ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВЕННЫХ КОЛЛОИДОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИОННОГО СОСТАВА ПОЧВЕННОГО ПОГЛОЩАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА

Т.В. Шнее, к.б.н., С.Э. Старых, к.б.н., РГАУ-МСХА, Т.А. Фёдорова, к.б.н., РУДН, М.Д. Маслова, С.Л. Белопухов, д.с.-х.н., А.А. Шевченко, к.б.н., РГАУ-МСХА

Проведено исследование коллоидно-химических свойств дерново-подзолистой, светло-каштановой, светло-каштановой солонцеватой почв, солонца автоморфного каштанового средненатриевого. Показано, что величина электрокинетического потенциала почвенных коллоидов, коэффициент фильтрации, удельная электрическая проводимость, средний радиус пор различаются для каждого типа почв, горизонта, ионного состава почвенного поглощающего комплекса. Эти показатели влияют на плодородие почвы и урожай выращиваемых сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: почвенный поглощающий комплекс, электрокинетический потенциал (ζ – потенциал), почвенные коллоиды, коагулирующая сила, обменный ион, емкость поглощения.

В поглотительной способности почв большая роль отводится почвенным коллоидам. В зависимости от их состояния во многом определяется само плодородие почвы. Важнейшие свойства почвы – водопроницаемость, влагоемкость, набухаемость, структура, pH почвенного раствора и другие – определяются соотношением между адсорбируемыми почвенным поглощающим комплексом (ППК) ионами [1]. Благодаря разнообразию природных условий и особенностям почвообразовательного процесса, состав обменных катионов различных почвенных типов отличается друг от друга.

В настоящей работе приведены результаты исследования коллоидно-химических свойств различных по генезису почв. Особое внимание уделено оценке величины электрокинетического потенциала (дзета-потенциала) как фактора, отражающего влияние состава ионов почвенного раствора на состояние почвенных коллоидов [2, 3].

Объекты и методы исследования. Опыты проведены в учебном хозяйстве «Михайловское» (Московская обл.) на дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почве. Опыт И.С. Шатилова – контроль [1]. А также на Волгоградской сельскохозяйственной опытной станции на светло-каштановой, светло-каштановой слабосолонцеватой почвах и солонце автоморфном каштановом. Данные почвы были исследованы ранее в экспериментах, проведенных на кафедре физической и органической химии РГАУ-МСХА. При изучении физико-химических и коллоидно-химических свойств почв использовали стандартные методики [4-6].

Результаты и их обсуждение. Некоторые физико-химические и коллоидно-химические свойства этих почв представлены в таблице.

Дерново-подзолистая почва характеризуется низкой емкостью катионного обмена, вниз по профилю мало изменяется, pH этой почвы 4,3–5,7. Содержание гумуса в верхнем горизонте составило 2,4%, вниз по профилю заметно уменьшилось до 0,22%. Минералогический состав дерново-подзолистой почвы определяли согласно термическому анализу, проведенному на дериватографе Паулик-Паулик- Эрдей Q-1500D. В почве представлено большое количество кварца и полевого шпата. Глинистые минералы выражены слабо, представлены вермикулитом и Al-монтмориллонитом [9, 10]. Это сказывается на количестве коллоидной фракции данных почв, где ППК практически не содержит хорошо набухающих минералов. Органические коллоиды вследствие высокого содержания в почвенном растворе ионов водорода слабо диссоциируют на ионы, т. е. в данных почвах не создаются условия для повышенного заряда ППК.

В дерново-подзолистых почвах обменными ионами являются ионы водорода и алюминия. По своему коагулирующему действию они обладают наибольшей коагулирующей силой, т.е. более других ионов способны снижать заряд почвенных коллоидов, что и подтверждают проведенные исследования. О величине заряда ППК можно судить по величине электрокинетического потенциала почвенной суспензии. Величины дзета-потенциала (ξ) невелики и практически одного порядка: -12…-15 мВ (см. табл.). Удельная электрическая проводимость (æ), по которой можно судить о концентрации почвенного раствора, низкая и практически одинаковая по всему профилю дерново-подзолистой почвы – $1{,}8–2{,}2 \cdot 10^{-4}$ См/м.

Величины дзета-потенциала и ППК низкие, так как в почвенном растворе содержится достаточное количество ионов водорода. Соответственно, если, например, кальций или магний были бы на месте водорода в ППК, то скорее всего у почвы были бы лучшие физико-химические свойства. Двухвалентные ионы магния и кальция уступают водороду по своим коагулирующим свойствам, и при их незначительном количестве (емкость поглощения) не оказывают сильного влияния на заряд почвенных коллоидов и всего ППК в целом.

Физико-химическая характеристика и коллоидно-химические свойства исследуемых почв

Почва	Горизонт, глубина, см	Емкость катионного обмена, мг-экв/100 г	Na, % от ЕКО	pH_{H_2O}	æ $\cdot 10^{-4}$, См/м	ξ-потенциал, (–) мВ	$T \cdot 10^{-10}$, ($см^2 \cdot сек$) /г *	$R \cdot 10^{-5}$, см **
Дерново-подзолистая среднесуглинистая	$A_{пах}$, 0-28	14,5±0,3	Нет	5,70±0,10	1,90±0,12	12,45±0,67	1,25±0,02	2,73±0,01
	A_2B, 28-34	10,8±0,4	-	4,60±0,13	2,22±0,10	14,80±0,20	1,17±0,03	0,87±0,03
	B_1, 34-57	12,0±0,2	-	4,55±0,12	2,10±0,11	15,20±0,45	0,99±0,03	1,37±0,03
	B_2, 57-90	13,8±0,3	-	4,35±0,11	1,87±0,10	15,40±0,55	0,76±0,03	1,55±0,01
	C, 90-100	13,3±0,2	-	4,34±0,13	1,67±0,10	13,40±0,60	1,28±0,03	1,32±0,02
Светло-каштановая	$A_{пах}$, 0-32	37,2±0,5	Нет	7,34±0,10	2,85±0,15	8,90±0,60	22,20±0,18	6,80±0,10
	B_1, 33-42	25,3±0,6	0,7	7,42±0,12	3,56±0,14	16,90±0,75	6,9±0,08	2,30±0,07
	B/C, 55-65	24,2±0,6	1,10	8,65±0,12	3,92±0,13	15,90±0,70	3,9±0,04	2,01±0,04
Светло-каштановая слабосолонцеватая легкосуглинистая	$A_{пах}$, 0-25	28,6±0,4	5,1	7,40±0,11	3,10±0,12	18,45±0,75	19,20±0,06	6,68±0,07
	B_1, 26-41	34,2±0,5	6,3	7,80±0,13	3,95±0,14	23,65±0,85	2,40±0,05	1,40±0,02
	B/C, 52-62	31,8±0,6	4,8	7,75±0,10	4,60±0,14	18,35±0,70	2,68±0,05	1,86±0,04
Солонец автоморфный каштановый среднатриевый	A_1, 0-10	47,1±0,3	22,0	8,16±0,08	3,69±0,13	37,80±1,30	1,67±0,05	1,60±0,04
	B_1, 10-27	53,8±0,4	30,6	8,44±0,07	4,87±0,13	47,50±1,15	0,89±0,03	0,89±0,05
	B/C, 62-80	42,2±0,7	31,0	8,90±0,07	3,85±0,13	46,30±1,15	0,74±0,04	0,75±0,02

*Т- коэффициент фильтрации. **Средний радиус пор.

Таким образом, дерново-подзолистые почвы, вследствие невысокого заряда ППК, не способны адсорбировать и удерживать ионы из почвенного раствора, тем самым, создавая условия для невысоких в агрономическом отношении свойств.

По результатам термического анализа, в зоне каштановых почв преобладают хорошо набухающие смешанослойные минералы группы монтмориллонита, причем в засоленных почвах их содержание возрастает, особенно в горизонте B_1. Минералы группы монтмориллонита представлены магнезиальной разностью – сапонитами.

Светло-каштановая почва – наиболее плодородная зональная почва Волгоградской области. Показатель pH вниз по горизонту – от нейтрального до щелочного. Концентрация почвенного раствора выше, о чем свидетельствуют повышенная в 2-3 раза емкость катионного обмена и значения удельной электрической проводимости.

В составе обменных катионов имеются ионы Na. В верхнем горизонте они не обнаружены, в горизонте B_1 – 0,7 % от ЕКО, в горизонте B/C – 1,1%.

Дзета-потенциал светло-каштановой почвы в пределах критических значений (18-23 мВ): для верхнего пахотного горизонта он даже ниже, чем в дерново-подзолистой почве и составляет 8,40 мВ. Это можно объяснить более высокой концентрацией почвенного раствора, содержанием и состоянием органических коллоидов и нейтральной реакцией среды, где органическое вещество представлено в виде ионов. В горизонте B_1 величина электрокинетического потенциала достигает 16,9 мВ, вниз по профилю ξ – потенциал увеличивается, также как pH и удельная электрическая проводимость. У светло-каштановой почвы хорошие фильтрационные свойства. Коллоиды почвы коагулируют, объединяются в крупные агрегаты, создавая хорошую почвенную структуру (при таких показателях электрокинетического потенциала). Это подтверждают умеренно высокие значения коэффициента фильтрации (Т) и среднего радиуса пор (R). Зона каштановых почв находится в регионе, где создаются условия для солонцового процесса – повышенная минерализация грунтовых вод при значительном содержании солей Na, выпотной режим и так далее [11].

Исследовалось два типа засоленных почв: светло-каштановая слабосолонцеватая легкосуглинистая и солонец автоморфный каштановый.

Светло-каштановая слабосолонцеватая почва по своим свойствам мало отличается от зональной: pH водной вытяжки верхнего горизонта практически нейтральный, вниз по профилю несколько увеличивается. Сумма обменных катионов несколько выше, причем содержание ионов магния почти в 2 раза выше, чем кальция. В составе обменных катионов появляется значительное содержание ионов натрия – 6,3% от ЕКО. Несколько повышается значение удельной электрической проводимости, но она остается в тех же пределах, что и в зональной почве.

Катионный состав почвенного раствора несколько изменяется – кроме двухвалентных катионов кальция и магния появляется одновалентный катион натрия, который обладает меньшей коагулирующей способностью. Входя в состав обменных ионов почвенного поглощающего комплекса, он менее других обменных ионов понижает величину дзета-потенциала почвенных частиц. Это отражается на свойствах исследуемой почвы. Величина дзета-потенциала повышается, особенно в горизонте B_1, где она составляет 23,65 мВ, что находится в переходном пределе коагулированных и устойчивых золей почвенных коллоидов.

В верхнем пахотном горизонте коэффициент фильтрации и средний радиус пор остаются практически такими же, как и в зональной почве. Значение дзета-потенциала этого горизонта еще не превышает критической величины. В горизонте B_1, при несколько повышенном значении заряда, коллоиды почвы начинают переходить в более устойчивое состояние. Это приводит к разрушению почвенных агрегатов и увеличению степени дисперсности, что сопровождается уменьшением среднего радиуса пор и ухудшением фильтрационных свойств. Так, средний радиус пор в горизонте B_1 уменьшается практически в 2 раза по сравнению со светло-каштановой почвой. Вследствие этого ухудшаются и фильтрационные свойства почвы – коэффициент фильтрации уменьшается почти в 3 раза. Такая же зависимость наблюдается и для нижних горизонтов светло-каштановой легкосолонцеватой почвы.

Выводы. Таким образом, состояние почвенных коллоидов существенно влияет на физико-химические свойства почвы. Наиболее заметны эти изменения в солонцовых почвах. pH равновесных растворов солонцов примерно на единицу выше, чем в тех же горизонтах зональной светло-каштановой почвы. Почти в 2 раза увеличивается емкость катионного обмена по сравнению с зональной почвой и в иллювиальном горизонте составляет 53,8 мг-экв/100 г почвы. В исследуемом солонце отмечается высокое содержание ионов натрия – 22,0-31,0 % от ЕКО, поэтому данные почвы можно отнести к многонатриевым. Значение удельной электрической проводимости также увеличивается по сравнению с зональной почвой.

Как известно, увеличение концентрации интермицеллярной жидкости приводит к уменьшению дзета-потенциала. Кроме самой концентрации на величину дзета-потенциала оказывает влияние состав ионов, входящих в почвенный раствор. В связи с повышенным содержанием солей Na, в солон-

цовой почве повышается щелочность. Повышенное содержание бикарбонат-, карбонат-ионов в почвенном растворе уменьшает содержание ионов Ca и Mg (так как карбонаты кальция и магния мало растворимы в воде) и увеличивает долю Na в составе ППК. Карбонат-ионы адсорбируются твердой поверхностью $CaCO_3$ (в нашем случае $MgCO_3$, как преобладающий ион в составе ППК) в качестве потенциалопределяющих, создают повышенный термодинамический потенциал почвенных частиц. Ионизация увеличивается благодаря повышению диссоциации кислотных групп органического вещества в щелочной среде. Это, в свою очередь, приводит к повышению плотности заряда поверхности коллоидных частиц солонца, т.е. термодинамического потенциала, а повышенное содержание ионов Na, имеющих наименьшую коагулирующую силу, приводит к повышению дзета-потенциала.

В солонцовых почвах величина дзета-потенциала увеличивается по сравнению с зональной светло-каштановой почвой примерно в 2,5-3 раза. При такой значительной величине дзета-потенциала почвенные коллоиды вследствие электростатического отталкивания находятся в устойчивом состоянии (состояние золя), обладая при этом высокой степенью дисперсности [11].

С величиной дзета-потенциала связаны также и фильтрационные свойства. При высоком значении электрокинетического потенциала почвенные коллоиды не объединены в агрегаты, создают плотную гомогенную массу, обусловливая малые размеры пор, а отсюда и низкую фильтрационную способность. При низком значении среднего радиуса пор фильтрационная способность почвы резко снижается, что видно из результатов исследования. Коэффициент фильтрации солонцов составляет $1{,}67 \cdot 10^{-10}$ ($см^2 \cdot сек$)/г для верхнего горизонта и 0,89; 0,74 для иллювиального горизонта и горизонта В/С. В связи с этим солонцы обладают самым низким плодородием из изучаемых нами почв.

Таким образом, состав и состояние почвенных коллоидов существенно влияют на свойства почвы. У дерново-подзолистой почвы, где содержится незначительное количество коллоидной фракции и коллоиды находятся в неустойчивом состоянии, а, благодаря присутствию ионов водорода и алюминия в почвенном растворе имеют невысокий дзета-потенциал, отмечаются незначительная емкость поглощения и слабые адсорбционные способности ППК.

С увеличением количества коллоидной фракции и заряда почвенных частиц до критической величины 18-23 мВ улучшаются физико-химические свойства почвы, увеличиваются емкость поглощения, способность к адсорбции ППК почвы, улучшаются ее фильтрационные свойства [2, 11]. С дальнейшим увеличением заряда частиц почвенных коллоидов, свойства почвы ухудшаются. Даже при одинаковых значениях таких параметров, как количество органического вещества и содержание кальция почвенного раствора, данная почва относится к малопродуктивной.

Литература

1. *Замараев А.Г., Духанин Ю.А., Чаповская Г.В., Савич В.И., Шатилов И.С.* Энергомассообмен в звене полевого севооборота. В кн. Оптимальные параметры системы почва-растение на дерново-подзолистых почвах с целью получения высоких устойчивых урожаев полевых культур. -М.: Агроконсалт, Ч.1. 2004. – 266 с.
2. *Савич В.И., Белопухов С.Л., Седых В.А., Никиточкин Д.Н.* Агроэкологическая оценка комплексных соединений почв // Известия ТСХА.- 2013.- №6.- С.5-11.
3. *Шнее Т.В., Белопухов С.Л.* Применение электрокинетического потенциала при изучении коллоидно-химической природы засоленных почв Армении // Известия Государственного аграрного университета Армения.- 2010.- №4.- С.10-13.
4. *Маслова М.Д., Шнее Т.В., Прохоров И.С., Белопухов С.Л.* Усовершенствованная методика определения органического вещества в почвах // Агрохимический вестник.- 2014.- №1.- С.30-32.
5. *Савич В.И., Белопухов С.Л., Никиточкин Д.Н., Филиппова А.В.* Использование новых методов очистки урбанизированных почв от тяжёлых металлов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета.- 2013.- №6.- С.203-205.
6. *Шнее Т.В., Кончиц В.А., Шевченко А.А., Белопухов С.Л.* Исследование коллоидно-химических свойств зональных и солонцовых почв Омской области // Бутлеровские сообщения, 2010.- Т.21, №7.-С.74-77.
7. *Белопухов С.Л., Малеванная Н.Н.* Применение циркона для обработки посевов льна-долгунца // Плодородие.- 2003.- №2.- С.33-35.
8. *Белопухов С.Л., Малеванная Н.Н.* Влияние циркона на химический состав льна-долгунца // Плодородие.- 2004.- №1.- С.18-20.
9. *Иванова В.П., Касатов Б.К., Красавина Т.Н., Розинова Е.Л.* Термический анализ минералов и горных пород.-Л.: Недра.- 1974.-С.162-165.
10. *Берг Л.Г.* Введение в термографию. Изд. 2-е М.: Наука, 1969.- 395 с.
11. *Шевченко А.А.* Коллоидно-химические свойства основных типов почв России и факторы их определяющие// Автореф., М., 2011.

THE EFFECT OF THE ION COMPOSITION OF SOIL-EXCHANGE COMPLEX ON THE PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF SOIL COLLOIDS

T.V. Shnee[1], S.E. Starykh[1], T.A. Fedorova[2], M.D. Maslova[1], S.L. Belopukhov[1], A.A. Shevchenko[1]
[1]Russian State Agrarian University–Moscow Agricultural Academy, ul. Timiryazeva 49, Moscow, 127550 Russia
E-mail: grenaderskaya@gmail.com
[2]Department of Landscape Architecture and Design,
Peoples' Friendship University of Russia, ul. Miklukho-Maklaya 8/2, Moscow, 117198 Russia

The colloid-chemical properties of soddy-podzolic soil, light-chestnut soil, light-chestnut solonetzic soil, and medium-sodium automorphic chestnut solonetz have been studied. It has been shown that the electrokinetic potential of soil colloids, the filtration coefficient, the electrical conductivity, and the mean pore radius vary among the soil types, horizons, and the ion composition of soil-exchange complex. These parameters affect the soil fertility and the yields of crops.

Keywords: soil exchange complex, electrokinetic potential (ζ–potential), soil colloids, coagulation power, ion exchange, absorption capacity.