УДК 631.432

А. В. Человечкова

ОСНОВНАЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВ

ФГБОУ ВПО «Курганская государственная сельскохозяйственная академия имени Т. С. Мальцева»

A. V. Chelovechkova

MAIN HYDROPHYSICAL CHARACTERISTIC OF THE SOIL

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education
«Kurgan State Agricultural Academy by T. S. Maltsev»

В статье рассматривается основная гидрофизическая характеристика (ОГХ) – зависимость между капиллярно-сорбционным давлением влаги и влажностью, которую можно представить как в табличном виде, так и графически. ОГХ является одной из важнейших зависимостей для почв, так как капиллярно-сорбционное давление определяет поведение влаги в почве, направление и скорость ее движения и, следовательно, интенсивность увлажнения или высыхания. Форма и положение исследуемой зависимости определяется физическими свойствами почвы. Данная характеристика позволяет прогнозировать водно-воздушный режим почв.

Ключевые слова: почвенная влага, основная гидрофизическая характеристика, капиллярно-сорбционное давление, максимальная адсорбционная влагоемкость.

The article considers the main hydrophysical characteristics (IGC) - the relationship between capillary-sorption pressure moisture and humidity, which can be represented as in tabular form, and so graphically. IGC is one of the most important dependencies for soil, as capillary-sorption pressure determines the behavior of moisture in the soil, the direction and the speed of its movement and, therefore, the intensity of wetting or drying. The form and position of the investigated dependence is determined by the physical properties of the soil. This feature allows you to predict the water-air regime of soils.

Keywords: soil moisture, main hydrophysical characteristic, capillary-sorbcial pressure, maximum adsorbcial moisture capacity.

Анна Владимировна Человечкова
Anna Vladimirovna Chelovechkova
старший преподаватель
Россия, 641300, Курганская область,
Кетовский район, с. Лесниково, КГСХА
E-mail: chelovechkova_2011@mail.ru

Участвуя в гидрологическом цикле, круговороте воды в природе, почва играет роль аккумулирующей среды. Она способна накапливать и удерживать влагу, необходимую для развития растений. Вода в почве может находиться во всех агрегатных состояниях: твердом, жидком и газообразном, но удовлетворять потребности растений может только часть жидкой воды, называемая доступной влагой. Частично растения могут потреблять воду из парообразного состояния.

Чтобы питательные вещества могли поглощаться корнями растений, они должны быть растворены в воде. Поэтому очень важно нормальное и своевременное поступление воды в почву. Однако не всякая почва способна принять нужное количество воды. Вода, попадающая в почву, должна сохраниться в поверхностном слое для того, чтобы поддерживать жизнедеятельность растений в засушливое время. Растения на почвах с плохой водоудерживающей способностью могут пострадать даже во время непродолжительной засухи. Чем мельче почвенные частицы, тем больше молекул воды и питательных частичек могут к ним присоединиться и задержаться в почве до поглощения корнями растений. Чтобы оценить подвижность почвенной влаги и ее доступность растениям, недостаточно сведений о количестве воды в почве. Необходимо также характеризовать энергетическое состояние почвенной влаги. Именно такая оценка дает представление о величине сил, удерживающих и движущих воду в почве, и позволяет измерить исходные параметры, входящие в уравнения для расчета передвижения воды в почве и в системе «почва – растение – атмосфера».

Для характеристики энергетического состояния воды используют термодинамический потенциал. По результатам измерения потенциала воды при ее различном содержании в почве строят кривые зависимости потенциала от влажности, откладывая по горизонтальной оси влажность в процентах или долях единицы, а по вертикальной – значение потенциала почвенной влаги. Для обозначения зависимости между матричным потенциалом воды и влажностью почвы в отечественном почвоведении был введен термин «основная гидрофизическая характеристика» почвы (ОГХ) [3]. До и после того в зарубежной англоязычной литературе использовались синонимы «moisture charecteristik» и «retentivity (function)» (по-

следний даже был утвержден Международной терминологической комиссией по физике на X Международном конгрессе почвоведов в 1974 г.). Термин ОГХ оказался жизнеспособным и широко используется специалистами как в отечественной, так и в зарубежной литературе.

Словосочетания «гидрофизика почв», «гидрофизические свойства почв» были впервые применены в монографии Воронина [3]. До этого были известны «Гидрофизика моря» академика Шулейкина, «Гидрофизика болот» одного из учителей автора статьи В. В. Романова [5]. Наиболее распространенным эквивалентом термина «гидрофизические свойства почв» были «водные свойства почвы» - выражение, используемое в настоящее время. Его употребление представляется обоснованным, когда речь идет о таких практически полезных понятиях, как полевая или наименьшая влагоемкость (НВ), влажность завядания (ВЗ), влажность разрыва капиллярной связи (ВРК).

Формирование современных представлений о гидрофизических процессах происходило на основе термодинамики и гидромеханики. Здесь существенно отметить, что обе дисциплины, по крайней мере применительно к почвам, трактуют свой объект в известной мере как черный ящик – обстоятельство, порождавшее определенный протест в среде российских почвоведов, всегда стремящихся проникнуть в суть явлений. Отражением этого является непрекращающийся интерес к изучению «форм влаги», «разрыву капилляров» и т. п. Анализ показал, что среди множества водных свойств, водных констант, гидрофизических характеристик есть функция, представляющая собой своего рода связующее звено между термодинамикой и гидромеханикой почв, физиологией растений, физикой приземного слоя воздуха и содержащая в неявном виде важнейшую информацию о почве, необходимую для применения двух законов: закона переноса «поток = проводимость × движущая сила» и закона сохранения «изменение концентрации в элементе объема за единицу времени = изменение потока на отрезке + источник/сток». Итогом сочетания этих законов является дифференциальное уравнение, решение которого получают интегрированием, а величины, входящие в эти законы, должны быть дополнены краевыми (начальными и граничными) условиями, из которых находят постоянные интегрирования. После такого заключения функцию, связывающую эти законы было естественно назвать основной гидрофизической характеристикой почв, поскольку такое определение удовлетворяло логическому требованию необходимости и достаточности информационной емкости этой функции.

Основная гидрофизическая характеристика – в физике почв изотермическая равновесная зависимость между капиллярно-сорбционным (матричным) давлением почвенной влаги и влажностью (обычно объемной). Гидрофизическая термодинамика интересуется тем, что Мичурин назвал «Энергетика почвенной влаги» [4], то есть в основном ее свободной энергией F, энтропией S и энтальпией H. Первая определяет статику и динамику воды в почве, ее взаимодействие с корневыми системами и приземным слоем воздуха, вторая может сообщить кое-что о порядке или беспорядке в среде молекул воды, покрывающей твердые частицы, и о температурной зависимости потенциала, третья нужна при составлении энергетического баланса почвы. Первая из этих трех величин отличается от двух других, во-первых, гораздо большим диапазоном встречающихся значений, во-вторых, тем, что находит несравненно более широкое употребление из-за связи с геометрией водного тела и твердой фазы, в-третьих, тем, что указывает энергетическую связь между твердой, жидкой и парообразной фазами воды, в-четвертых, тем, что достаточно легко определяется непосредственно, и, в-пятых, тем, что две другие величины могу быть вычислены с ее помощью, поскольку $S = -\partial F/\partial T$ и $H=F+TS$. Фактором, вызывающим особенно значительные изменения F, является влажность почвы W. Ни один другой фактор не способен привести к таким сильным изменениям величины F. Именно зависимость между свободной энергией F и влажностью W в диапазоне изменения последней от воздушно-сухого (или даже более сухого) состояния до полного насыщения и была названа ОГХ, хотя на практике для ОГХ обычно приводят более узкие диапазоны обеих величин. Значение величины F, отнесенное к единице объема воды, имеет размерность давления P, а отнесенное к единице веса воды – размерность напора H. Обе величины в общем случае только и выступают в функции эквивалента F, точнее, ее удельной парциальной величины – химического потенциала воды μ (потенциала Гиббса) и его матричного компонента ψ (энергетического потенциала воды), то есть являются эквивалентным давлением и эквивалентным напором.

Обычно ОГХ представляется в графической

форме (реже в виде таблицы), как зависимость капиллярно-сорбционного давления от влажности (рисунок 1).

На графике ОГХ область давлений влаги от 0 до (–10…–70) см водн. ст. называется областью насыщения почвы водой, так как в почвенные капилляры не входит воздух. Область от (–30…–70) до (–500…–1000) см водн. ст. называется капиллярной или капилляриметрической. Диапазон давлений влаги (–1000…–30000) – область пленочной влаги (или область мембранного пресса). Область давлений ниже –30000 см водн. ст. – гигроскопической или адсорбционной. Названия эти качественно отражают состояние влаги и соответствуют используемым методам получения ОГХ.

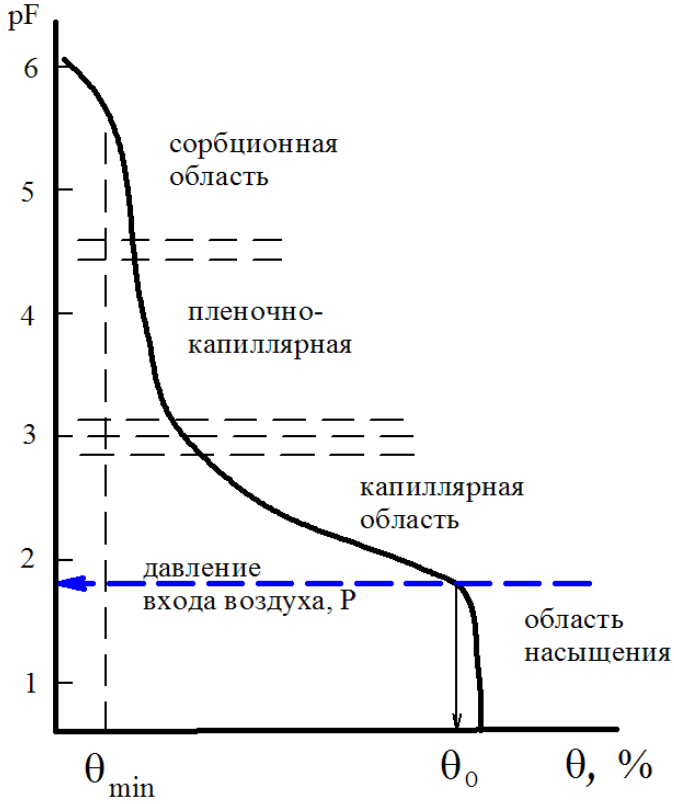

Рисунок 1 – ОГХ почвы и некоторые наиболее характерные области и точки

Поскольку эта зависимость определяется для весьма широкого диапазона капиллярно-сорбционного давления, то для ее выражения используют, как правило, логарифмическую шкалу. Скофилдом была предложена специальная величина pF – десятичный логарифм абсолютной величины капиллярно-сорбционного давления, выраженного в см водного столба. Для этой шкалы выделяют качественные области ОГХ: насыщения (соответствует pF 0 – 1,7), капиллярную (pF 1,7 – 3), пленочную (pF 3 – 4,5) и сорбционную (pF > 4,5) с недоступной для растения влагой (pF > 4,18). Вид и форма ОГХ специфичны для каждого почвенного образца и характеризуют структуру порового пространства, гранулометрический и минералогический составы. ОГХ несет в себе информацию о многих почвенных свойствах, отражая в форме кривой и положении в осях «pF-влажность» воздействие тех или иных факторов. Связь между влажностью и потенциалом характеризуется наличием гистерезиса, то есть несовпадением форм кривой при увлажнении и иссушении образца. Одной и той же величине потенциала соответствуют различные влажности почвы в зависимости от истории ее высыхания и увлажнения. Основными причинами капиллярно-сорбционного гистерезиса, охватывающего практически весь диапазон влажности почвы, являются: нерегулярность формы порового пространства, в котором большие пустоты сменяются более узкими каналами; различие в углах смачивания при заполнении и дренировании пор; наличие тупиковых пор с защемленным в них воздухом; специфическая геометрия поверхности раздела «вода – воздух» при смачивании частиц, образующих почву [6]. Под ОГХ обычно понимают ветвь обезвоживания почвы, поскольку в естественных условиях в почвах обычно быстро протекающий процесс их увлажнения (при осадках или поливах) сменяется сравнительно длительным периодом иссушения, определяющим рост и развитие сельскохозяйственных растений. В рамках капиллярной модели это означает, что каждому эквивалентному давлению может быть сопоставлен радиус самого узкого участка порового канала. Таким образом, с помощью ОГХ характеризуют пористость почвы.

Одним из фундаментальных свойств почвы является ее гранулометрический состав. Чем мельче частицы твердой фазы почвы (больше дисперсность), тем заметнее проявляются в ней процессы сорбции влаги, молекул и ионов растворенных веществ, тем прочнее закрепляется органическое вещество. Вполне понятно, что с увеличением количества мелких элементарных частиц почвы увеличивается количество тонких капилляров. Поэтому при одном и том же давлении влаги в почвах тяжелого гранулометрического состава влага будет содержаться во многих капиллярах, соответствующих данному давлению (суглинок, глина). В легких же почвах тонких капил-

ляров немного, в основном крупные, удерживающие влагу при весьма высоких давлениях, или при очень низких pF (песок). Поэтому влажность, соответствующая данному давлению, в песчаных почвах будет ниже; водоудерживание в песчаных почвах меньше. При облегчении грансостава ОГХ сместится в сторону меньшей влажности (Воронин, 1984) [3]. Кроме этого по графику ОГХ почвы можно оценить ее минералогический состав, распределение пор по размеру, содержание органического вещества в почве, осолонцевание почв.

Не существует метода, позволяющего определить ОГХ во всём диапазоне pF. Примерно до pF 2,9 возможно использование тензиометра в сочетании с отбором проб на влажность (полевой метод) или его варианта – капилляриметра: тензиометра, опущенного в насыщенную водой почву и соединённого другим концом с насосом (лабораторный метод). Задание воздуху в капилляриметре известного давления приводит к выходу в него из почвы некоторого количества воды, которое следует измерить после достижения равновесия. Капиллярно-сорбционное давление будет равно давлению воздуха с поправкой на давление столба воды в приборе, влажность находят методом обратного пересчёта. На сходных принципах основывается устройство тензиостата.

В области pF до 5, а иногда и выше, может быть использован мембранный пресс. Его принцип действия: на тонкопористую мембрану кладётся насыщенный образец почвы и над ним создаётся повышенное давление газа. Под мембраной сохраняется атмосферное давление и вода будет выходить из почвы, а её давление снижаться, до тех пор пока по абсолютной величине не сравняется с избыточным давлением газа над образцом.

При еще больших значениях pF используют гигроскопический метод (или метод равновесия над растворами солей). В эксикаторе над раствором соли устанавливается строго определённое относительное давление пара воды, после достижения равновесия в почве создастся соответствующее давление (потенциал) влаги. Остаётся только определить влажность.

Таким образом, информация, содержащаяся в ОГХ, сама по себе и в сочетании с дополнительными данными играет существенную роль в описании динамики поля влагосодержания почвы, осуществляющейся за счет потоков влаги. Кривые ОГХ позволяют определять возможное направление передвижения влаги между компонентами системы «почва – растение – атмосфера»; измерять градиент потенциала влаги между точками почвенного профиля – один из необходимых параметров для расчета потока влаги в почве; рассчитывать влагопроводность почвы при разной влажности; рассчитывать распределение влажности над уровнем грунтовых вод; определять границы между полутвердым, пластичным, текучим состоянием почвы и соответственно влажность, оптимальную для механической обработки и т.д.

Изменения ОГХ позволяют количественно охарактеризовать эффективность мелиорации, направленной на улучшение водно-воздушного режима почвы. Обычно считают, что благоприятный воздушный режим наступает, когда доля свободных пор бывает не менее некоторой определенной величины, например 20 % пористости. У различных почв такое состояние соответствует различным значениям давления, тем более низким, чем тяжелее почва.

Поскольку данная характеристика позволяет прогнозировать водный режим почв и влагообеспеченность растений, то она получает все более широкое распространение в различных областях почвоведения и смежных дисциплинах.

Список литературы

1 Глобус А. М. Экспериментальная гидрофизика почв. – Л., 1969. – 356 с.
2 Воронин А. Д. Кривая водоудерживаемости почвы. – М., 1980. – 107 с.
3 Воронин А. Д. Структурно-функциональная гидрофизика почв. – М., 1984. – 206 с.
4 Мичурин Б. Н. Энергетика почвенной влаги. – Л., 1975. – 140 с.
5 Романов В. В. Гидрофизика болот. – Л., 1961. – 359 с.
6 Чайльдс Э. Физические основы гидрологии почв. – Л., 1973. – 427 с.