

Гидрофизический подход к оценке состояния почвенной влаги и влагообеспеченности растений

НА. МУРОМЦЕВ, д-р с.-х. наук (Почвенный институт им. В. В. Докучаева)

Н.А. СЕМЁНОВ, д-р биол. наук (ВНИИ кормов)

А.В. ШУРАВИЛИН, д-р с.-х. наук (РУДН)

Ключевые слова: почвы, гидрофизическая характеристика, почвенная влага, потенциал, соли, влагопроводность, транс-пирация, влагообеспеченность растений

Keywords: soil, retention curve, soil moisture, potential, salt, soil water conductivity, transpiration, water sufficiency of plants

В статье изложены основные гидрофизические характеристики почвенной влаги и влияния на них содержания солей и других факторов природной среды. Рассмотрена роль потенциала влаги в её доступности для растений и закономерностях передвижения в системе «приземный воздух - растительный покров - почва - грунтовые воды». Установлены особенности потребления почвенной влаги растениями с использованием энергодинамического подхода.

Многообразие факторов, влияющих на состояние почвенной влаги, обуславливает необходимость использования в исследованиях сложных биоценологических систем, к которым относится и система «приземный воздух - растительный покров - почва - грунтовые воды», подходов и методов, применимых к составляющим их частям. Однако такие возможности появились лишь в рамках гидрофизики почв, базирующейся на термодинамическом (гидрофизическом) подходе. Внедрение в научные исследования методов гидрофизики почв наблюдается с 50-х годов XX в. За истекший период были достигнуты значительные успехи в развитии и усовершенствовании гидрофизического подхода как в теоретическом, так и в прикладном отношении. Появились крупные обобщающие работы, были разработаны и внедрены в научные исследования перспективные методы и приборы. Однако в 90-е годы наметился, а затем и усилился спад в развитии гидрофизических исследований. Стали, как и ранее, доминировать эмпирические подходы и статистические методы анализа экспериментальных данных.

Это и стало побудительным мотивом подготовки данной работы.

Состояние почвенной влаги (количество, активность, вязкость, подвижность и доступность для растений) является фактором, в значительной степени определяющим большинство почвенных процессов. Отсюда, в частности, вытекает очень важное положение о том, что движение и накопление в почвах влаги и химических веществ необходимо изучать с использованием единой методологической основы, каковой и является гидрофизический подход. Суть его состоит в том, что закономерности формирования, движения и трансформации влаги и химических веществ в почве оцениваются с позиций неравновесной термодинамики, а именно: с использованием термодинамического (химического) потенциала почвенной влаги. Он позволяет количественно оценить её состояние одновременно и раздельно во всех частях единой экологической системы «приземный воздух - растительный покров - почва - грунтовые воды». Гидрофизический подход включает специфические методы определения основных термодинамических характеристик: потенциала влаги, коэффициента влагопроводности и динамических критериев влагообеспеченности растений.

Под потенциалом почвенной влаги понимают полезную работу, которая может быть совершена посредством приложения извне сил для изотермического и обратимого переноса единицы массы или единицы объёма свободной химически чистой воды с заданного уровня в почвенный раствор.

Относительная величина изменения свободной энергии - величина отрицательная, и, следовательно, она меньше нуля.

На полный потенциал почвенной влаги влияют многие факторы; суммарный (полный) потенциал при изотермических условиях в интегральной форме выражается через четыре составляющие его компоненты:

$$P_p = P_k + P_{oc} + P_e + P_g$$

где P_p - полный потенциал влаги при изотермических условиях; P_k - капиллярно-адсорбционный потенциал (матричный), обусловленный свойствами твёрдой фазы почвы; P_{oc} - осмотический потенциал, вызванный наличием солей в почвенном растворе; P_e - потенциал внешнего газового давления (пневматический потенциал); P_g - гравитационный потенциал, связанный с относительным положением слоя почвы в поле тяжести земли.

Значение потенциала в отображении роли солей в энергетическом состоянии почвенной влаги. Вопросу влияния солей на состояние почвенной влаги посвящено много работ отечественных и зарубежных ученых. Однако энергетическое состояние почвенной влаги при этом раскрыто недостаточно полно. Наши исследования по влиянию солей на P_p , {Щ выполнены на почвах солонцового комплекса Северного Прикаспия, свойства которых подробно изложены в работе А.А. Роде и М.Н. Польского. Зависимости $P_p(W)$ в солончаковом солонце, светло-каштановой и темно-цветной почвах в полулогарифмическом масштабе имеют вид гипербол и аппроксимируются степенной функцией. Из рисунка видно, что расположение кривых $P_p(W)$ подчинено определённой последовательности, обусловленной различием в содержании солей и свойствах твёрдой фазы почв и отдельных слоев, характеризующих илистой фракцией. В пределах каждой зависимости можно выделить два вида отрезков по наклону их к абсциссе. Первый характеризуется значениями P в интервале $-(1 \dots 2) \cdot 10^2$ кПа, а второй $-(20 \dots 10) \cdot 10^2$ кПа. Формы кривых обусловлены совместным, но неравнозначным влиянием солей и твёрдой фазы почвы.

Чтобы выявить раздельное влияние содержания солей и илистой фракции на полный потенциал влаги $P_p(W)$, рассмотрим его значения при уменьшении влажности сначала в генетических горизонтах и слоях с одинаковым или близким содержанием илистой фракции, но при разном содержании солей, а затем, наоборот, при близком суммарном содержании солей, но при различном содержании илистой фракции.

В слоях 10 - 30 и 55 - 135 см солончакового солонца количество илистой фракции составляет около 33 %, а суммарное содержание солей соответственно 0,10 и 2,42 % массы почвы. При влажности последней 40 % P_p , в указанных слоях составляет -100 и $-13 \cdot 10^2$ кПа соответственно, то есть разность в значениях потенциала составляет $-12 \cdot 10^2$ кПа. При содержании влаги 20 % это различие возрастает до максимума ($-16 \cdot 10^2$ кПа). С уменьшением влажности до 15 % разность потенциалов снижается до $-13 \cdot 10^2$ кПа, при 14 % потенциалы становятся равными, а при 13 % P_p в слое 10-30 см становится больше, чем в слое 55-135 см ($-10 \cdot 10^2$ кПа и $-8,2 \cdot 10^2$ кПа соответственно).

Отсюда следует, что полный потенциал влаги в слоях засоленных почв с одинаковым содержанием ила, но с сильно различающимся количеством солей в интервале влажности от полной влагоёмкости (ПВ) до влажности завядания (ВЗ) ниже там, где больше солей. В интервале от ВЗ до максимальной гигроскопической (МГ) влаги потенциал ниже в слоях с меньшим содержанием солей. Подобная картина в соотношении потенциалов в слоях почвы с близким содержанием ила, но разным количеством солей наблюдается и в светло-каштановой почве.

Рассмотрим теперь зависимости $P_p(W)$, характеризующие близким содержанием солей, но разным количеством ила: слои 30 - 45 и 210 - 300 см солончакового солонца. Анализ этих кривых показывает, что в интервале влажности от 40 до 12 % P меньше в слое 30 - 45 см, то есть в слое с большим содержанием ила. Это значит, что решающим фактором понижения потенциала влаги в таких случаях является количество ила. Заметим, что кривые 1/л 2 имеют очень близкую форму, и в то же время они резко отличаются от остальных (кривые 3 - 11), которые также по форме близки между собой. То же самое характерно и для засоленной светло-каштановой почвы. Отсюда можно сделать вывод, что в сильнозасоленных почвах при высоком и среднем влагосодержании преимущественное влияние на P_p оказывает

содержание солей, тогда как при низкой влажности (около ВЗ и ниже) - твёрдая фаза почвы (количество ила).

Таким образом, при совместном воздействии на полный потенциал суммарного содержания солей и илистой фракции первые оказывают преимущественное влияние на Р в пределах ПВ - ВЗ. Заметное влияние количества ила на Рп начинает проявляться при влажности, несколько меньшей НВ, а преимущественное - при влажности от ВЗ и ниже. При одинаковом гранулометрическом составе разных почв, но при существенно различном содержании солей последние как бы «облегчают» гранулометрический состав, что подтверждается сдвигом зависимостей в сторону ординаты, то есть в область Р (W для почв лёгкого гранулометрического состава).

Роль потенциала при изучении закономерностей передвижения влаги в системе «приземный воздух - растительный покров - почва - грунтовые воды» и потребления её растениями. Второй по значимости гидрофизической (термодинамической) характеристикой почвы является коэффициент влагопроводности (К). В соответствии с законами неравновесной термодинамики поток влаги и химических веществ в рассматриваемой системе возможен лишь при наличии градиентов потенциала, направленных из атмосферы в листья растений и далее в почву и грунтовые воды. Интенсивность и величина потоков в значительной мере зависят от коэффициента влагопроводности системы, который определяется по модифицированному уравнению Дарси.

Движущей силой, определяющей поступление влаги из почвы в корни и движение её по растению, является градиент потенциала влаги в почве и корнях, с одной стороны, и между потенциалами влаги в корнях и листьях растений, с другой. Поскольку вода передвигается в направлении, противоположном градиенту потенциала влаги, то для её поступления из почвы в корни и листья растений необходимо, чтобы потенциал влаги в корнях был ниже потенциала почвенной влаги, а в листьях растений ниже, чем в корнях. По мере уменьшения количества почвенной влаги её потенциал понижается, поэтому для сохранения прежней скорости водного потока в системе необходимо, чтобы потенциал влаги в листьях растений понижался быстрее, чем потенциал почвенной влаги.