

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ПРОФИЛЯ И ЕЁ ИЗМЕНЕНИЕ В ПРОЦЕССЕ ЭВОЛЮЦИИ ОСТЕПНЁННЫХ СОЛОНЦОВ В ЗОНАЛЬНЫЕ ПОЧВЫ

А.В. Новикова

НИЦ «Институт почвоведения и агрохимии имени А.Н. Соколовского»

Анализ условий почвообразования, состава и свойств солонцовых почв Крымского Присивашья позволяет рассматривать эти почвы в качестве этапов естественной эволюции, протекающей на протяжении многих тысячелетий. Аналитические данные показывают, что в ходе эволюции произошло снижение солевого горизонта, уменьшение количества поглощённого натрия, ослабление оцелачивания почв и степени их иллювируемости. Автор предлагает свое видение процессов трансформации вещественного состава и свойств иллювиального горизонта при остепнении солонцов и переходе их в слабосолонцеватые тёмно-каштановые почвы.

Ключевые слова: солонец, иллювиальный горизонт, темно-каштановые почвы, эволюция

Как известно, основателями русской школы почвоведения (В.В. Докучаев, С.И. Коржинский, П.С. Коссович, В.И. Танфильев и др.), а также их последователями установлено, что почвы в своем развитии претерпевают изменение состава и свойств, т.е. эволюционируют.

А.А. Роде [36] установил, что эволюция почв может вызываться различными причинами: изменением факторов почвообразования, саморазвитием биогеоценозов, влиянием соседних биогеоценозов, филогенезом растений и других живых организмов.

Исходя из такой трактовки причин эволюции можно считать, что эволюция почв засоленного ряда совершается под влиянием как внешних факторов, так и внутренних (саморазвитие, вызываемое спецификой процесса солонцеобразования). Исследователями выделены два основных направления эволюции засоленных почв: в сторону осолодения [6] и в сторону остепнения [16, 17].

Различие этих направлений объясняется особенностями водного режима. При временном или длительном промывном режиме солонцы подвергаются осолодению и превращаются в солоды. В условиях же только атмосферного увлажнения и непромывного водного режима солонцы проходят стадию остепнения и эволюционируют к зональному типу автоморфных почв [33]. Такие направления эволюции солонцов наблюдаются во многих регионах России, Украины, Казахстана и других местах. Так, Е.Н. Иванова, В.М. Фридлянд [15] установили, что на низменных равнинах степной, сухостепной и полупустынной природных зон, по мере усиления естественной дренированности и снижения уровня минерализованных грунтовых вод,

происходит эволюционный переход луговых солонцовых комплексов в лугово-степные и далее в степные.

В.А.Ковда [16] разработал схему эволюции солонцов. В соответствии с этой схемой остепнение солонцов совершается постепенно с прохождением ряда следующих стадий: остаточный солончаковатый солонец→остаточный слабосолончаковатый солонец→остепнённый солонец→каштановая солонцеватая почва.

Таким образом, в степных солонцовых комплексах солонец в процессе эволюции трансформируется в каштановую почву. Элементарные почвообразовательные процессы (ЭПП), протекающие при этом (засоление-рассоление, обменно-погложительные реакции и др.), освещены в многочисленных работах. Однако исследований по вопросу инфильтрационного перемещения тонкодисперсных фракций (< 0,001 мм) по почвенному профилю и переводу труднорастворимых веществ в коллоидное состояние было проведено всё ещё недостаточно, а результаты их были дискуссионными [3].

Широкое использование методов коллоидной и физической химии, а также исследований минералогического состава глинистых минералов во второй половине XX века позволило получить новые данные о путях и формах миграции тонкодисперсной фракции в солонцовых почвах.

В данном сообщении сделана попытка объяснить трансформацию иллювиального горизонта солонцов в процессе эволюции от луговых к степным солонцам и солонцеватым почвам на примере почв Крымского Присивашья. Кроме личных материалов использованы публикации других авторов.

Крымское Присивашье или Северо-Крымская низменность расположено на южном борту Причерноморской впадины. В геологическом прошлом территория испытала неоднократные тектонические опускания, сменявшиеся поднятиями, которые сопровождалась морскими трансгрессиями и регрессиями [4]. Самая низкая прибрежная часть низменности была палеолагуной [23].

По геоморфологии – это низменная приморская равнина, представляющая собой морскую плиоценовую террасу. Поверхность её слабо наклонена с юга на север к морским водоёмам, топографические отметки её высоты уменьшаются соответственно с 30 (40) м до 1 м. В литологическом отношении она сложена лёссовидными тяжелыми суглинками и глинами, содержащими водорастворимые соли (0,3–1,0 %), а также карбонаты кальция, и гипс. В нижней части толщи суглинков сформирован сплошной водоносный горизонт, движущийся с юга на север в соответствии с топографическими условиями.

Минерализация грунтовых вод постепенно возрастает с юга на север от 3 до 20-60 г/дм³. Меняется и химизм солей с гидрокарбонатного до хлоридно-сульфатного, сульфатно-хлоридного и хлоридного натриевого.

Почвенный покров на низменных прибрежных территориях представлен луговыми солончаково-солонцовыми комплексами, которые сменяются при залегании грунтовых вод на глубине от 3 до 6 (7) м от поверхности лугово-степными комплексами с лугово-степными солонцами и лугово-каштановыми и тёмно-каштановыми солонцеватыми почвами, а при более низком положении

грунтовых вод (глубже 6 (7) м) – степными комплексами солонцов степных и темно-каштановых солонцеватых почв, сменяемых темно-каштановыми остаточными солонцеватыми почвами, а далее такими же без признаков солонцеватости [11, 30].

Динамическими наблюдениями было выявлено, что в наиболее низкой части территории почвы (луговые комплексы) испытывают капиллярно-грунтовое увлажнение и сезонно-необратимое засоление. В лугово-степных почвах устанавливается плёночно-капиллярное увлажнение с сезонно-обратимым режимом засоления-рассоления. В степных солонцовых комплексах почвы испытывают элювиальное увлажнение с сезонно-необратимым режимом рассоления [30]. В этом же направлении (с севера на юг) отмечается своеобразная геохимическая зональность состава солей в горизонтах их аккумуляции: хлоридный на побережье Сиваша сменяется сульфатно-хлоридным и хлоридно-сульфатным, сульфатным, и, наконец, гидрокарбонатным в высокой части Присивашья [30].

По условиям увлажнения почв всю территорию Крымского Присивашья можно подразделить на две почти равные части: одну половину занимают гидроморфные и полугидроморфные почвы, другую – автоморфные.

В целом, Крымское Присивашье является примером пространственной смены одних солонцовых комплексов другими. В то же время, учитывая сложную геологическую историю с неоднократными движениями земной коры, сопровождавшимися трансгрессией и регрессией морских вод, широким засолением почво-грунтов, можно предполагать, что ныне автоморфные почвы (или часть их) были некогда засолены, а сейчас опресняются. В этом плане существующий в пространстве переход одних почв в другие можно рассматривать и как эволюцию этих почв во времени.

Перейдём к рассмотрению некоторых показателей строения почвенного профиля и состава солонцовых почв Крымского Присивашья

В таблице 1 приведены данные массовых определений параметров строения почв лугово-степных и степных солонцовых комплексов [38].

Нижняя граница иллювиального горизонта в лугово-степных и степных солонцах залегает на глубине 45-52 см. В лугово-каштановых солонцеватых почвах – в пределах 49-51 см, а в тёмно-каштановых среднесолонцеватых – снижается до 58 см.

В элювиальном горизонте и в верхней части иллювиального горизонта карбонаты отсутствуют. Глубина вскипания от 10 % HCl в солонцах обнаруживается с 40-44 см, а в лугово-каштановых и тёмно-каштановых солонцеватых почвах с 43-50 см. Новообразования карбонатов в виде «бело глазки» встречаются в тёмно-каштановых солонцеватых почвах с 58 см и в каштановых солонцеватых – с 56 см.

Скопление солей (преимущественно сульфатов) в почвах лугово-степных комплексов обнаруживается в солонцах на глубине 57-60 см, в лугово-степных солонцеватых почвах – 82-92 см; а в степных солонцеватых комплексах в солонцах глубокосолончаковатых с 79 см, в каштановых солонцеватых почвах со 113 см, а в тёмно-каштановых почвах – со 136 см.

**1. Строение профиля почв лугово-степных и степных комплексов
Северо-Крымской низменности [38]**

Почвы	Глубина, см					
	Нижние границы генетических горизонтов			Вскипан ие	Бело- глазка	Суль- фаты
Лугово-степные комплексы						
Солонцы средние солончаковатые (22 разреза)	ЕН 13	ИИ 30	ИИ(р) 45	40	-	57
Солонцы глубокие солончаковатые (69 разрезов)	ЕН 19	ИИ 32	ИИ(р) 47	44	-	60
Лугово-каштановые среднесолонцеватые глубоко солончаковатые (193 разреза)	Не 20	Ии 34	Ипр 51	50	53	92
Лугово-каштановые сильно солонцеватые глубоко солончаковатые (58 разрезов)	Не 20	ИИ 32	Иh 49	43	-	82
Степные комплексы						
Каштановые среднесолонцеватые (63 разреза)	Не 21	Ии 35	Phi 54	48	56	113
Тёмно-каштановые среднесолонцеватые (486 разрезов)	Не 22	Ии 38	Phi 58	47	58	136
Солонцы средние глубокосолончаковатые (10 разрезов)	ЕН 13	ИИ 32	ИИр 47	45	50	79
Солонцы глубокие глубокосолончаковатые (8 разрезов)	ЕН 15	ИИ 35	ИИр 52	44	55	85
Лугово-каштановые почвы микрозападин (21 разрез)	Не 28	Иер 43	ИИ(i) 62	49	64	>200

А теперь рассмотрим некоторые данные таблицы 2, где приведены показатели состава и свойств почв на примере конкретных разрезов, начиная с луговых к лугово-степным, степным солонцам и заканчивая тёмно-каштановой слабосолонцеватой почвой [30]. По нашему мнению такой ряд почв может характеризовать эволюционный переход на протяжении длительного времени (тысячи лет).

Прежде всего, отметим, что почвы по гранулометрическому составу относятся к тяжелосуглинистым и легкоглинистым.

Распределение солей во всех почвах весьма сильно варьирует в пространстве в связи с положением почвы относительно мезо- микро- и нанорельефа. В луговых солонцах часто встречаются солончаковые виды (кроме солончаковатых), а в лугово-степных и степных солонцах солончаковые виды не встречаются. Здесь преобладают солончаковатые, а в степных солонцах, кроме того, - глубокосолончаковатые.

2. Некоторые показатели состава и свойств солонцовых почв Крымского Присивашья (по данным А.В. Новиковой [30])

Номер разреза, почва, место отбора образцов	Глубина отбора образцов, см	Генетический горизонт	Гумус по Тюрину, %	Количество ила, частиц <0,001 мм, %	Водорастворимые соли, %	pH	Сумма обменных катионов, мг-экв на 100 г почвы	Обменный натрий, % от суммы катионов	Молекулярное отношение SiO ₂ :R ₂ O ₃	Степень иллювированности, (Ni)	Коэффициент содопроявления (Kc)
Разрез 124 Солонец луговой глубоко-призмовидный солончаковатый. Азовский район, хутор Амур	0-10	EH	3,4	22,2	0,06	6,8	19,3	6,9	9,0		1,0
	25-35	IH	1,7	45,3	0,09	7,2	35,0	27,6	5,7	34,2	1,4
	45-55	Ih	1,2	45,8	0,10	8,0	31,4	27,6	6,1	34,7	2,4
	60-70	Pkgl	0,6	28,2	0,17	-	-	-	5,7	-	4,2
	75-85	Pks	-	-	0,86	-	-	-	-	-	-
Разрез 117 Солонец лугово-степной глубоко-призмовидно-ореховатый солончаковатый. Азовский район, с. Благодатное	0-17	EH	2,2	27,6	0,06	6,9	19,3		7,5		1,0
	20-30	IH	1,4	46,1	0,06	7,9	33,6	19,8	5,5	26,0	1,8
	45-55	Ih	1,1	45,9	0,13	8,5	38,8	19,7	5,9	24,0	3,3
	60-70	Pk	0,6	43,0	0,23	8,6	32,4	-	-	-	1,4
	80-90	Pks	0,3	39,5	1,10	-	--	-	-	-	< 1,
Разрез 136 Солонец степной призмовидно-ореховатый солончаковатый. Красноперекопский район, Сортоучасток	0-10	EH	1,8	24,8	0,12	7,1	23,0	9,0	6,0		< 1
	15-30	IH	0,9	41,7	0,13	8,0	30,2	21,0	4,0	25,0	1,5
	45-58	Ihk	0,5	41,8	0,29	8,7	-	-	4,8	25,0	< 1
	62-72	Pks	0,3	37,6	1,17	-	-	-	-	-	< 1
Разрез 128 Солонец степной призмовидно-ореховатый глубокосолончаковатый. с. Солонцовое	0-10	EH _{пах}	1,8	24,7	0,07	-	22,9	8,0	8,6		-
	18-35	IH	1,5	38,3	0,07	-	31,0	16,1	6,4	21,2	-
	35-44	Ih	1,1	45,3	0,08	-	30,8	16,1	6,1	29,0	-
	65-75	Pk	0,3	44,0	0,16	-	-	-	-	-	3,0
	105-115	Pks	0,1	43,7	0,52	-	-	-	-	-	< 1
Разрез 126 Тёмно-каштановая слабосолонцеватая почва. с. Великоселье	0-10	Hпах	2,3	37,4	0,05	7,6	27,5	4,0	6,3		< 1
	35-45	EH	1,4	44,0	0,05	8,2	30,1	5,1	6,0	8,0	1,1
	75-80	Pk	-	46,0	0,07	8,3	-	-	6,0	10,0	1,5
	140-150	Pk	-	38,1	0,35	8,4	-	-	6,0	-	1,2
	200-210	Pks	-	32,0	1,81	8,1	-	-	-	-	< 1

В целом в почвах происходит постепенное углубление солевого горизонта: от 0-5 см в приморских солончаках (данные в таблице не приводятся) до 160-200 см в тёмно-каштановых почвах. Меняется и химизм солей: в приморских солончаках он хлоридно-натриевый; в луговых высокосолончаковых солонцах - хлоридно-сульфатно-натриевый; в солонцах луговых, лугово-степных и степных солончаковых - преимущественно сульфатно-натриенный, а в тёмно-каштановых слабо солонцеватых почвах сульфатно-кальциево-магниевый.

Как видно из таблицы 2, содержание *поглощённого натрия* в луговых солонцах достигает 27,6 % от суммы катионов. В лугово-степных и степных солонцах количество его уменьшается до 20-16 %, а в тёмно-каштановых – до 5 %. Следовательно, в процессе эволюции произошло постепенное рассолонцевание этих почв.

Почвы имеют *слабощелочную и щелочную* реакцию, рН колеблется в пределах от 6,9 до 8,5-8,7. Заметное ощелачивание обнаруживается в незасолённой части, находящейся над солевым горизонтом. Исследованиями Гедройца [6] установлено, что в бескарбонатной части солонцового горизонта появление соды происходит при вытеснении ионом водорода обменного натрия из поглощающего комплекса почвы (ПК). Образующийся при этом едкий натрий в присутствии углекислоты почвенного раствора переходит в соду, как это показано ниже:



В карбонатной части солонцового горизонта сода образуется в результате двойного обмена между поглощённым натрием почв и кальцием карбоната кальция по реакции:



Однако сода может появиться в почвах и вследствие других процессов: выветривания кристаллических пород с гидролизом натриевых алюмосиликатов; воздействия на карбонатную почву растворов сернокислого натрия; процесса сульфат-редукции в анаэробной среде; подпитывания почв грунтовыми содовозасоленными водами и др.

Содовое засоление обнаруживается в том случае, когда величина коэффициента содопроявления (K_c) превышает единицу. K_c по Посохову рассчитывают по формуле:

$$K_c = \frac{\text{HCO}_3}{\text{Ca} + \text{Mg}}$$

В рассматриваемых почвах (табл. 2) K_c имеет повышенное значение (3-4) в солонцах и снижается до 1,5 в тёмно-каштановой слабосолонцеватой почве. Следовательно, в ходе эволюции от остепнённых солонцов к каштановой

остаточно-солонцеватой почве происходит постепенное ослабление процесса ощелачивания.

К такому заключению ранее пришел и Антипов-Каратаев [2]. Он выделял в профиле каштановых почв такие горизонты: карбонатный (промытый), щелочной и гипсово-солевой. Отмечая при этом, что щелочной горизонт особенно чётко выражен в солонцах, а в каштановых он значительно слабее в связи с воздействием гипсово-солевого горизонта.

При введении орошения на территориях с глубоким залеганием уровня грунтовых вод усиливается выщелачивание солей из почв, увеличивается мощность промытого карбонатного горизонта, повышается щёлочность [14, 32].

Следует подчеркнуть, что повышение щелочности происходит не только в связи с образованием соды, но и вызывается присутствием в растворе химических соединений, проявляющих себя как основания (карбонаты, бораты, силикаты, гуматы натрия и других катионов). Ф.И. Козловский [18] предложил назвать их щелочным резервом, характеризующим процесс ощелачивания.

В табл. 2 приведены значения *молекулярных отношений* окислов ($\text{SiO}_2 : \text{R}_2\text{O}_3$) по данным валового химического состава. Судя по этим данным, а также по данным анализов щелочных вытяжек из почвенных образцов в 5 % растворе КОН, можно прийти к заключению, что в элювиальном горизонте солонцов наблюдается повышенное содержание окиси кремния (по сравнению с полуторными окислами) и даже наличие свободной аморфной SiO_2 , которая рассматривается как признак осолодения.

Максимально высокая величина молекулярного соотношения окислов в элювиальном горизонте наблюдается в луговом солонце (9,0), что говорит о высокой активности в этом горизонте солонцового процесса, и несколько понижается (до 7,5-8,6) в солонцах лугово-степных и степных. В иллювиальном горизонте эти величины уменьшаются до 5,5-6,0. В тёмно-каштановых слабо солонцеватых почвах в элювиальном и в нижележащем иллювиальном горизонтах, а также в почвообразующей породе эти соотношения падают до 6,3-6,0.

Приведенные данные свидетельствуют об определённых различиях валового химического состава в элювиальном и иллювиальном горизонтах, вызванных солонцовым процессом и некотором осолодении (особенно в луговых солонцах), возникающем при промывном водном режиме.

Важным показателем солонцового процесса является *содержание илистой фракции* в почве и её распределение по профилю. Отметим, что здесь приводятся данные содержания илистой фракции, выделенной по методу Качинского с предварительной химической подготовкой. Поскольку эволюционное преобразование почв совершается за очень длительный период, то наиболее пригодным методом определения ила является именно этот метод.

Из таблицы 2 видно, что содержание илистой фракции ($< 0,001$ мм) довольно резко меняется по профилю почв. В солонцах её количество в иллювиальном горизонте резко увеличивается по сравнению с элювиальным, а

в тёмно-каштановой слабосолонцеватой почве разница становится значительно меньшей.

Для суждения об интенсивности процесса иллювиирования в солонцовых почвах нами [29] было предложено определять степень иллювиированности (N_i) по разности содержания ила в иллювиальном (В) и элювиальном (А) горизонтах, отнесённой к их сумме в процентах по формуле:

$$N_i = \frac{B - A}{A + B} \cdot 100 \% ,$$

где: N_i – степень иллювиированности, %;

В – содержание ила (< 0,001 мм) в иллювиальном горизонте, %;

А – содержание ила (< 0,001 мм) в элювиальном горизонте, %.

Как показано в таблице 2, степень иллювиированности в луговом солонце достигает 34% и уменьшается в лугово-степных и степных солонцах до 24-21%, а в тёмно-каштановых снижается до 8-10%. При этом максимальная иллювиированность постепенно сдвигается в нижнюю переходную часть солонцового горизонта. В целом гранулометрическая дифференциация профиля ослабляется.

Связь между показателями степени иллювиированности и солонцеватостью, определяемой по величине поглощённого натрия, существует прямая и сильная. Она была установлена нами при корреляционно-регрессионном анализе массовых данных (134 разреза). Коэффициент корреляции r оказался равным 0,83 [31].

В целом, по мере снижения солевого горизонта происходит уменьшение количества поглощённого натрия и ослабление степени иллювиированности. Это иллюстрирует диаграмма (рис. 1), построенная по данным нескольких разрезов из таблицы 2.

Обратимся теперь к вопросу о составе **высокодисперсной части** солонцовых почв. В ходе солонцеобразования, которое протекает при рассолении почв с внедрением натрия в поглощающий комплекс, ощелачиванием, пептизирующим воздействием натрия на почвенную массу, происходит образование органических, органо-минеральных и минеральных соединений (Гедройц, Антипов-Каратаев, Хитров и др.).

Как показали исследования ряда специалистов, состав высокодисперсной части неодинаков, прежде всего, по **гранулометрии**. Более крупные частицы, размером > 0,22 мкм, составляют всего 20 %, а мельчайшие, размером < 0,22 мкм - до 80 % [6]. Оказалось, что и состав минералов в этих фракциях различен.

Так, исследованиями Л.С. Травниковой и А.В. Титовой [41] установлено, что в иллювиальном горизонте солонцовых почв Калмыцкой степи фракции размером 1-5 мкм состоят из индивидуальных минералов. Во фракциях 1-0,2 мкм содержится до 60 % индивидуальных минералов, а в коллоидной фракции < 0,22 мкм преобладают смешанно-слоиные образования.

окислительно-восстановительные процессы, гидратация, дегидратация и т.д. В связи с многообразием таких процессов очень трудно выявить какие-либо закономерности в изменении состава минералов в разных типах почв. Важнейшее значение имеет состав минералов в почвообразующей породе.

Н.И. Горбунов подчеркивает, что строгой приуроченности вторичных минералов к конкретному виду солонцов также не обнаруживается. Во фракции < 1-2 мкм содержатся гидрослюды, монтмориллонит, каолинит, реже вермикулит. Встречаются также смешано-слоистые образования. Более характерным минералогическим признаком солонцов является наличие монтмориллонитовой группы (сметтитов) в иллювиальном горизонте.

Отсутствие надёжных количественных методов определения глинистых минералов в почвах лишает исследователей возможности точного выяснения воздействия солонцового процесса на состав илистой фракции и её перемещения по профилю.

Что касается *состава вторичных минералов* в рассматриваемых почвах Крымского Присивашья, то исследованиями П.Г. Коваливнича [21, 22] было установлено, что минералогический состав илистой фракции солонцовых почв в основном унаследован от почвообразующих пород и особенно явно это наблюдается в нижних горизонтах.

В лугово-степных солонцах преобладают слоистые гидрослюдистые минералы, в меньшем количестве содержится каолинита и ещё меньше хлорита. По мере углубления вниз по профилю количество каолинита и хлорита уменьшается, но увеличивается содержание минералов монтмориллонитовой группы. В почвообразующей породе преобладают минералы гидрослюдистой группы и смешано-слоистые минералы гидрослюдисто-монтмориллонитовой ассоциации.

В тёмно-каштановой слабосолонцеватой почве в верхних горизонтах в значительном количестве обнаружены гидрослюдистые минералы (до 64 %) каолинит - около 21 % и небольшое количество монтмориллонита (7 %.)

В иллювиальном горизонте обнаружены в незначительном количестве смешано-слоистых минералов монтмориллонитово-гидрослюдистой ассоциации. Вероятно, появление смешано-слоистых минералов в иллювиальном горизонте произошло в результате воздействия солонцового процесса, приведшего к частичному разрушению в элювиальном горизонте сверх высокодисперсных (< 0,22 мкм) слоистых минералов (гидрослюды и монтмориллонита) и перемещения продуктов разрушения в нижележащий иллювиальный горизонт, где и образовались смешано-слоистые ассоциации.

В почвообразующей породе содержание минералов монтмориллонитовой группы возрастает до 24 %, несколько уменьшается количество гидрослюды (до 54 %) и каолинита (до 17 %).

В целом же можно отметить, что элювиальный и иллювиальный горизонты несколько отличаются друг от друга по минералогическому составу.

Примерно такие же особенности распределения глинистых минералов (увеличение монтмориллонита и смешано-слоистых ассоциаций) обнаружены

также и в солонцах сухостепной зоны России, Казахстана и других регионов [5, 19, 26].

Важным показателем состава ила является *способность его к пептизации*. Н.И. Горбунов [9] предложил дифференцированный метод выделения ила, с подразделением его на такие группы: водно-пептизированный ил (А), агрегированный ил (Б) и прочносвязанный ил (В). Неоднородность ила по его пептизации обусловлена многими факторами: наличием несиликатных полуторных окислов, ионов-коагуляторов, состава обменных оснований и др. Наиболее благоприятные условия передвижения ила вниз по профилю создаются в почвах с лёгким гранулометрическим составом и промывным режимом увлажнения. В тяжёлых почвах передвижение воднопептизированного ила ограничено.

Как говорилось выше, в состав илистых частиц кроме минеральных образований входят ещё органические и органо-минеральные соединения. Эти соединения можно охарактеризовать, прежде всего, составом гумуса. Рассмотрим (рис. 2) особенности *состава гумуса почв* Крымского Присивашья [28].

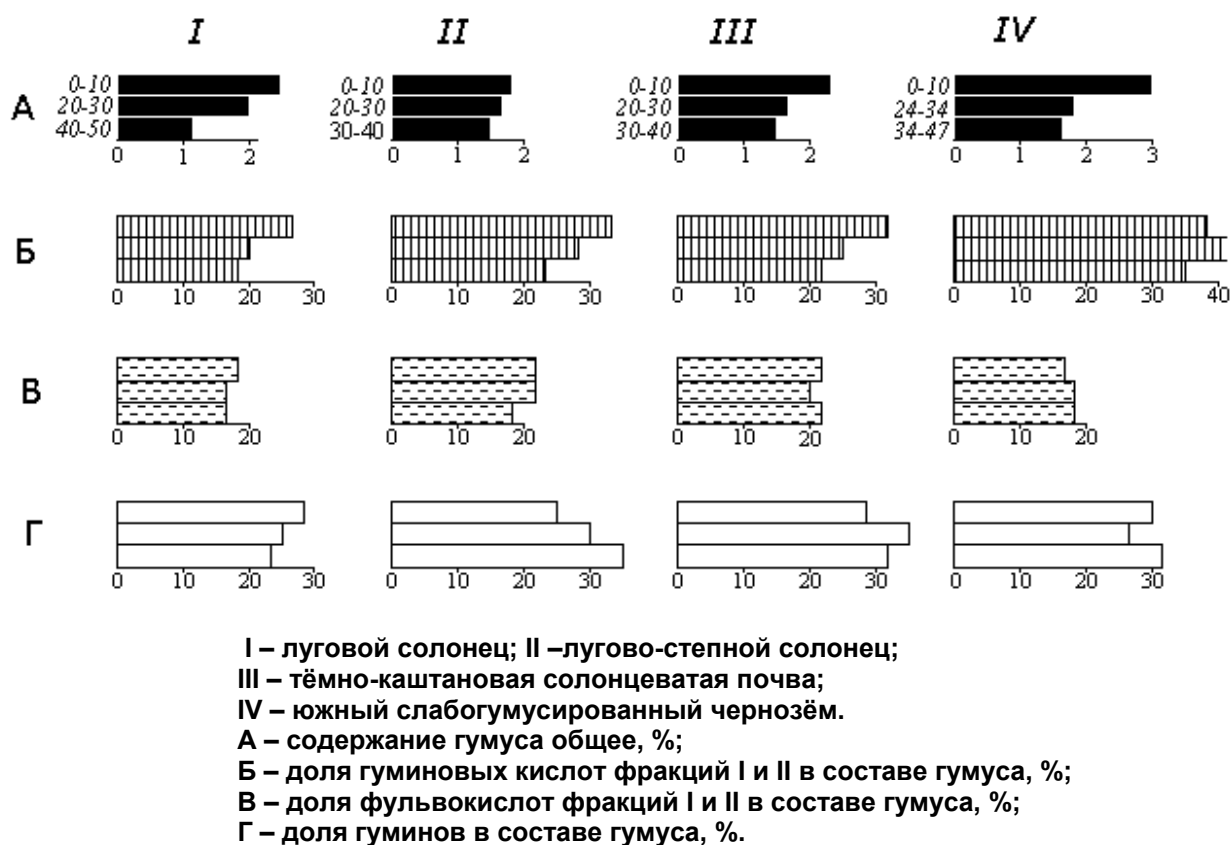


Рис 2. Состав гумуса в верхних слоях солонцовых и других почв Крыма

Содержание гумуса в луговых солонцах невелико – 2,53 %, в лугово-степных – 1,90 %, а в тёмно-каштановой почве – 2,30 %. Содержание гуминовых и фульвокислот снижается вниз по профилю, причём гуминовые кислоты преобладают над фульвокислотами, их соотношение колеблется в пределах 1,3-1,5. Это можно объяснить тем, что в далёком прошлом в этих

почвах проходил лугово-дерновый процесс почвообразования при обводнении территории Присивашья [24].

Гумус солонцовых почв обладает большой подвижностью, что подтверждается наличием фракции "свободной" гуминовой кислоты (растворяемой непосредственно в щелочах до декальцинирования почвы). Это свидетельствует о неустойчивости гумусовых кислот, связанных с натрием. Подвижность органического вещества меняется от солонцов к зональной тёмно-каштановой почве. В луговом солонце доля "свободных" гуминовых кислот составляет 6 %, в лугово-степном – 11,9 %, в тёмно-каштановой почве падает до 5,9 %, а в южном чернозёме они исчезают вовсе.

Содержание органических веществ, прочно связанных с минеральной частью почвы (гуминов), увеличивается книзу (за исключением луговых солонцов). По форме связи органических веществ с минеральной частью почвы установлено, что основная часть (40-50 %) гуминовых и фульвокислот связана с кальцием, и только 2-3 % - с полуторными окислами.

Таким образом, в солонцовых почвах в условиях щелочной реакции и наличия натрия органические кислоты приобретают большую подвижность и могут свободно мигрировать по всему профилю, способствуя большей подвижности минеральных коллоидов, что, в конечном результате, приводит к некоторому обезиливанию солонцового (иллювиального) горизонта.

К органо-минеральным соединениям относятся хелаты, т.е. комплексные высокомолекулярные соединения железа и алюминия с органическими кислотами. В силу своего молекулярного состояния они довольно легко передвигаются вниз по профилю и могут как накапливаться в иллювиальном горизонте, также легко и удаляться из него при соответствующих условиях

Большую подвижность илстым частицам могут придать свежееобразованная полимерная кислота, силикат натрия, гидроксиды железа и алюминия (Ребиндер, 1941). В состав тонкодисперсных систем входит так называемая коллоидная плазма, выделенная из иллювиальных горизонтов солонцов [26]. Размер частиц этой плазмы < 0,2 мкм, в её состав входит кремний - (44-45 %), железо и алюминий - (40-50 %). Особенностью плазмы является высокая обратимость её из твёрдого состояния в коллоидный раствор и наоборот. Вымываясь из иллювиального горизонта, она может способствовать его обезиливанию.

Рассмотрим вопрос о *способах передвижения* высокодисперсных коллоидных систем в почвах. Известно, что стабильность коллоидных систем обусловлена разными факторами. Специалисты в области коллоидной и физколлоидной химии (Дерягин, Пасынский, Ребиндер, Антипов-Каратаев и другие) установили, что устойчивость коллоидной системы обеспечивается тремя основными факторами: электростатическим, сольватационным и структурно-механическим. Электростатический фактор обусловлен электрическими зарядами, препятствующими сближению коллоидных частиц. Сольватационный фактор проявляется образованием вокруг коллоидных частиц структурированной оболочки. Применительно к солонцовым почвам это проявляется гидратацией обменных катионов. Структурно-механический

фактор возникает при образовании на поверхности гидрофобных коллоидных частиц слоя гидрофильных коллоидов, также препятствующих коагуляции коллоидов. Наиболее существенным фактором стабильности коллоидов почвы считается электростатический [20].

В почвоведении передвижение коллоидальных частиц вниз по профилю рассматривается не только с точки зрения устойчивости коллоидов, но и по их способности к фильтрационному перемещению. Существует мнение, что такое передвижение коллоидов совершается путём оподзоливания или лессиважа. **Оподзоливание** – это процесс, заключающийся в разрушении первичных и вторичных минералов под влиянием микроорганизмов и органических кислот с последующим выносом продуктов разрушения в нижележащие горизонты почвенного профиля. **Лессиваж** – это процесс перемещения в почвенном профиле илистой фракции без её предварительного химического разрушения, т.е. перенос не только глинистых, но, возможно, и измельченных первичных минералов в химически неизменённом виде. В последние годы (2002) предложен новый термин – **натриевый лессиваж** [43]. Он означает элементарный почвообразовательный процесс (ЭПП), который складывается из пептизации ила, переноса ила вниз и последующей его аккумуляции.

Накопление тонкодисперсных частиц в нижних горизонтах происходит не только в результате их переноса вниз, но и при образовании их непосредственно на месте при развитии в почвах процессов оглинивания. Этот процесс может происходить в связи с преобразованием первичных минералов во вторичные, например, по схеме: слюда → иллит → смешано-слоиные образования → монтмориллонит, или в результате других схем преобразований [34].

Вопрос о способах перемещения вниз по профилю высокодисперсной части почв, имеющих дифференцированный профиль, обсуждается уже много лет. Ему посвящены многочисленные публикации, в том числе обобщающие обзоры [1, 3, 7, 12, 34].

Так, в литературном обзоре Антипова-Каратаева и Цюрупы [3] отмечается, что по данным зарубежных исследователей перемещение тонких частиц в лёгких почвах происходит суспензионно-инфильтрационным способом. В тяжёлых же почвах они могут передвигаться только в виде частиц коллоидного размера, а, следовательно, сначала должно произойти разложение почвенных минералов до размеров коллоидов, и лишь потом они могут опускаться вниз.

Дюшофур [12] считает, что солонцовый процесс состоит из ощелачивания и лессиважа. Однако он подчёркивает, что в условиях щелочной реакции “...структура некоторых натриевых глин становится неустойчивой и кристаллическая решетка их более или менее быстро разрушается. Тогда в профиле появляются аморфные минералы“ (стр. 559). К такому же заключению ранее пришел и Гедройц [6], отмечая, что “разрушение поглощающего комплекса почвы водой понимается как уменьшение его количества в почве, причём органическую часть вода просто распыляет и выносит как таковую

вниз, а минеральную часть разрушает и выносит уже продукты этого разрушения” (стр. 165).

Доказательством того, что при осолонцевании почв идёт разрушение минералов, могут быть исследования А.Я. Демидиенко и А.Д. Ивашины [44], проводимые ими при искусственном осолонцевании грунтов путём внесения в ложе канала больших доз поваренной соли. Идею о создании водонепроницаемых экранов в оросительных каналах с использованием поваренной соли выдвинул академик А.Н. Соколовский, а развили Н.К. Крупский и его ученики. Под влиянием поваренной соли и её концентрированных растворов происходит осолонцевание грунтов. В верхней части образуется элювиальный горизонт, а в нижней – иллювиальный. Последний сильно набухает и препятствует фильтрации воды из оросительных каналов. Установлено, что в первые годы в осолонцованном слое грунта содержится до 20-30 % поглощенного натрия, а через 18 лет его количество снижается до 5 %. Однако антифильтрационные свойства грунта сохраняются на протяжении длительного времени (конечный срок не установлен). Как показали исследования минералогического состава илистой части антифильтрационного экрана, в нём произошло разрушение органо-минеральной части, которое привело к появлению высокоподвижных соединений – кремнекислоты и полуторных окислов.

Таким образом, по нашему мнению, при солонцовом процессе передвижение вниз высокодисперсных частиц из элювиального в иллювиальный горизонт в тяжелосуглинистых почво-грунтах Украины происходит с предварительным их разрушением. Доказательством этого являются вышеприведенные материалы по почвам Крымского Присивашья, где отмечалась неоднородность валового химического и минералогического состава в элювиальном и иллювиальном горизонтах, а также упомянутые результаты исследований по искусственному осолонцеванию почво-грунтов [44].

Вернёмся к главному вопросу данной статьи – **о трансформации иллювиального горизонта**. Интенсивность солонцового процесса в почвах рассматриваемого солонцового ряда неодинакова. Максимального развития он достигает в луговых солонцах, а затем, по мере усиления степени дренированности территории и снижения уровня грунтовых вод, он ослабевает и полностью завершается.

Нас интересует заключительная стадия, когда солонцовый процесс полностью затухает и формируется зональная почва. С учетом современной терминологии процессов почвообразования [45,27], нам представляется, что на этой завершающей стадии протекают следующие элементарные почвообразовательные процессы (ЭПП), вызывающие полную утрату иллювиального горизонта и гранулометрическую дифференциацию профиля почв.

ЭПП засоления–рассоления. Процесс направлен в сторону рассоления. При этом происходит углубление солевого горизонта до 80 см и более. Меняется и состав солей в сторону сульфатно-кальциево-магниевого.

ЭПП осолонцевания–рассолонцевания. При рассолонцевании происходит отчётливое уменьшение количества поглощённого натрия и замена его кальцием и магнием почвообразующей породы. Вытесненный из поглощённого комплекса натрий переходит в почвенный раствор и с анионами образует сульфаты (хлориды) натрия. Происходит своеобразный цикл превращения натрия: из почвенного раствора он попадает сперва в поглощающий комплекс, а затем, после его вытеснения кальцием и магнием, снова возвращается в почвенный раствор и уже аккумулируется в солевом горизонте.

ЭПП кислотно-основного равновесия (ощелачивание-нейтрализация). На стадии затухания солонцового процесса происходит некоторое снижение содопроявления. Однако величина рН колеблется в пределах щелочного интервала, как в почвообразующей породе.

ЭПП солонцового (натриевого) лессиважа: пептизация илистых частиц, их вынос, осаждение). В ходе процесса солонцеобразования, под влиянием поглощённого натрия и щёлочного гидролиза, происходит пептизация почвенной массы с некоторым разрушением минералов и передвижение её вниз в виде ила и коллоидов. Это приводит к гранулометрической дифференциации профиля, наиболее четко выраженной в луговых и других солонцах. Степень иллювированности (Ni) в почвах рассматриваемого эволюционного ряда меняется от 34 % в луговых солонцах, снижаясь до 25-26 % в лугово-степных солонцах по мере ослабления солонцеватости. В степных глубокосолончаковатых солонцах она колеблется в пределах 21-29 %, а в тёмно-каштановых слабосолонцеватых почвах падает до 8-10 %. При этом в степном глубокосолончаковатом солонце и в тёмно-каштановой слабосолончаковатой почве максимальное накопление ила отмечается не в верхней, а в нижней части иллювиального горизонта. Это также свидетельствует о постепенном рассолонцевании почвы.

Следовательно, по мере естественного рассолонцевания и остепнения почв происходит ослабление гранулометрической дифференциации профиля и выравнивание количества ила в элювиальном и иллювиальном горизонтах, что особенно чётко отмечается в тёмно-каштановых слабосолонцеватых и несолонцеватых почвах.

Механизм уменьшения количества ила в солонцеватом горизонте недостаточно изучен. Автор предлагает следующее объяснение механизма трансформации иллювиального горизонта.

Интенсивность процесса натриевого лессиважа по мере уменьшения количества поглощённого натрия в почвенном поглощающем комплексе солонцового горизонта постепенно ослабевает. Из солонцового горизонта при этом могут удаляться только наиболее подвижные компоненты ила, такие как связанные с натрием гуминовые кислоты, коллоидная плазма, силикаты натрия, окислы железа и алюминия, подвижная кремнекислота, хелаты и др. По-видимому, эти соединения близки к составу так называемого «активного ила» по Соколовскому, или водно-пептизированного ила по Горбунову.

После удаления из почвенного профиля наиболее подвижной высокодисперсной части ила, в горизонте остаётся ил, связанный с кальцием и магнием, т.е. пассивный или агрегированный прочносвязанный ил. Таким путём, вероятно и происходит своеобразная трансформация иллювиального горизонта. Удаляется наиболее подвижный ил, а агрегированный, прочносвязанный с кальцием и магнием, сохраняется на месте.

Изменению состава ила способствует процесс остепнения, протекающий при смене галофитно-ксерофитной растительности полынно-злаковой и злаковой ассоциации. При этом усиливается накопление гумуса, улучшается структура и водно-физические свойства почв, повышается их плодородие, что было установлено рядом исследователей в сухостепной и полупустынной зонах. Процесс рассолонцевания можно резко ускорить применением мелиорации солонцов. Однако, как правильно отвечает И.Н. Любимова [25], при этом будет происходить не естественная, а агрогенная эволюция солонцовых почв.

В аспекте эволюционного развития солонцовых почв можно говорить о *реликтовости* солонцовых признаков в современных солонцеватых почвах. Такого взгляда придерживаются Г.С. Гринь [10], Г.Н. Самбур [37], А.М. Можейко [27] и др. В то же время имеется и противоположная точка зрения. Ряд авторов [35] считают, что солонцовый процесс в автоморфных условиях Украины является не реликтовым, а современным. И причиной появления солонцовых признаков почв, по их мнению, является импульверизация солей с морских побережий.

Разумеется, перенос солей за счёт импульверизации вблизи побережья возможен, но этот процесс не является преобладающей причиной солонцеватости почв региона. В условиях приморских низменных равнин, испытывавших неоднократные движения земной коры с трансгрессией и регрессией морских вод и длительным гидроморфизмом, главной причиной появления солей в почвах и их солонцеватости являются соли грунтовых и морских вод. Доказательством этого служат большие запасы водорастворимых солей во всей толще лёссов Причерноморской низменности, наличие марганцево-железистых примазок в них и некоторые другие показатели.

Приведенные нами данные являются убедительной иллюстрацией эволюционно-генетической теории В.А. Ковды о роли палеогидроморфизма в эволюции почв низменных равнин.

Выводы.

1. В процессе естественной эволюции почвенного покрова таких низменных приморских равнин, как Крымское Присивашье, по мере усиления степени дренированности территории и снижения уровня грунтовых вод происходит постепенная смена почвенных солонцовых комплексов от луговых к лугово-степным и степным, с рассолением и рассолонцеванием почв. Она выражается не только уменьшением поглощённого натрия и заменой его кальцием и магнием, но и постепенным ослаблением и исчезновением текстурной дифференциации профиля.

2. Этот процесс протекает на фоне щелочной реакции и, по-видимому, вызван удалением из элювиального горизонта наиболее подвижных органических и органо-минеральных соединений, таких как свободная гуминовая кислота, связанная с натрием, коллоидная плазма, подвижная кремнекислота, полуторные окислы, хелаты и др. В то же время сохраняется агрегированный, прочносвязанный ил.

Высказанное нами предположение нуждается в проверке с постановкой модельных и других опытов, с использованием методов коллоидной, физической химии и минералогии высокодисперсной части почв.

Рассматриваемый вопрос имеет важное теоретическое значение не только в области генезиса, эволюции солонцовых почв, разработки концепции мелиорации солонцов, но и для разработки коллоидно-химических технологий, направленных на создание водонепроницаемых экранов в оросительных каналах, хранилищах промышленных стоков, т.е. имеет сельскохозяйственную, природоохранную и экологическую значимость.

Литература:

1. *Алексеев В.Е.* Минералогический анализ в диагностике оподзоливания, лессиважа и оглеенения // Почвоведение. – 1983. - № 10. – С. 12-19.
2. *Антипов-Каратаев И.Н.* Вопросы происхождения и географического распространения солонцов СССР // Мелиорация солонцов в СССР. – М.: Изд-во АН СССР, 1953. – С. 11-266.
3. *Антипов-Каратаев И.Н., Цюрупа И.Т.* О формах и условиях миграции веществ в почвенном профиле // Почвоведение. – 1961. - № 8. – С. 1-12.
4. *Архангельский А.Д., Стахов Н.М.* Геологическая история Черного моря // Бюлл. Моск. общ-ва испыт. природы. Отдел. геологии. – 1932. – Т. X.
5. *Володин В.М.* Минералогический состав и свойства солонцов каштановой зоны Северного Казахстана. Автореф. ... дисс. канд. биол. наук. – Воронеж, 1971.
6. *Гедройц К.К.* Почвенные коллоиды и поглощательная способность почв. – М.: Сельхозгиз, 1932. – 202 с.
7. *Горбунов Н.И.* О передвижении коллоидных и илистых частиц в почвах (к вопросу о лессиве и оподзоливании) // Почвоведение. – 1961. - № 7. – С. 13-28.
8. *Горбунов Н.И.* Генезис и превращение минералов в почве // Почвоведение. – 1969. - № 3. – С. 106-117.
9. *Горбунов Н.И.* Минералогия и физическая химия почв. – М.: Наука, 1978. – 293 с.
10. *Гринь Г.С.* Галогенез лессовых почво-грунтов. – Киев: Урожай, 1969. – 218 с.
11. *Гусев В.П., Колесниченко В.Т.* Почвы Крымской государственной комплексной с.-х. станции и прилегающих районов // Тр. Крымск. госуд. компл. с.-х. станции, 1955. – Т.1. – С. 21-47.
12. *Дюшофур Ф.* Основы почвоведения. – М.: Прогресс, 1970. – 597 с.
13. *Егоров В.В.* Причины устойчивости солонцовых свойств и обоснование мелиорации солонцов // Почвоведение. – 1979. - № 8. – С. 15-24.
14. *Зимовец Б.А., Кауричева З.И.* О природе длительного сохранения солонцовых свойств орошаемых почв // Почвоведение. – 1979. - № 8. – С. 15-24.
15. *Иванова Е.Н., Фридлянд В.М.* (при участии А.А. Ерохиной) Почвенные комплексы сухих степей и их эволюция // Вопросы улучшения кормовой базы в степной, полупустынной и пустынной зонах СССР. – М.: Наука, 1954. – С. 162-190.
16. *Ковда В.А.* Солончаки и солонцы. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1937. – 224 с.

17. *Ковда В.А.* Происхождение и режим засоленных почв. - М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1946. – 596 с.
18. *Козловский Ф.И.* Современные естественные и антропогенные процессы эволюции почв. – М.: ГЕОС, 2003. – С. 22-248.
19. *Кирюшин В.И.* Солонцы и их мелиорация. – Алма-Ата: Кайнар, 1976. – 174 с.
20. *Кирюшин В.И., Окорков В.В.* Факторы агрегативной устойчивости дисперсных систем солонцовых почв /Солонцы и их освоение. Научно-технич. бюлл. Вып. 22. – Целиноград. – 1980. – С. 36-53.
21. *Коваливнич П.Г.* Минералогический и химический состав и свойства солонцов Крыма, образованных на разных породах. Автореф. дис. канд. наук. – Харьков, 1969.
22. *Коваливнич П.Г.* Минералогический состав илистой фракции солонцовых почв сухой Степи // В кн. Окультуривание солонцовых почв. Под. ред. А.В. Новиковой. – Киев: Урожай, 1984. – 174 с.
23. *Лычагин Г.А.* Геологическое строение и история развития равнинной части Крыма // Тр. Всесоюзн. научно-исслед. геологоразвед нефтян. ин-та. – Вып. XII. – Л.:Гостоптехиздат, 1958. – С. 28-34.
24. *Луцкий П.И.* К вопросу об изучении четвертичных отложений Присивашья // Почвоведение. – 1929. - № 3-4. – С. 41-46.
25. *Любимова И.Н.* Агрогенная эволюция почв солонцовых комплексов сухо-степной зоны // Почвоведение. – 2002. - № 1. – С. 892-903.
26. *Михайличенко В.Н.* Галогенез и осолонцевание почв равнин Северного Казахстана. – Алма-Ата: Наука, 1979. – 170 с.
27. *Можейко А.М., Воротник Т.К.* Гипсование солонцеватых каштановых почв УССР, орошаемых минерализованными водами, как метод борьбы с осолонцеванием // Труды Укр. НИИ почвоведения. – Харьков. – 1958. – Т. III. – С. 11-208.
28. *Новикова А.В.* О составе гумуса солонцовых почв Крыма // Почвоведение. – 1959. - № 10. – С. 87-92.
29. *Новикова А.В., Коваливнич П.Г.* О корреляционной зависимости между степенью солонцеватости и степенью иллювирированности в солонцовых почвах Крымского Присивашья // Мелиорация солонцов. Матер. Всесоюзн. научно-технич. совещания по проблеме мелиорации, 1967. – Часть 1. – М. – 1969. – С. 216-227.
30. *Новикова А.В.* Геохимические и режимные закономерности соленакопления в степном Крыму, приемы улучшения солонцовых почв и возможность использования земель под орошение // Тр. Харьковского СХИ. – 1962. – Т. 39. – С. 241-350.
31. *Новикова А.В.* О проявлении и особенностях солонцовых свойств в почвах степной и сухостепной зон почв Украины // Почвоведение. – 2007. - № 7. – С. 811-882.
32. *Новикова А.В., Гаврилович Н.Е.* Содопроявление и ощелачивание в орошаемых почвах юга Украины. – Харьков. – 2007. – 80 с.
33. *Панин П.С., Елизарова Т.Н., Шкарупа А.М.* Генезис и мелиорация солонцов Барабы. – Новосибирск: Наука, Сибирское отдел., 1977. – 192 с.
34. *Парфенова Е.И., Ярилова Е.А.* К вопросу о лессиваже и оподзоливании // Почвоведение. – 1960. – №9. – С. 1-15.
35. *Полупан Н.И., Нестеренко А.Ф., Кисель В.Д.* О современном характере солонцового процесса в почвах юга Украины // Почвоведение. – 1979. - № 11. – С. 10-16.
36. *Роде А.А.* Почвообразовательные процессы и эволюция почв. – М.: Гос. изд. геогр. литер., 1947. – 141 с.
37. *Самбур Г.Н.* Солонцы УССР и их улучшение // В кн. Мелиорация солонцов в СССР. – М.: Изд-во АН СССР, 1953. – С. 542-551.
38. *Севастьянов Н.Ф.* Почвы Северо-крымской низменности и их сельскохозяйственное использование // Сб. Проблемы плодородия почв Украинской ССР. – Харьков. – 1969. – Т. IV. – С. 201-241.

39. *Стрельченко В.П.* Лугово-степные солонцы подзоны темно-каштановых почв // Почвоведение. – 1982. – № 9. – С. 14-20.
40. *Соколовский А.Н.* Из области явлений, связанных с коллоидной частью почвы.// Изв. Петровской с.-х. академии. – М. – 1919.
41. *Травникова Л.С., Титова Н.А.* Состав и распределение глинистых минералов по фракциям < 5 мк почв солонцового комплекса Калмыцкой степи // Почвоведение. – 1978. – № 4. – С. 74-86.
42. *Хитров Н.Б.* Генезис, диагностика, свойства и функционирование глинистых набухающих почв Центрального Предкавказья. – М. – 2003. – 504 с.
43. Элементарные почвообразовательные процессы. – М.: Наука, 1992. – 184 с.
44. *Демідієнко О.Я., Івашина А.Д.* Дія іонів натрію на колоїдно-хімічні процеси в деяких ґрунтах // Зб. Агрохімія і ґрунтознавство. – Вип. 25. – Харків, 1974. – С. 80-89.

GRANULOMETRIC DIFFERENTIATION OF A SOIL PROFILE AND ITS CHANGE DURING EVOLUTION OF STEPPE SOLONETS IN ZONE SOIL

A.V. Novikova

NSC “Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky”

The analysis of soil formation conditions, content and properties of solonetzic soils of Crimean Prisivashya allows considering it as stages of the natural evolution during many millennia. Analytical data show, that during evolution there was a decrease of salt horizon, reduction of the absorbed sodium, easing soil alkalinity and their illuviation degrees. The author offers the vision of processes of transformation of material structure and properties of the illuvial horizon at steppe stage of solonets and their transition in dark-chestnut soil.

Key words: solonets, illuvial horizon, dark-chestnut soil, evolution