

Кислотность и щёлочность почвы. Влияние на урожай. Рост и развитие здорового пшеничного растения

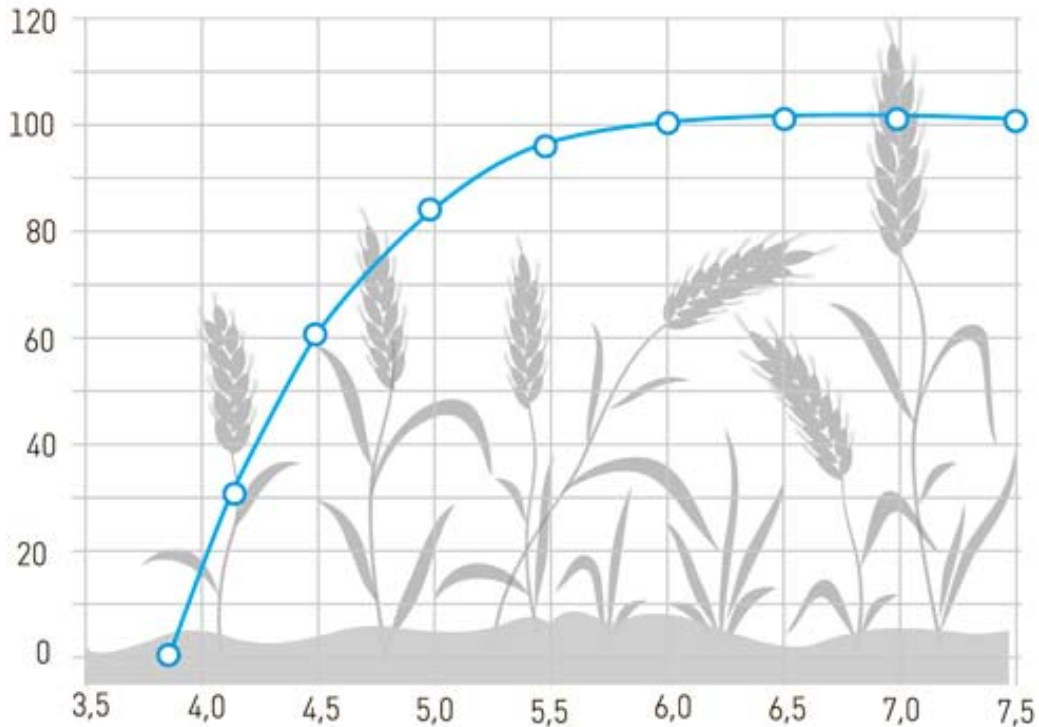


Повышенная кислотность и повышенная щелочность почв во всем мире ограничивают продуктивность пшеницы. Степень кислотности или щелочности – это относительное количество в почве ионов водорода H^+ , выраженное в единицах pH по шкале теоретических (возможных) значений от 1 до 14. Поскольку шкала логарифмическая, изменение pH всего на одну единицу означает

десятикратное изменение кислотности или щелочности. *(Продолжение, начало см. в №№7, 8, 9, 10/2011) (Опубликовано в № 11.2011 г.)*

Например, почва с $pH = 5$ в 10 раз превышает кислотность почвы, pH которой составляет 6, а почва с $pH = 4$ в 100 превышает кислотность почвы с $pH = 6$. Почвы со значением $pH = 7$ считаются нейтральными, а те, в которых это значение ниже, – кислыми, выше – щелочными. Почвы с pH ниже 6,6 в сельскохозяйственном производстве считаются кислыми. Для пшеницы значение pH между 5,5 и 7,5 является самым благоприятным для роста пшеницы и формирования высокого урожая. Но указанные значения pH могут быть разными для разных почв, разных мест выращивания и разных сортов пшеницы (рис. 1). В кислых почвах концентрация обменных кислотных катионов алюминия и марганца будет больше, чем концентрация основных катионов кальция, магния, калия и натрия, а в щелочных почвах наоборот. Считается, что для растения пшеницы питательные вещества оптимально доступны при значениях pH от 6 до 7 (рис. 2). При снижении указанного значения pH доступность ключевых питательных элементов либо очень снижается, либо повышается настолько, что элементы становятся токсичными для растения. Кислотность и щелочность также влияют на многие биологические процессы, протекающие в почве, а также на болезнетворные организмы, причиняющие вред пшенице, клубеньковые бактерии, которые развиваются на корнях бобовых растений и способны поглощать азот из атмосферы. Азот хорошо связывается клубеньковыми бактериями в нейтральных или щелочных почвах, а в кислых почвах этот процесс угнетается.

Рис. 1. Влияние pH почвы на урожай пшеницы, выраженный в процентном отношении к возможному урожаю, если кислотность не будет ограничивающим фактором



Кислые почвы

Кислотность почвы всегда была потенциальным ограничивающим фактором урожая пшеницы в регионах Северной Америки, где почва в своем естественном состоянии кислая. Однако это явление стало проблемой и для других регионов, в которых почва подкислялась азотными удобрениями. Применение извести для повышения pH почвы в регионах, где оно упало на две единицы, а также для снижения алюминиевой токсичности и повышения доступности питательных веществ стало нормальным явлением (фото 1).



Фото 1. Влияние кислой почвы (штат Оклахома)

Причины изменения кислотности почвы

Химический состав материала, из которого формируется почва, – определяющий фактор ее кислотности. Например, почвы, сформированные на известковых сланцах или известняке, имеют высокое изначальное значение pH. Для того чтобы они стали кислыми, нужно больше времени, чем для тех, которые образовались на гранитах и песчанике. Кроме того, на кислотно-щелочной баланс (pH) почвы влияет геологический возраст ландшафта – время, в течение которого из исходного материала формировалась почва. Чем длиннее период воздействия погодных условий и чем интенсивнее этот процесс, тем больше будет удалено из почвы исходного материала и, следовательно, будет ниже pH. Там, где годовой уровень осадков превышает годовую норму испарения и влага накапливается в почве, существует высокий потенциал выщелачивания растворимых солей и основных минералов вниз по профилю почвы, за пределы корневой зоны. Постепенно почва становится более кислой. Выщелачивание в процессе орошения может также стать причиной повышения кислотности почвы, в зависимости от интенсивности применения воды и ее щелочного баланса (pH). Аммонийный азот (NH_4^+), внесенный в почву или полученный в результате разложения пожнивных остатков и органического вещества почвенными бактериями, превращается в нитрат азот (соль азотной кислоты NO_3^-). Это преобразование аммония в нитрат азота происходит благодаря микроорганизмам. В результате такой реакции высвобождается два иона водорода H^+ , что приводит к повышению кислотности почвы. Кроме того, ионы аммония, смешанные в концентрированной форме с поверхностным слоем почвы, могут быть замещены другими основными ионами, такими как кальций и калий, которые впоследствии постепенно опускаются вниз по профилю почвы в процессе выщелачивания. В течение последних нескольких десятилетий этот процесс считается причиной увеличения кислотности почвы в тех местах, где почвы изначально были нейтральными или слегка щелочными.

Азотные удобрения начали активно использоваться для выращивания пшеницы и других культурных растений с 1950 годов. С появлением в 1960 годах новых высокоурожайных карликовых сортов пшеницы, которые имеют свойство положительно реагировать на применение высоких доз азотных удобрений, то есть без угрозы полегания стеблей, интенсивность использования азотных удобрений увеличилась еще больше. Вынос с урожаем кальция, калия и магния также в некоторой степени влияет на подкисление почвы. Стебли и листья содержат в 3-4 раза больше основных минералов, чем семена. Использование растений в качестве фуража или удаление соломы с поля в течение многих лет, в свою очередь, приводит к еще большему удалению минералов с поля по сравнению с вариантом, когда убираются только семена. Еще одна причина увеличения кислотности почвы – разложение органического материала, особенно в очень влажных почвах. Если разложение происходит при отсутствии достаточного количества кислорода, освобождаются ионы H^+ , много органических кислот и большой объем углекислого газа (CO_2). Углекислый газ реагирует с водой, в результате чего образуется угольная кислота. Если осуществляется дренаж почвы и восстанавливается поступление в почву кислорода, много кислоты удаляется из почвы с помощью

микроорганизмов или в результате других химических процессов. Вклад в окисление почвы со стороны разложения органической материи будет небольшим. Для незначительных изменений, которые наступают в результате этого процесса, понадобится много лет. Влияние кислотности почвы на физическое состояние и продуктивность пшеницы. Урожай пшеницы начинает уменьшаться с понижением pH почвы до 5,5-6. Уровень снижения урожая при повышении кислотности почвы зависит от сорта пшеницы, типа почвы и погодных условий в данном регионе. Прогрессирующее снижение урожая с понижением значения pH происходит не из-за более высокой концентрации ионов водорода в более кислой почве. Прямое влияние кислотности со стороны высокой концентрации водорода на рост пшеницы наблюдается только при значении pH ниже 3. Причиной снижения продуктивности пшеницы с повышением кислотности почвы является изменение растворимости многих ионов, содержащих питательные элементы. Растворимость одних ионов повышается настолько, что они становятся токсичными для пшеницы. Другие же ионы, наоборот, становятся до такой степени нерастворимыми, что растение испытывает недостаток в них. Высокая концентрация алюминия или марганца в нейтральных почвах не проявляют токсичности, но приводит к резкому снижению урожайности на кислых почвах. Алюминий не играет существенной роли в росте пшеницы, а вот марганец, медь и цинк существенно влияют на этот процесс. Низкое значение pH может также привести к тому, что медь, цинк и бор станут токсичными. При этом высокая концентрация этих ионов может стать причиной проявления на растениях симптомов дефицита питательных веществ. Высокая концентрация растворимого алюминия и марганца может быть помехой в поглощении, транспортировке или использовании растением некоторых питательных веществ, а именно кальция, калия, фосфора, магния и молибдена. Это приводит к дефициту в почве этих элементов, хотя при других условиях этого количества питательных элементов было бы достаточно для пшеницы. Дефицит фосфора является существенным фактором на кислых почвах, поскольку он связывается с железом и алюминием в нерастворимые соединения. Дефицит доступного фосфора может наблюдаться, если значение pH находится у другого края шкалы pH, то есть в щелочных почвах, в которых фосфор также образует малорастворимые соединения. Примером в данном случае может служить кальциевый фосфат.

Корректировка кислотности почвы

Кислотность почвы может быть снижена путем внесения известкового материала (рис. 3). Сельскохозяйственная известь (карбонат кальция, карбонат магния или их смесь) – самое распространенное средство для нейтрализации кислоты. Другие известковые материалы включают в себя кальциевые и магниевые окислы и окислы водорода, а также другие побочные продукты горной добычи.

Чистота продукта обычно оценивается по кальциево-углеродному эквиваленту (CCE) либо по содержанию кальциевого карбоната (ЕСС). Большинство штатов, где кислые почвы ограничивают урожайность пшеницы, определили основные направления тестирования почвы для выявления потребности в извести, чтобы помочь производителям правильно корректировать кислые почвы. Известковый материал должен быть перемешан с почвой на глубину 4-6 дюймов. Плохое перемешивание может привести к образованию целой сети затеков с высоким содержанием щелочи, которые будут чередоваться с кислотными затеками. При плохом перемешивании кислой почвы в верхнем слое может сформироваться слой с высоким содержанием щелочи.

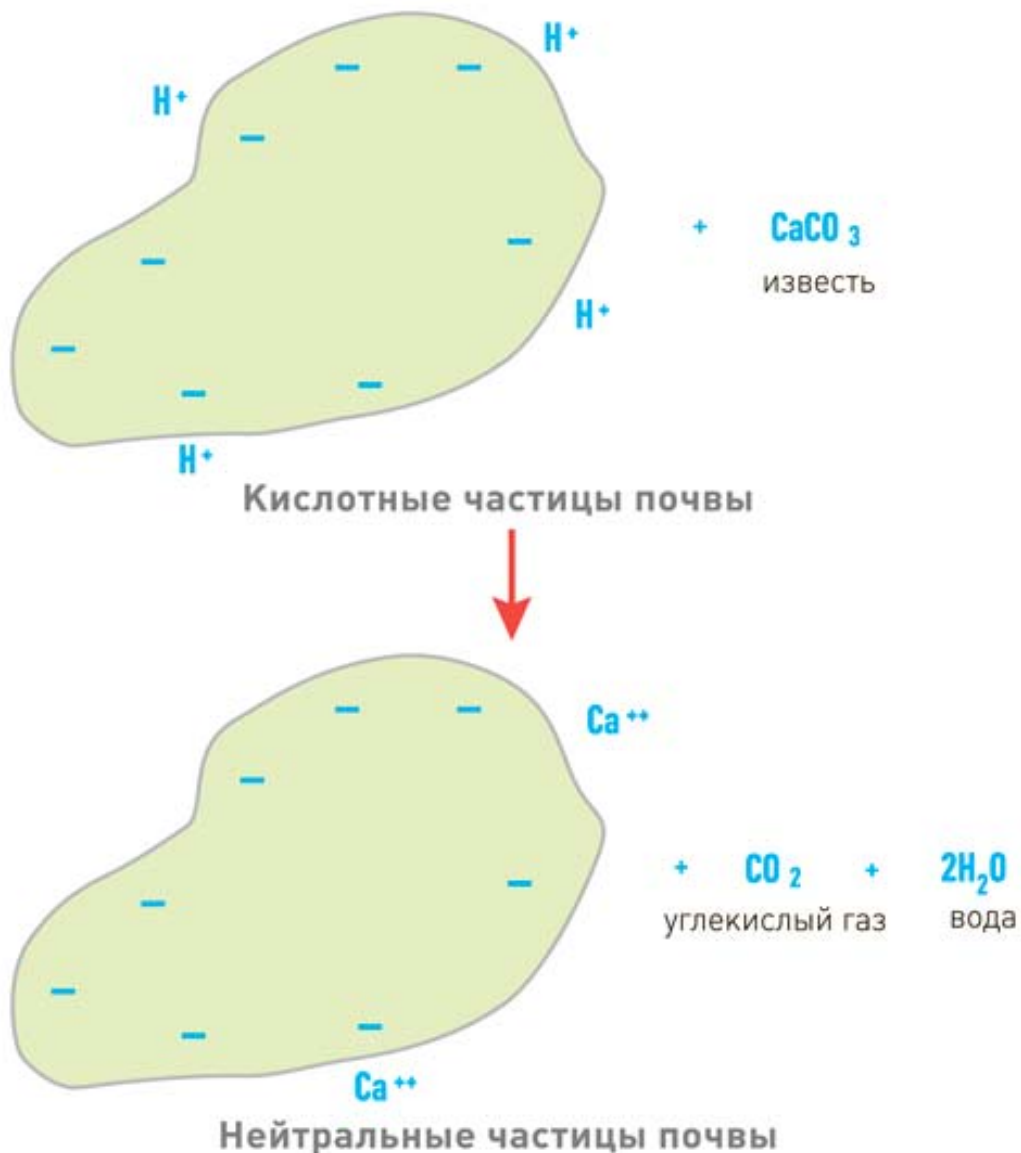
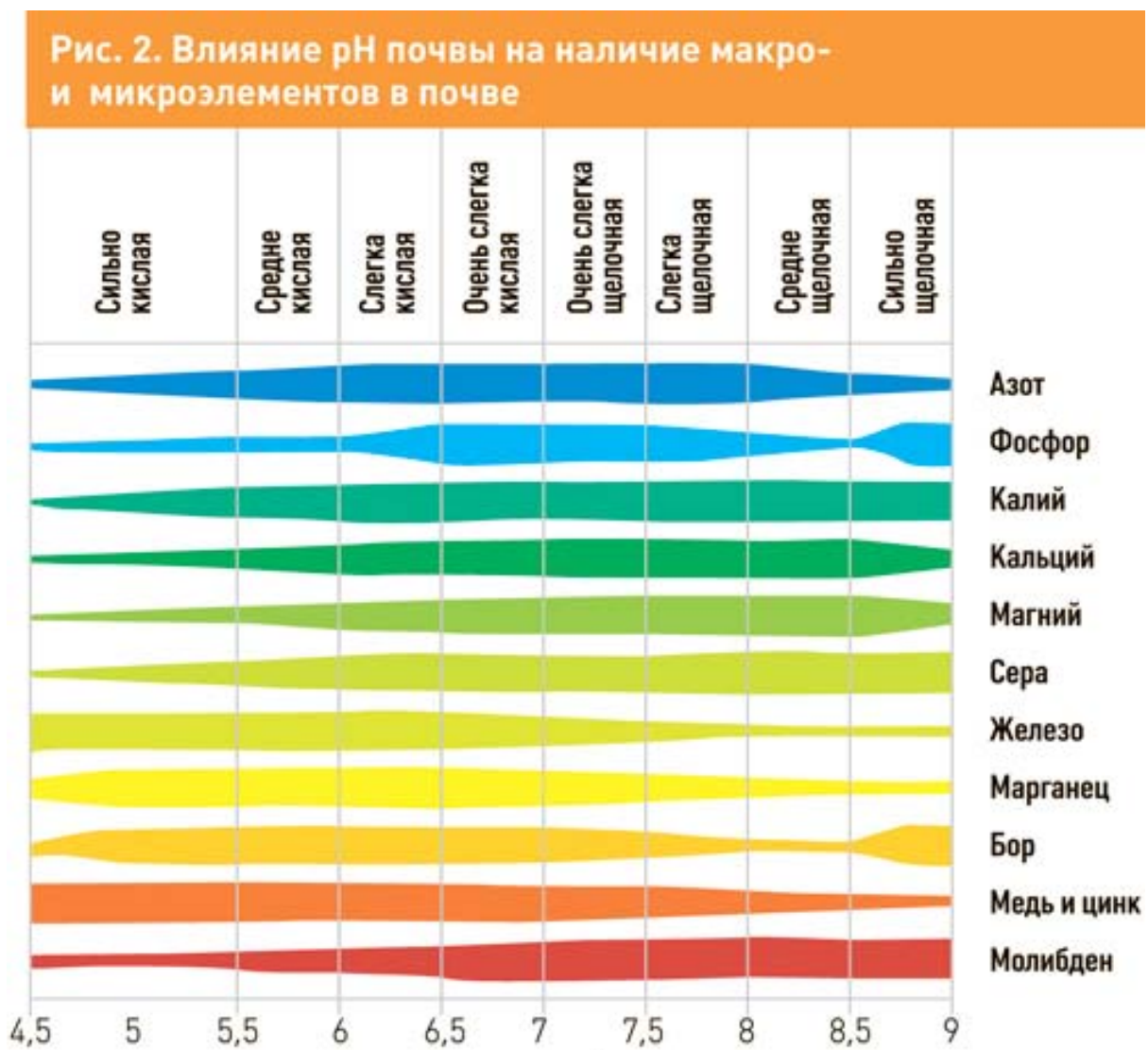


Рис. 3. Химическая реакция извести (карбонат кальция CaCO₃) и кислотных частиц почвы, в результате которой значение pH почвенного раствора становится нейтральным (Г. Джонсон, Р Узстерман, и Д. Минтер, 1988)

Щелочные почвы

Щелочные почвы влияют на состояние пшеницы и ее продуктивность через уменьшение доступности имеющихся в почве питательных веществ (рис. 2). Когда значение pH равно или больше 8, особенно дефицитным становится фосфор. Дефицит таких микроэлементов, как цинк и медь, также может иметь место, но это не очень сильно влияет на урожайность культуры (если наличие указанных элементов не будет слишком малым в корневой зоне). Ленточное внесение фосфора в щелочную почву, особенно вместе с аммонийным азотом, может помочь удерживать эти питательные микроэлементы в ней. Ленточное внесение фосфора уменьшает степень его контакта с почвой, и это способствует меньшему образованию растворимых солей, таких как кальциевый фосфат. Другим важным путем влияния щелочной почвы на рост, развитие и урожайность пшеницы является наличие лишней соли в почвенном растворе.



Засоленная почва и почва с высоким содержанием натрия

Засоленность почвы определяется содержанием в ней растворимых солей. Соли образованы в основном натриевыми, кальциевыми и магниевыми катионами с хлорными и серными анионами. Незначительную часть составляют калийные катионы, бикарбонатные, карбонатные и нитратные анионы, хотя при определенных условиях они могут быть основными составляющими частями почв.

Как кислотность, так и засоленность почвы может быть результатом унаследованных или остаточных свойств геологического исходного материала почвы, результатом процесса формирования почвы, ландшафта, результатом естественного дренажа или разграничивающих подпочвенных слоев. Иногда же главной причиной повышения уровня засоленности почвы является сельскохозяйственная практика использования почвы в засушливых местах, где интенсивно применяется орошение.

Считается, что для растения пшеницы питательные вещества будут оптимально доступны при значениях рН в пределах 6,0-7,0. Если уровень рН ниже, то ключевые питательные элементы будут либо менее доступны, либо наоборот, станут для растения токсичными

Натриевая (содовая) почва – это почва с высокой концентрацией натрия. Она создает дополнительные трудности для освоения почв из-за плохой структурированности и недостаточной пористости по сравнению с другими засоленными почвами. Традиционно используются три вида анализов для измерения содержания соли в почве: электропроводимость (EC), процент замещения натрия (ESP) и абсорбирующий коэффициент натрия (SAR). Показатель рН почвы также используется как индикатор наличия натрия в почве. Обычная почва имеет электропроводимость меньше 4 mmho/cm , процент замещения натрия – меньше 10%, абсорбирующий коэффициент – меньше 13 и рН – меньше 8,3. Самозасаливающая почва обычно делится на три категории: засоленная, засоленная натриевая, незасоленная натриевая.

Много солей – водный стресс

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. Реагируя на засоленность, растение направляет энергию не на рост, а на сохранение способности корневой системы поглощать воду. Это выражается в первую очередь в изменении размеров клеток. Клетки продолжают делиться, но не увеличиваются в размерах

в значительной степени. Соответственно, пшеница, выращенная на засоленной почве, всегда будет небольших размеров. Клетки с ограниченным размером также появляются в большом количестве у части растений, получивших водный стресс, обычно они имеют темный сине-зеленый цвет. Засоленность почвы в зависимости от количества и типа имеющейся соли также может быть причиной дисбаланса питательных веществ в растении. Высокий уровень содержания натрия может привести к дефициту в растении кальция и, возможно, даже магния. Растение более чувствительно к наличию соли в период прорастания семян и появления всходов, чем в более поздние фазы. На ранних стадиях развития повреждение растений и снижение густоты стояния начинаются при электропроводности, равной 4 mmho/cm .

Солончаки на сухих землях

Обрабатываемые площади полусухих земель на севере Великой Равнины и в других местах были утрачены из-за солончаков (фото 2). Многие из этих почв, а также их материнская порода в своем естественном состоянии были насыщены растворимыми солями, в основном в виде сульфатов натрия, кальция и магния. Солончаки образуются в результате того, что избыточная вода, проникающая вниз по профилю почвы, содержит в себе растворимые соли. Она формирует почвенные воды над водонепроницаемыми слоями (глина, сланец или скальный грунт) или концентрируется в высокопроницаемых слоях (песок, угольные пласты), под которыми лежит водонепроницаемый слой породы. Место, где происходит глубокое проникновение воды, называется участком перезарядки. Со временем такая вода поднимается до уровня 1,2-1,5 м, причем в других местах уровень грунтовых вод может составлять 4-5 м от поверхности. Затем по почвенным капиллярам грунтовая вода поднимается к поверхности почвы, в результате чего может сформироваться небольшой участок засоления. Испарение воды приводит к увеличению концентрации соли на поверхности почвы. Время, необходимое для формирования солончакового пятна, зависит от количества осадков, глубины непроницаемого или в большой степени проницаемого слоя, его подпочвенной топографии, а также от системы земледелия. Некоторые солончаковые пятна увеличиваются относительно быстро, но все-таки это длительный процесс – около 20 лет и больше. Удивительно, что солончаковые пятна могут быть проблемой даже в местах с годовым уровнем осадков, равным 10 дюймам (250 мм). Основной причиной образования неглубоких грунтовых вод, которые формируют солончаковые пятна, является система земледелия, при которой неэффективно используются имеющиеся осадки. Овощной севооборот является основным фактором просачивания воды и формирования солончаковых источников. В почве накапливается больше воды, чем может удержать почва в корнеобитаемой зоне. Глубокое проникновение воды под корнеобитаемую зону выражается не только в низком фактическом урожае культур и солончаковых пятнах, но и в снижении урожая из-за недостатка влаги для растений.

Когда значение рН равно или больше 8, особенно дефицитным становится фосфор. Ленточное внесение фосфора в щелочную почву, особенно вместе с аммонийным азотом, может помочь удержать в ней питательные микроэлементы

Перед ремонтом крана сначала надо перекрыть воду. Точно так же перед проведением превентивных мер и восстановлением солончаковых почв нужно прекратить глубокое проникновение воды в грунтовые воды. Этого можно добиться с помощью интенсивного земледелия с набором культур, способных максимально использовать имеющиеся в данном регионе осадки. Одним из подходов может быть использование летних паров в засушливые годы и посев культур исходя из имеющегося почвенного запаса влаги и предполагаемых осадков в период их роста и развития. Противозероэрозийная обработка почвы, обеспечивающая увеличение сохранения запасов почвенной воды, может позволить выращивать культуры, потребляющие много воды. Растения с глубокой корневой системой, потребляющие большое количество воды (например люцерна, подсолнечник, сафлор), на таких почвах ускоряют восстановление солончаков. При этом уровень грунтовых вод понижается, и солончаковые пятна высыхают. Выпадающие осадки будут постепенно перемещать соли в глубину почвы. В результате плодородность почвы повышается. Посев в солончаковых местах растений, которые хорошо выдерживают засоленность, способствует дренажу и восстановлению этой почвы. В некоторых ситуациях может быть необходимо осушение солончаков. Если почва имеет высокое содержание натрия, то, возможно, будет необходимо внести кальций. Для этого, как правило, используют гипс.

Солончаки, появившиеся вследствие ирригации

Проблема солончаков, возникших вследствие ирригации, может также стать причиной высокого уровня грунтовых вод. Ситуация, когда вода подходит к поверхности и испаряется, приводит к накоплению солей. Такое явление может возникнуть в результате просачивания воды из каналов, траншей, применения воды больше, чем ее может вобрать в себя почва, и в большем количестве, чем необходимо растениям, либо полив по слишком длинным для данной почвы и для данного культурного растения бороздам. Высокая концентрация соли в поливной воде увеличивает засоленность почвы на орошаемом поле независимо от дренажа и неглубокого уровня грунтовых вод. Во избежание вторичной засоленности почвы в результате орошения рекомендуется обеспечивать адекватный дренаж, использовать качественную воду, предотвращать утечку воды из систем при ее подводе к полю. Полив следует осуществлять так, чтобы не выливать лишнюю воду. Кроме того, следует предотвращать повышение уровня грунтовых вод. Усовершенствованный дренаж почвы необходим для восстановления засоленной почвы на орошаемых площадях. Поливная вода и осадки переместят излишнюю соль ниже, в корневую зону. При этом, если концентрация натрия высокая, для замены замещаемого в почве натрия необходимо добавлять кальций, в большинстве случаев в виде гипса.

Справка

Солончаковые почвы имеют электропроводность (ЕС) 4 ммho/cm, степень насыщенности натриевыми катионами (ESP) – меньше 15%, коэффициент поглощения натрия (SAR) – меньше 13, а рН – меньше 8,3 (см. таблицу 1). Появление на поверхности белой корки – обычное явление после высыхания солончаковой почвы. Поскольку концентрация натрия относительно небольшая, структура почвы и коэффициент фильтрации сравнимы с несолончаковыми почвами.

Несолончаковые натриевые почвы имеют электропроводность (ЕС) меньше 4 ммho/cm, степень насыщенности натриевыми катионами (ESP) – больше 15%, коэффициент поглощения натрия (SAR) – больше 13, а рН – обычно между 8,5 и 10.

Таблица 1. Химические параметры, определяющие солевые и натриевые почвы

Класс засоленности	ЕС (ммho/cm)	ESP (%)	SAR	рН
Зональная почва	<4,0	<15	<13	<8,3
Солончаковая почва	>4,0	>15	>13	>8,3
Несолончаковая натриевая почва	<4,0	<15	<13	<8,3
Солончаковая натриевая почва	>4,0	>15	>13	>8,3

Большое количество насыщенного натрия становится причиной депрессии частиц почвы и органической материи. Такие почвы имеют плохую структуру, низкую пористость, низкий коэффициент фильтрации воздуха и воды, а также склонны к образованию блюдеч на поверхности. Из-за низкого коэффициента фильтрации доступность воды для растения пшеницы со временем уменьшается. Содовые (натриевые) почвы часто встречаются небольшими площадями в регионах с малым количеством выпадения дождей, эти места часто называют «блестящими пятнами». Высота пшеницы, сила роста растений и достижимый урожай в таких местах обычно намного меньше, чем на прилегающих к ним полях.

Солончаковые натриевые почвы имеют электропроводность (ЕС) больше 4 ммho/cm, степень насыщенности натриевыми катионами (ESP) – больше 15%, коэффициент поглощения натрия (SAR) – больше 13, а рН – меньше 8,3 при наличии избытка растворимой соли. Но если соли выщелачиваются в подпочвенный профиль без добавления кальция, рН может увеличиться до 8,5, потому что натрий становится доминантным катионом. Тогда почва может стать натриевой, а натрий будет влиять на структуру и другие свойства почвы.

Р. Джеймс Кук, Министерство сельского хозяйства США, исследовательская сельскохозяйственная служба, Госуниверситет Вашингтона

Роджер Дж. Фесет, Служба по корпоративному распространению