.: Учебник. –М.: Изд-во МГУ, 2005. – 432 с. ISBN 5-211-05021-5.
5. Стулина Г. В. “Особенности водно-физических свойств почв при внутрпочвенном орошении в условиях Голодной степи”/ Диссертация на соискание учёной степени кандидата биологических наук, 06.01.03 – Почвоведение. Ташкент, 1981. С.-192.
6. Tosci, M. D., C. T. Kelley, and C. T. Miller (1997), Accurate and economical solution of the pressure-head form of Richards' equation by the method of lines, *Adv.*
7. Шеин Е.В., Воронин А.Д., Губер А.К. Использование почвенно-гидрологических констант для расчёта параметров гидрофизических характеристик почв. Почвоведение, № 5. М.: Наука, 1996. - С. 630-634.
<https://istina.msu.ru/publications/article/3252513/>
8. Судницын И.И. Экологическая гидрофизика почв. М.: Изд-во МГУ, 1995.
<https://soil.msu.ru/kafedry/kaf-fizika/fizika-sostav/434-313>
9. Gray, W. G., and S. Hassanizadeh (1991), Paradoxes and realities in unsaturated flow theory, *Water Resour*
10. *Celia et al.* A general Mass-Conservative Numerical Solution for the Unsaturated Flow Equation (англ.) // *Water Resources Research* (англ.) рус.: journal. - 1990. - Vol. 26, no. 7. - P. 1483-1496.
doi:10.1029/WR026i007p01483. — Bibcode: 1990WRR....26.1483C
11. Отчет о научно-исследовательской работе «Разработать типовые региональные информационно-вычислительные системы управления водным режимом при программном выращивании урожая». Д-П 5.1.2.1 Ташкент, 1989 г.(68-81)
12. Белицина Г.Д., Васильевская В.Д., Гришина Л.А., Евдокимова Т.И. Почвоведение. Том 1 — М.: Высшая школа, 1988. — 400 с. ISBN 5-06-001159-3
13. Vučić NV, Putanov P. *Vojvođanska akademija nauka i umetnosti, Vodni, vazdušni i toplotni režim zemljišta.* Novi Sad: Vojvođanska akademija nauka i umetnosti; 1987

14. *van Genuchten, M. Th.* A Closed-Form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils (англ.) // Soil Science Society of America Journal : journal. - 1980. - Vol. 44, no. 5. - P. 892-898.
15. Судницын И.И. Движение почвенной влаги и водопотребление растений. М.: Изд-во МГУ, 1979.
16. Škorić A. Tipovi naših tala. Zagreb: Liber; 1977
17. Дж. ван ден Энде, П. Куорнниф и К. Сонневельд Осмотическое давление почвенного раствора: (Neth. J. agric. Sei. 23, 1975: 181-190.
18. 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.
19. Глобус А.М. экспериментальная гидрофизика почв. Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1969, - 356 с. <https://www.twirpx.com/file/1202269/>
20. Судницын И.И. Новые методы оценки водно-физических свойств почв и влагообеспеченности леса. М.: Изд-во АН СССР, 1966.

Судницын И.И. Закономерности передвижения почвенной влаги. М.: Изд-во АН СССР, 1964.
21. *Richards, L.A.* Capillary conduction of liquids through porous mediums (англ.) // Physics : journal. -1931. - Vol.1, no.5.- P. 318-333.
doi:10.1063/1.1745010.- Bibcode: 1931Physi...1..318R

Верстка: Беглов И.

Подготовлено к печати
в Научно-информационном центре МКВК

Республика Узбекистан, 100 187,
г. Ташкент, м-в Карасу-4, д. 11А

sic.icwc-aral.uz