ИЗОТЕРМЫ СОРБЦИИ ПАРОВ ВОДЫ ПОЧВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫМИ ДОБАВКАМИ

Шамуратова М.Р.
Институт общей и неорганической химии Академии наук Республики Узбекистан
E-mail: shamuratovamr@mail.ru
Абдикамалова А.Б.
Институт общей и неорганической химии Академии наук Республики Узбекистан
Эшметов И.Д.
Институт общей и неорганической химии Академии наук Республики Узбекистан

Аннотация. В работе представлены результаты исследования изотерм сорбции паров воды и физико-химических свойств серозёмной и засоленной почв, модифицированных добавками карбоксиметилцеллюлозы - КМЦ и продукта частичного гидролиза полиакриламида - К9. Изотермы сорбции, представленные в графическом виде, использованы для оценки влияния указанных добавок на влагоудерживающую способность и особенности пористой структуры почв различного типа. Анализ формы изотерм позволил выявить различия в механизмах сорбции воды, обусловленные как типом почвы, так и природой органической добавки. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности применения КМЦ и К9 для регулирования сорбционных и физико-химических свойств серозёмных и засоленных почв.

Ключевые слова: изотерма сорбции, пары воды, серозёмная почва, засоленная почва, КМЦ, К9, влагоудерживающая способность, пористая структура, органические добавки.

Annotatsiya. Ushbu ishda karboksimetilsellyuloza KMS va poliakrilamidning qisman gidroliz mahsuloti K9 qo‘shimchalari bilan modifikatsiyalangan bo‘z va sho‘rlangan tuproqlarning suv bug‘lari sorbsiyasi izotermalari va fizik-kimyoviy xossalarini o‘rganish natijalari keltirilgan. Grafik ko‘rinishida keltirilgan sorbsiya izotermalaridan ko‘rsatilgan qo‘shimchalarning har xil turdagi tuproqlarning namlikni saqlash qobiliyati va g‘ovakli tuzilishining xususiyatlariga ta’sirini baholash uchun foydalanilgan. Izotermalarning shaklini tahlil qilish tuproq turi va organik qo‘shimchaning tabiati bilan bog‘liq bo‘lgan suvni sorbsiya qilish mexanizmlaridagi farqlarni aniqlash imkonini berdi. Olingan natijalar bo‘z va sho‘rlangan tuproqlarning sorbsion va fizik-kimyoviy xossalarini boshqarish uchun KMS va K9 dan foydalanish maqsadga muvofiqligini ko‘rsatadi.

ISSN 3030-3907

Kalit so‘zlar: sorbsiya izotermasi, suv bug‘lari, bo‘z tuproq, sho‘rlangan tuproq, KMS, K9, namlikni ushlab turish qobiliyati, g‘ovak tuzilish, organik qo‘shimchalar.

Abstract. The work presents the results of studying the sorption isotherms of water vapor and the physicochemical properties of serozem and saline soils modified with the addition of carboxymethylcellulose - CMC and the partial hydrolysis product of polyacrylamide - K9. The sorption isotherms presented in graphical form were used to assess the influence of these additives on the moisture retention capacity and the characteristics of the porous structure of various soil types. Analysis of the shape of the isotherm allowed to identify differences in the mechanisms of sorption of water, due to both the type of soil and the nature of the organic additive. The results obtained indicate the usefulness of CMC and K9 for controlling sorption and physico-chemical properties of acidic and saline soils.

Keywords: sorption isotherm, water vapour, serous soil, salted soil, CMC, K9, moisture retention capacity, porous structure, organic additives.

ВВЕДЕНИЕ.

В условиях глобальных климатических изменений и усиления процессов деградации почвенного покрова особую актуальность приобретает изучение физико-химических свойств почв, определяющих их водный режим и устойчивость к неблагоприятным природным и антропогенным факторам [1-3]. Влагоудерживающая способность почв является одним из ключевых параметров, влияющих на их продуктивность, структурное состояние и экологические функции, особенно в аридных и засоленных регионах [4].

Сорбция паров воды поверхностью почвенных частиц определяется их минералогическим и химическим составом, развитием пористой структуры, а также наличием функциональных групп, способных к образованию водородных и ион-дипольных взаимодействий с молекулами воды [5, 6]. Одним из наиболее информативных методов исследования этих процессов является анализ изотерм сорбции паров воды, позволяющий получить сведения о механизмах адсорбции, распределении пор по размерам и степени гидрофильности поверхности твёрдой фазы почвы [7-9].

В последние годы значительное внимание уделяется применению водорастворимых полимерных добавок для регулирования физико-химических и структурных свойств почв. Показано, что такие полимеры способны модифицировать поверхность почвенных частиц, повышать их гидрофильность и оказывать существенное влияние на процессы сорбции и удержания влаги [10-12]. Особый интерес представляет использование полимерных модификаторов для улучшения свойств серозёмных и

ISSN 3030-3907

засоленных почв, характеризующихся пониженной влагоёмкостью и нарушенной структурой [13, 14].

В связи с этим целью настоящей работы является исследование изотерм сорбции паров воды и анализ физико-химических свойств серозёмной и засоленной почв, модифицированных полимерными добавками, с использованием сорбционных и ИК-спектроскопических методов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. Объектами исследования служили образцы серозёмной и засоленной почв, отобранные и подготовленные в воздушно-сухом состоянии по стандартной методике. Перед проведением экспериментов почвенные образцы подвергали предварительному просеиванию для удаления крупных включений. В качестве модифицирующих добавок использовали карбоксиметилцеллюлозу (КМЦ) и К9 — водорастворимый полимер, полученный в результате частичного гидролиза полиакриламида. Полимерные добавки вносили в почву в виде водных растворов заданной концентрации с последующим тщательным перемешиванием и выдерживанием образцов до установления равновесного состояния. Сорбционные свойства почв изучали методом построения изотерм сорбции паров воды с использованием эксикаторного метода. Навески модифицированных и исходных почв помещали в эксикаторы с фиксированными значениями относительной влажности, создаваемыми насыщенными растворами солей. Образцы выдерживали до достижения сорбционного равновесия, после чего по изменению массы определяли количество сорбированной влаги. На основе полученных данных строили изотермы сорбции в координатах «относительное давление пара (p/p_0) — величина сорбции».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Изотермы сорбции паров воды для засоленной почвы, модифицированной карбоксиметилцеллюлозой, представлены на рис. 1, а для образцов с добавкой К9 — на рис. 2.

ISSN 3030-3907

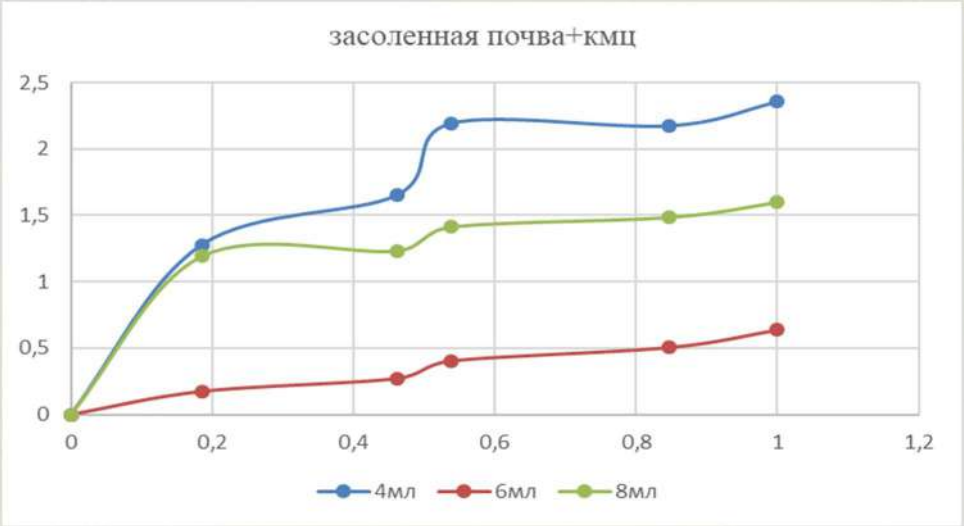


Рис.1. Изотермы сорбции паров воды засоленной почвы с добавкой карбоксиметилцеллюлозой

Полученные кривые имеют выраженную нелинейную форму, характерную для многостадийного механизма сорбции воды в почвенных системах. На начальном участке изотерм ($p/p_0<0,2$) для всех исследуемых образцов наблюдается резкое увеличение величины сорбции, что соответствует мономолекулярной адсорбции воды на наиболее энергетически активных центрах поверхности. Для засоленной почвы данный участок отражает взаимодействие молекул воды с полярными функциональными группами, сформированными на поверхности почвенных частиц в результате полимерной модификации. Аналогичное поведение изотерм ранее отмечалось при введении гидрофильных полимеров в системы с пониженной естественной влагоёмкостью.

В интервале средних относительных давлений ($0,2 < p/p_0 < 0,6$) изотермы характеризуются переходом к полимолекулярной сорбции. В этой области основную роль играют водородные связи между молекулами воды, функциональными группами полимерных добавок и минеральными компонентами почвы. Для образцов с КМЦ данный участок изотерм указывает на формирование развитых гидратных слоёв, что согласуется с литературными данными о способности полисахаридных полимеров повышать гидрофильность твёрдой фазы почвы.

ISSN 3030-3907



Рис.2. Изотермы сорбции паров воды засоленной почвы с добавкой К9

Изотермы сорбции для засоленной почвы, модифицированной К9 (рис. 2), также демонстрируют выраженный рост сорбции в области средних относительных давлений, что связано с участием полярных и ионных функциональных групп гидролизованного полиакриламида во взаимодействии с молекулами воды. Подобный механизм сорбции характерен для анионных водорастворимых полимеров, используемых в качестве структурообразующих добавок.

При высоких значениях относительного давления ($p/p_o>0,6$) для всех образцов наблюдается дальнейшее увеличение величины сорбции, обусловленное процессами капиллярной конденсации воды в мезо- и макропорах. Данный участок изотерм отражает вклад пористой структуры в процессы влагоудержания и свидетельствует об изменении структурно-текстурных характеристик засоленной почвы под действием полимерной модификации. Усиление капиллярного механизма удержания влаги особенно важно для засоленных почв, характеризующихся исходно неблагоприятным водным режимом.

В целом, характер полученных изотерм показывает, что введение полимерных добавок КМЦ и К9 приводит к повышению гидрофильности поверхности засоленной почвы и интенсификации сорбции паров воды. Это обусловлено совокупным влиянием химической природы полимеров и изменениями пористой структуры почвенной системы, что согласуется с результатами ранее опубликованных исследований.

Сравнительный анализ изотерм сорбции паров воды показал, что как серозёмная, так и засоленная почвы характеризуются многостадийным механизмом сорбции, включающим мономолекулярную адсорбцию, полимолекулярную сорбцию и капиллярную конденсацию воды в порах различного размера. Однако характер и интенсивность этих процессов в

ISSN 3030-3907

значительной степени определяются типом почвы и природой полимерной добавки.

Для засоленной почвы введение полимерных модификаторов приводит к заметному увеличению сорбции воды на всех участках изотерм, что связано с исходно пониженной гидрофильностью поверхности и нарушенной пористой структурой данной почвы. Полимерные добавки способствуют формированию дополнительных гидрофильных сорбционных центров и улучшению условий для капиллярного удержания влаги, что согласуется с литературными данными по модификации засоленных почв водорастворимыми полимерами.

Серозёмная почва, обладающая более развитой структурой и более высокой естественной влагоёмкостью, демонстрирует аналогичный характер изотерм, однако вклад полимерной модификации проявляется менее резко. Тем не менее, присутствие КМЦ и К9 приводит к усилению полимолекулярной сорбции и капиллярной конденсации, что указывает на изменение структурно-текстурных характеристик почвенной системы.

Сопоставление действия КМЦ и К9 показывает, что оба полимера эффективно повышают гидрофильность поверхности почвенных частиц, однако механизмы их влияния различаются. КМЦ преимущественно способствует сорбции воды за счёт образования водородных связей, тогда как К9, как гидролизованный полиакриламид, дополнительно вовлекает ионные взаимодействия, что усиливает удержание влаги в порах. Аналогичные различия в механизмах действия полисахаридных и синтетических полимеров отмечались и в других исследованиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Изотермы сорбции паров воды для серозёмной и засоленной почв, модифицированных КМЦ и К9, имеют нелинейную форму, свидетельствующую о многостадийном характере сорбционного процесса. Установлено, что сорбция воды включает мономолекулярную адсорбцию на энергетически активных центрах поверхности, полимолекулярную сорбцию и капиллярную конденсацию в порах различного размера. Модификация почв полимерными добавками приводит к повышению гидрофильности поверхности и увеличению влагоудерживающей способности как серозёмных, так и засоленных почв. Эффект полимерной модификации более выражен для засоленной почвы, что связано с её исходно менее благоприятными структурными и физико-химическими характеристиками. Карбоксиметилцеллюлоза и К9 проявляют различный механизм действия: КМЦ усиливает сорбцию воды преимущественно за счёт водородных связей, тогда как К9 дополнительно вовлекает ионные взаимодействия,

ISSN 3030-3907

повышающие вклад капиллярного удержания влаги. Совместное использование изотерм сорбции паров воды и ИК-спектроскопии является эффективным подходом для оценки влияния полимерных добавок на физико-химические свойства почв.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. IPCC. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis.* Cambridge University Press, 2021.
2. Lal R. Soil degradation as a reason for inadequate human nutrition // *Food Security.* 2009. Vol. 1. P. 45–57.
3. Montanarella L., Pennock D.J., McKenzie N. et al. World's soils are under threat // *Soil.* 2016. Vol. 2. P. 79–82.
4. Hillel D. *Environmental Soil Physics*. Academic Press, San Diego, 1998.
5. Sparks D.L. *Environmental Soil Chemistry*. Academic Press, 2003.
6. Sposito G. *The Chemistry of Soils*. Oxford University Press, 2008.
7. Brunauer S., Emmett P.H., Teller E. Adsorption of gases in multimolecular layers // *Journal of the American Chemical Society*. 1938. Vol. 60. P. 309–319.
8. Gregg S.J., Sing K.S.W. *Adsorption, Surface Area and Porosity.* Academic Press, London, 1982.
9. Sing K.S.W., Everett D.H., Haul R.A.W. et al. Reporting physisorption data for gas/solid systems // *Pure and Applied Chemistry.* 1985. Vol. 57. P. 603–619.
10. Wallace A., Terry R.E. *Handbook of Soil Conditioners*. Marcel Dekker, New York, 1998.
11. Sojka R.E., Bjorneberg D.L., Entry J.A., Lentz R.D., Orts W.J. Polyacrylamide in agriculture and environmental land management // *Advances in Agronomy.* 2007. Vol. 92. P. 75–162.
12. Green V.S., Stott D.E., Norton L.D. Polyacrylamide effects on soil structure // *Soil Science Society of America Journal*. 2004. Vol. 68. P. 178–185.
13. Letey J. Soil salinity, drainage and irrigation management // *Agricultural Water Management*. 2000. Vol. 46. P. 215–225.
14. Rengasamy P. Soil salinity and sodicity: causes and management // *Plant and Soil*. 2010. Vol. 338. P. 1–17.

ISSN 3030-3907