

УДК 631.4

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОФИЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛОВ ВО ФРАКЦИЯХ РАЗНОЙ РАЗМЕРНОСТИ В СОЛОНЦЕ СВЕТОМ КОРКОВОМ СУХОСТЕПНОЙ ЗОНЫ ЮГА РОССИИ**

**©2018 г. Е. Б. Варламов\*, М. П. Лебедева<sup>#</sup>,  
Н. А. Чурилин, А. Е. Чурилина**

*Почвенный институт им. В.В. Докучаева,  
Россия, 119017 Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 2*

<sup>#</sup> <https://orcid.org/0000-0001-8660-9922>

*\*e-mail: evgheni968@rambler.ru*

Изучен минералогический состав гранулометрических фракций солонца светлого коркового на раннехвалынских отложениях в северной части Прикаспийской низменности на территории с абсолютной высотой около 48 м (около поселка Борси). Исследованный профиль солонца сформирован на крупнопылеватых средних глинах. С современными процессами почвообразования связан элювиально-иллювиальный характер распределения ила по профилю и разное соотношение в нем минеральных фаз: 1 – в горизонте SEL преобладают триоктаэдрические иллиты, что свидетельствует о процессе иллитизации; 2 – в горизонте BSN1 преобладают лабильные минералы с сегрегацией смектитовых пакетов в составе ила, что связано с процессом лессиважа, который диагностируется свежими глинистыми кутанами. Наблюдается некоторая слоистость почвообразующего материала по минералогическому составу: в верхней части профиля (включая горизонт BSN2) отмечено повышенное содержание иллита триоктаэдрического типа и смешанослойных минералов по сравнению с нижележащими горизонтами. Горизонт Cca<sub>s</sub> по сравнению с аккумулятивно-карбонатными горизонтами BSA и BSN3<sub>s</sub> отличается более высоким содержанием хлорита и каолинита совершенной структуры. Распределение кластогенных минералов по профилю солонца во фракциях пыли и  $\geq 10$  мкм имеет слабое неупорядоченное варьирование. С увеличением размера фракций в их составе отмечен рост содержания кварца, полевых шпатов, плагиоклазов и уменьшение слюд, что связано с более активным разрушением последних при педогенезе.

*Ключевые слова:* минералогический состав, гранулометрические фракции, лессиваж, иллитизация

**DOI:** 10.19047/0136-1694-2018-93-144-168

## ВВЕДЕНИЕ

Солонцы разных видов являются постоянным компонентом почвенного покрова в комплексе с каштановыми и лугово-каштановыми почвами, а также осолоделыми почвами и солодами на северо-западе Прикаспийской низменности в сухостепной зоне ([Роде, Польский, 1961](#)).

Минералогический состав илистых фракций солонцов изучен глубоко и детально многими исследователями ([Корнблум и др., 1972](#); [Дементьева, 1976](#); [Соколова и др., 1989, 2005](#); [Травникова, 1968, 1977](#); [Травникова, Мясников, 1967](#); [Алексеев, 1999](#); [Чижикова и др., 1973, 2016, 2017](#)). Отмечались следующие особенности качественных и количественных изменений минералогического состава в профилях солонцов: остаточное накопление тонкодисперсного кварца в илистых фракциях надсолонцовых горизонтов ([Гончарова, Панов, 1970](#); [Володин, 1972](#); [Половицкий, 1970](#); [Шапошкина, 1967](#)); увеличение содержания набухающих минералов и уменьшение иллита с глубиной ([Соколова и др., 2005](#); [Miller, Brierley, 2011](#)). Влияние почвообразовательных процессов (щелочного гидролиза, осолонцевания, осолодения) на изменение минералогического состава ила в поверхностном микрогоризонте бывшего пахотного горизонта постагрогенных солонцов рассмотрено для старозалежных почв Болгарии ([Shishkov, Kolev, 2014](#)) и России ([Варламов и др., 2017](#)). При изучении минералогического состава целинных солонцов все исследователи отмечают элювиально-иллювиальный характер распределения ила и дифференциацию минералогического состава по генетическим горизонтам. При сравнении свойств и минералогического состава почв в разных районах Венгрии показано, что профиль солонца формируется исключительно при близком залегании засоленных глин ([Szoor et.al., 2008](#)).

Цель исследований – изучить минералогический состав фракций разных размерностей (<1, 1–5, 5–10 и >10 мкм) и выявить особенности их профильного распределения в солонце светлом корковом на раннехвалынских отложениях в северо-западной части Прикаспийской низменности.

## ОБЪЕКТЫ

Исследовали профиль солонца светлого коркового (разр. ЗК-2) около населенного пункта Борси – 50.108° с.ш. 47.156° в.д. на раннехвалынских отложениях на территории с абсолютной высотой 48 м над ур. м., возраст которой составляет около 17 тыс. лет ([Чепалыга, Пирогов, 2006](#)). Особенностью изучаемого участка является отсутствие микрозападин при выраженном сильноконтрастном почвенном покрове ([Конюшкова, Абатуров, 2016](#)). Изученный разрез заложен на большом пятне под разреженной целинной растительностью – прутнякаво-чернополынной с мышинными хвостами и редкими куртинами мятлика. Поверхность почвы с трещинами, которые образуют пяти-шестигранный рисунок (рис. 1). Хорошо видно, что растительность, и особенно мышехвостник, приурочен к трещинам. На поверхности полигонов тонкие наилковые корочки, встречаются черные и желтые лишайники. Оголенность 50%. При бурении до глубины 5 м зеркала грунтовой воды не обнаружены. Вскипание слабое с 26 см и бурное с 30 см.

Морфологический профиль разр. ЗК-2:

0–5 см, SEL – белесая плотная корочка с пузырчатой пористостью на нижней части корки и на изломе. 10YR5/3. Везикулярные поры разного размера – от 0.1 до 0.5 мм. На изломе видна тонкая слоистость, Корка сухая, но на нижней поверхности свежая и видны буровато-серые прослойки. Тяжелый суглинок. Корка хорошо отделяется от белесых головок нижележащего солонцового горизонта.

5–16 см, BSN1 – кофейный (10YR 4/3), плотный, сухой. Столбчатые агрегаты шириной 4–5 см хорошо делятся на тонкие призмочки шириной 1–1.5 см, в межагрегатных порах много свежих корней, на гранях структурных отдельностей блестящие тонкие кутаны. Среднеглинистый, переход заметный по изменению структуры и плотности.

16–26 см, BSN2 – коричневатобурый (10YR 3/3), с мелкими рыжими пятнами, мягкий, влажный, уплотненный, с обилием тонких беловатых корней, Структура непрочно ореховато-призмовидная, но в верхней части она более плотная и остроугольная, ниже – ребра сглаженные. Среднеглинистый. Граница ровная по появлению слабого вскипания.

26–35 см, BSN3s – неоднородный по цвету: на темно-буром фоне (10YR 4/4) рыжие пятна и единичные белые мелкие солевые пятна – сростки кристаллитов солей. Влажный. Среднеглинистый. Глыбисто-непрочно



**Рис. 1.** Характерный рисунок трещин на поверхности (а); приуроченность мышехвостника (*Myosurus sp.*) к трещинам на поверхности почв (б).

призмовидный, достаточно много корней, переход резкий по появлению солевых новообразований, граница ровная.

35–45 см, ВСAs,cs – цвет неоднородный, на темно-буром фоне (10YR 4/4) отмечаются пятна рыжевато-бурые и темно-бурые с большим количеством белых солевых точек, прожилок, среднеглинистый, сухой. Структура очень не прочная: мелкие орешки (диаметром 1–1.5 см) легко разваливаются на ровные зернышки (с диаметром 2–3 мм). Встречаются редкие Mn–Fe-примазки. Переход заметный по цвету.

45–70 см, ВСAnс – рыжевато-бурый, очень сухой, мелкоореховато-зернистый, с обилием солевых прожилок разного состава (из легкорастворимых солей и гипса) и палевых карбонатных пятен. Среднеглинистый.

Уплотнен, редкие тонкие корни, тяжелосуглинистый, переход постепенный по увеличению плотности.

70–110 см, BCs – бурый, сухой, очень плотный, призмовидно-ореховатый, с обилием Mn–Fe-примазок, много прожилок солей и карбонатных пятен с нерезкими границами, среднесуглинистый, очень плотный, редкие тонкие корни, переход ясный, граница ровная.

110–130 см, Csa,s – палево-бурый, свежий, очень плотный, уплощенно-глибистый, грани “ячеистые”, редкие солевые выделения, среднесуглинистый.

По Полевому определителю почв России (2008) почва относится к солонцам светлым корковым карбонатным солончаковым.

По WRB-2015 (IUSS Working Group WRB, 2015) – Calcic Gypsic Endosalic Solonetz (Columnic Cutanic differentic)

## МЕТОДЫ

Выделение фракций разной размерности (<1, 1–5, 5–10 и >10 мкм) проводили седиментацией по методике Гобунова ([1971](#)), количественное содержание каждой размерности использовалось при пересчете минералогического состава на почву в целом. Карбонаты, гипс, легкорастворимые соли перед фракционированием удаляли, они из анализа были исключены. Состав кластогенных и глинистых минералов изучали в образцах фракций <1, 1–5, 5–10 и >10 мкм рентгенфрактометрическим методом с помощью универсального рентгендифрактометра HZG-4A фирмы Carl-Zeiss Jena. Из образцов приготавливали ориентированные препараты на стеклянной подложке размером 20 × 20 мм. Режим съемки образцов: излучение  $\text{CuK}\alpha$ , напряжение на трубке 30 кВ, сила тока 20 мА, угловая скорость движения счетчика  $2^\circ 2\theta/\text{мин}$ , итоговые расчеты производили с применением программного обеспечения Дифрактометр-Авто, версия 2014 разработчик ООО “Ирис”. Образцы минералов фракций <1 мкм снимали в двух повторностях со смещением плоскости съемки на  $90^\circ$  с целью снижения влияния возможной неоднородности распределения препарата. Дополнительно для диагностики особенности смешанослойной фазы лабильных минералов образцы снимали после сольватации этиленгликолем и в прокаленном при  $550^\circ\text{C}$  состоянии в течение 2 ч. Соотношение основных минеральных фаз илистой фракции рассчитывали по методу Бискайя ([1964](#), [1965](#)). Диагностику минералов проводили по следующим методическим разработкам ([Рентгеновские методы... 1965](#);

[Рентгенография основных типов... 1983](#); [Градусов, 1967, 1976](#); [Дриц, Сахаров, 1976](#); [Дьяконов, 1963](#); [Соколова и др., 2005](#)). Содержание легкорастворимых солей и общих химических свойств определены стандартными методами ([Воробьева, 1998](#)).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Почва развита на тяжелых отложениях – пылевато-иловатого гранулометрического состава, поскольку преобладает фракция крупной пыли (табл. 1). По содержанию физической глины практически все горизонты попадают в категорию средней глины за исключением гор. SEL (суглинок тяжелый) и гор. С (глина легкая). Надсолонцовый гор. SEL обеднен как физической глиной, так и илистой фракцией в частности - для него характерно наименьшее содержание частиц <1 мкм во всем профиле (<7%).

Максимум содержания илистой фракции наблюдается в солонцовом гор. BSN2 (41.1%), далее по профилю содержание фракции постепенно уменьшается до 28.7% в гор. Cca,s (180–200 см).

Распределение фракции тонкой пыли равномерное и практически не изменяется по профилю (11.4% в гор. SEL; 12.7 % в гор. BSN1; 13.9% в средней части профиля - в гор. BCAnс; 9.6% в гор. Cca,s). Можно отметить некоторую обедненность солонцовых горизонтов фракцией средней пыли (BSN1, BSN2 и BSN3s). Далее по профилю содержание данной фракции сначала резко возрастает (до 17%), а затем постепенно уменьшается.

Перерасчет содержания фракций на обезыленную навеску показал, что гор. SEL, кроме ила, также обеднен и тонкопылеватыми фракциями, но относительно обогащен крупной пылью и песком. Интересно, что при этом пересчете гор. Cca,s практически сопоставим по содержанию этих фракций с гор. SEL и отличается от срединных горизонтов данной почвы. Соотношение между песчаными фракциями и крупнопылеватыми по всему профилю практически одинаковое – пыли содержится примерно в 1.5–2 раза больше. Если рассматривать возможность влияния криогенного дробления на соотношение песчаных и крупнопылеватых фракций ([Рогов, 2009](#)), то можно предполагать, как тенденцию (поскольку фракцию мелкого песка специально не выделяли), что вся толща почвообразующего материала этого разреза прошла этап криогенного гипергенеза.

**Таблица 1.** Содержание гранулометрических фракций в солонце разр. ЗК-2 (по Качинскому), %

Горизонт	Глубина, см	Содержание фракции, %						
		1–0.25	0.25–0.05	0.05–0.01	0.01–0.005	0.005–0.001	<0.001	физ. глина
SEL	0–5	1.25	20.75	47.36	12.44	11.42	6.78	30.64
BSN1	5–16	0.14	12.88	32.22	9.38	12.70	32.68	54.76
BSN2	16–26	0.16	15.10	23.46	9.28	10.92	41.08	61.28
BSN3s	26–35	0.16	16.20	27.16	6.94	12.18	37.36	56.48
BCAs,cs	35–45	0.03	13.21	25.54	17.04	12.72	31.46	61.22
BCAnc	45–70	0.06	13.32	28.84	11.88	13.90	32.00	57.78
Cca,s	180–200	0.38	19.76	34.84	6.72	9.64	28.66	45.02
То же, в обезыленной навеске, %								
SEL	0–5	1.34	22.3	50.8	13.3	12.3	–	–
BSN1	5–16	0.21	19.1	47.9	13.9	18.9	–	–
BSN2	16–26	0.27	25.6	39.8	15.8	18.5	–	–
BSN3s	26–35	0.26	25.9	43.4	11.1	19.4	–	–
BCAs,cs	35–45	0.04	19.3	37.3	24.9	18.6	–	–
BCAnc	45–70	0.09	19.6	42.4	17.5	20.4	–	–
Cca,s	180–200	0.53	27.7	48.8	9.4	13.5	–	–

Выявленная особенность внутрипрофильного распределения илистых частиц и крупных фракций в целом характерна для почв солонцового комплекса Джаныбекского стационара ([Соколова и др., 1989](#)). Таким образом, в распределении отдельных гранулометрических фракций исследованный профиль почвы неоднороден, что связано преимущественно с элювиально-иллювиальным перераспределением ила и относительным уменьшением содержанием тонкой пыли, предположительно за счет их выветривания в щелочных условиях.

Особенности химических свойств данного солонца подробно рассмотрены в работе Конюшковой и Абатурова ([2016](#)), поэтому отдельно останавливаться на них не будем. Отметим лишь, что солонец характеризуется очень сильным засолением, начиная с 26 см

(гор. BSN3s); хлоридно-натриевым в слое 16–35 см и хлоридно-сульфатно-натриевым химизмом во всей остальной части профиля (до глубины 5 м). Максимум засоления приурочен к гор. BCAs,cs (35–45 см) с 1.5% токсичных солей (рис. 2).

### МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ

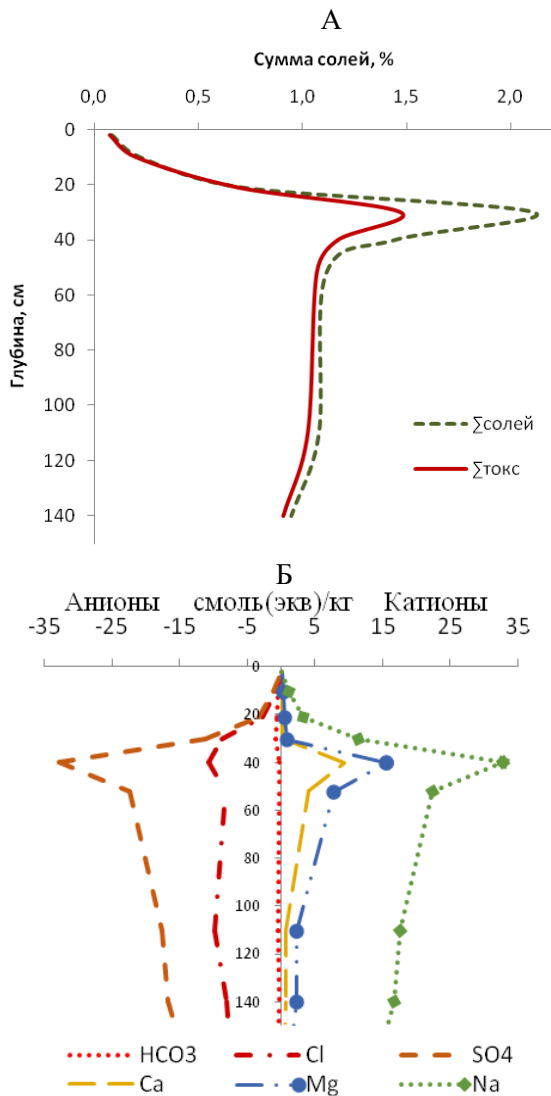
**Глинистые минералы.** Диагностика глинистых минералов, ее детализация по экспериментальным рентгенограммам позволили выделить ряд тонкодисперсных минеральных образований (табл. 2, рис. 3). В этом ряду по мере убывания содержания минеральных фаз отмечена следующая последовательность: смешанослойные минералы, иллиты, хлорит, каолинит.

Профильное распределение каждой минеральной фазы имеет свои специфические особенности.

*Смешанослойные образования.* Профильное распределение смешанослойных минералов имеет элювиально-иллювиальный характер (рис. 3). Максимальное содержание данной фазы отмечается в солонцовых горизонтах. Надсолонцовый горизонт (SEL) характеризуется минимальным количеством смешанослойных образований.

Надсолонцовый гор. SEL изученного разреза содержит в составе ила преимущественно иллит-сметитовое смешанослойные образования. Основанием для данной диагностики послужили следующие характеристики ключевых базальных рефлексов экспериментальных дифрактограмм (рис. 4). На дифрактограммах воздушно-сухих образцов отмечается максимум в области 1 нм, профиль рефлекса имеет асимметрию в сторону больших углов. Сольватация этиленгликолем приводит к появлению наклонной площадки, асимметрия пика, отмеченная выше, усиливается. Эти изменения сопровождаются обособлением рефлекса  $d_{001M}$  1.45 нм, появлением слабовыраженного диффузного пика 1.7–1.75 нм, возникновением на наклонной площадке, ориентированной в сторону первичного пучка серии нецелочисленных рефлексов первого



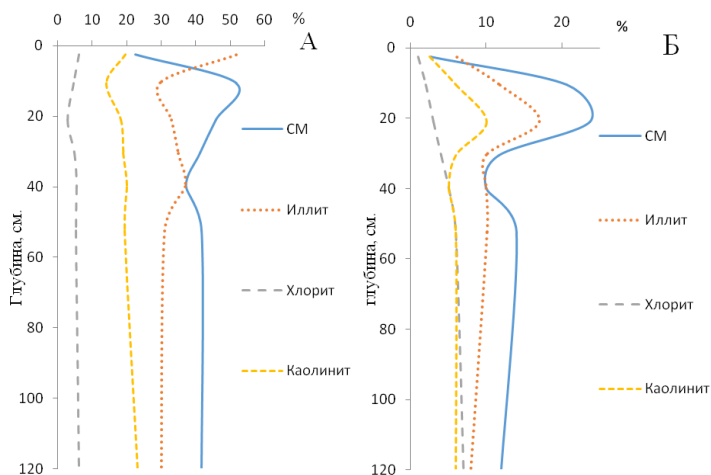


**Рис. 2.** Распределение общей суммы солей, суммы токсичных солей (А) и солевой профиль солонца (Б).

**Таблица 2.** Соотношение основных минеральных фаз во фракции <1 мкм в разр.ЗК-2, %

Горизонт	Глубина, см	Фракция <1 мкм, %	Фракция <1 мкм				Почва в целом, %			
			СМ	ИЛ	Х	КЛ	СМ	ИЛ	Х	КЛ
SEL	0–5	11.7	23	52	6	19	2.6	6.1	0.7	2.3
BSN1	5–16	39.7	51	30	5	14	20.6	11.8	1.8	5.5
BSN2	16–26	51.6	46	33	3	18	23.7	17.0	1.4	9.4
BSN3s	26–35	28.3	41	35	5	19	11.7	9.9	1.3	5.4
BCA <sub>scs</sub>	35–45	25.7	37	37	6	20	9.6	9.6	1.4	5.1
BCA <sub>nc</sub>	45–70	27.9	42	31	5	19	14.1	10.1	2.0	6.3
Cca,s	110–130	32.5	42	30	6	23	11.7	8.3	1.5	6.4

Примечание. СМ – смешанослойные минералы, ИЛ – иллит, Х – хлорит (ил), КЛ – каолинит.



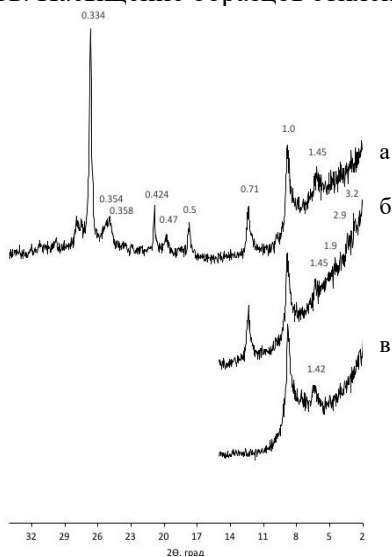
**Рис. 3.** Распределение основных минеральных фаз илистой фракции в профиле солонца (разр. ЗК-2) А – во фракции, Б – от почвы в целом, %.

порядка в диапазоне до 3.2 нм. Последний признак позволяет отнести этот вид смешанослойных минералов к неупорядоченным.

По полученным значениям рефлексов второго порядка сольватированных образцов  $d_{001/002M}$  и по рассчитанным значениям межплоскостных расстояний установлено, что содержание иллитовых

пакетов составляет не менее 60% ([Дриц, Сахаров, 1976](#)). Другим специфическим минеральным компонентом, характерным только для надсолонцового горизонта, является хлорит-вермикулитовое смешанослойное образование. Совместное присутствие вермикулита и хлорита, а также наличие обособленного рефлекса  $<2.9$  нм позволяет диагностировать хлорит-вермикулитовое смешанослойное образование. Вермикулит диагностирован по наличию обособленного слабовыраженного пика 1.45 нм на дифрактограмме образца, насыщенного этиленгликолем. В прокаленных образцах наблюдается увеличение почти вдвое интенсивности рефлекса 1 нм и обособление пика 1.42 нм, соответствующего хлориту. Присутствие вермикулита выявляется благодаря обеднению гор. SEL лабильными минералами в ходе солонцового процесса ([Дементьева, 1975](#)).

На рентгенодифрактограммах воздушно-сухих образцов солонцовых горизонтов максимальная интенсивность рефлекса отмечается в области  $d_{001M}$  1.45 нм со смещением его асимметрии в сторону меньших углов. Насыщение образцов этиленгликолем приво-



**Рис. 4.** Рентгенодифрактограмма гор. SEL (1–5 см) солонца: а – воздушно-сухое состояние образца, б – после сольватирования этиленгликолем, в – после прокаливания при 550°C в течение 2 ч, межплоскостные расстояния в нм.

дит к увеличению межплоскостного расстояния и сдвигу рефлексов от  $d_{001M}$  1.43 к 1.7–1.75 нм. Вместе с этим происходит изменение формы рефлекса  $d_{001M}$  1.75–1.8 нм от остроконечного в воздушно-сухом состоянии к широкому с переходом плеча пика к асимметричным наклонным площадкам. При этом появляется серия нецелочисленных рефлексов до  $d_{001M}$  3,2 нм. Указанные трансформации привели к смещению асимметрии площадок в сторону первичного пучка, а также увеличению профиля рефлекса. Положение рефлекса 1 нм не изменилось, но его интенсивность снизилась в сольватированных этиленгликолем препаратах. Наличие серии нецелочисленных отражений и все вышеописанное позволяет отнести этот вид иллит-сметитовых минералов к неупорядоченным, в которых количество иллитовых пакетов не более 20%.

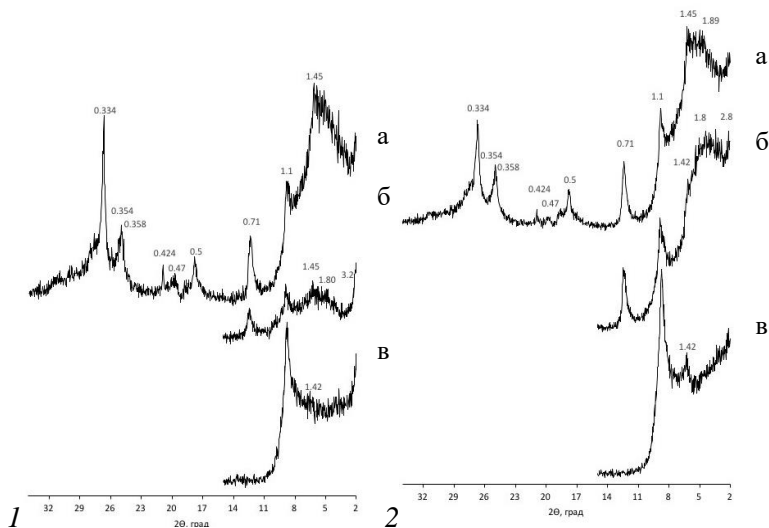
В ряду сравниваемых горизонтов выделяются гор. BSN1 и BSN2 максимально высоким содержанием смешанослойных минералов как во фракции <1 мкм, так и в пересчете на почву в целом (табл. 2). Гор. BSN1 имеет свои специфические особенности: ярко выраженную смектитовую фазу, представленную как индивидуальным смектитом, так и смешанослойным иллит-сметитом с незначительным количеством хлоритовых пакетов (рис. 5).

Гор. BSN3s отличается от вышележащих солонцовых, по особенностям строения смешанослойных минералов он близок к BCAs,cs – в составе смешанослойных минералов увеличивается доля хлоритовых пакетов (рис. 6).

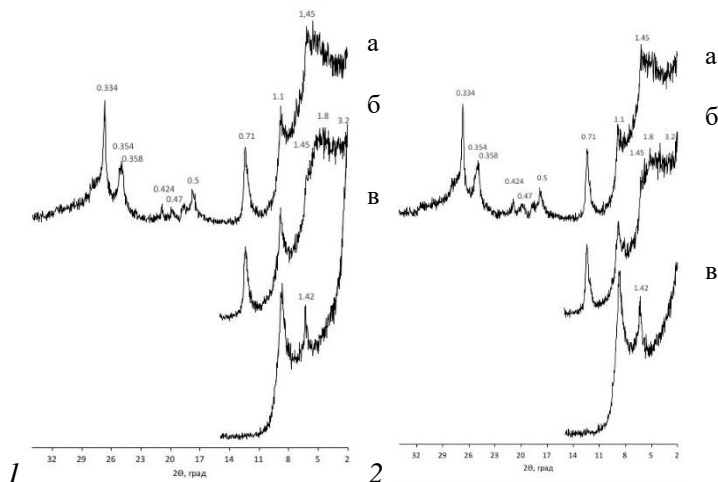
Следует отметить сходство гор. BCAns и Csa,s в характере кристаллохимических параметров смешанослойных минералов иллит-сметита – соотношение пакетов иллита и смектита в обоих случаях сопоставимо. Разница между этими горизонтами проявляется в увеличении доли хлоритовых пакетов в смешанных минералах в породе.

Таким образом, профильное распределение смешанослойных минералов имеет отчетливое элювиально-иллювиальное распределение с минимумом содержания в надсолонцовом горизонте и максимумом в гор. BSN1 и BSN2.

*Иллиты* диагностированы по наличию рефлексов  $d_{001}$  1 нм,  $d_{002}$  0.5 нм и  $d_{003}$  0.3 нм. Форма профиля и интенсивность указанных диагностических рефлексов почти не изменяются после насыщения



**Рис. 5.** Рентгendifрактограммы гор. BSN1 (1) и BSN2 (2) солонца: а – воздушно-сухое состояние образца, б – после сольватирования этиленгликолем, в – после прокаливании при 550°C в течение 2 ч, межплоскостные расстояния в нм.



**Рис. 6.** Рентгendifрактограммы гор. BSAnc (1) и Csa,s (2) солонца: а – воздушно-сухое состояние образца, б – после сольватирования этиленгликолем, в – после прокаливании при 550°C в течение 2 ч, межплоскостные расстояния в нм.

этиленгликолем и после прокаливания образцов. В гор. SEL профиль диагностического рефлекса  $d_{001}$  1 нм характеризуется слабо-выраженной асимметрией основания, что позволяет говорить о незначительном присутствии в гор. SEL иллитов с дефектом кристаллической структуры и их невысокой гидратированностью. Характер заполнения октаэдров кристаллитов по соотношению экспериментальных рефлексов первого и второго порядков серии базальных плоскостей говорит о наличии триоктаэдрических форм иллита. Полученные соотношения ([Рентгеновские методы..., 1965](#)) этих рефлексов дают основание для характеристики катионного заполнения октаэдров как  $3Al+Fe$ .

Профиль диагностических пиков солонцовых горизонтов BSN1, BSN2, BSN3s характеризуется несколько большими межплоскостными расстояниями. Профиль рефлекса  $d_{001}$  1 нм с широким асимметричным основанием позволяет выявить в них сильно-гидратированные иллиты с более выраженным дефектом кристаллической структуры. Характер заполнения октаэдров кристаллитов по соотношению рефлексов первого и второго порядков к серии базальных плоскостей указывает на присутствие три-диоктаэдрических форм иллита. Полученные соотношения этих рефлексов ([Рентгеновские методы..., 1965](#)) характеризуют катионного заполнения октаэдров иллита имеющего как  $6Mg$ , так и  $2Al+2Fe$  состав с высокой гидратированностью. Установленное присутствие в этих горизонтах данных силикатов с таким разнообразным катионным составом основано на расхождении расчетных отношений базальных отражений иллита ([Рентгеновские методы..., 1965](#)) и экспериментально полученных нами, которые указывают на их совместное присутствие. Проведенный объем исследований не позволяет выделить их долевое соотношение в указанных горизонтах.

По кристаллохимическому строению и рентгенографическим параметрам диагностических рефлексов иллит обоих карбонатно-аккумулятивных гор. ВСА мало отличается от иллита солонцовых горизонтов и существенно отличается от гор. SEL.

Повышенное содержание иллитовых минералов в надсолонцовом гор. SEL мы, как и [Соколова и др., 2005](#), связываем с процессом иллитизации – с необменной фиксацией калия лабильными пакетами смешанослойных структур, вермикулитом.

Таким образом, сверху вниз по профилю закономерно уменьшается содержание иллитов, а максимум содержания смешанослойных минералов отмечен в верхних двух солонцовых горизонтах, которые лежат сразу под элювиальным гор. SEL. Совместное присутствие иллитов с различным типом катионного заполнения связываем как с процессами внутривертикального перемещения, так и специфичностью условий внутригоризонтного почвенного выветривания минералов. В слабощелочной элювиальной обстановке направление выветривания определяется резервом неустойчивых к выветриванию минералов, что способствует выходу избыточного количества катионов, которое в итоге и приводит к указанным трансформациям. Эту закономерность подтверждают экспериментальные данные, например, с глубиной увеличивается интенсивность рефлекса  $d_{001M}$  1.75–1.9 нм на рентгенограммах препаратов, сольватированных этиленгликолем, и уменьшением интенсивности дифракционного максимума  $d_{001M}$  1 нм иллита. Наличие обратной пропорциональной зависимости между содержанием иллита и смектита и низкой вариации каолинита по данному профилю солонца дает основание считать, что происходит трансформация смектита в иллит в результате фиксации им калия и внедрение калия в кристаллическую решетку. Интенсивное выветривание в щелочной обстановке минералов (особенно слюды и отчасти K–Na-полевых шпатов), а также минерализация растительного опада являются источниками калия для протекания иллитизации.

*Хлорит* диагностирован по наличию рефлексов в области  $d_{001}$  1.4–1.43 нм,  $d_{003}$  0.47 нм и  $d_{004}$  0.35 нм. Полученные отражения  $d_{001}$  1.42 нм,  $d_{003}$  0.47 нм слабые, в то время как  $d_{002}$  0.7,  $d_{004}$  0.35 сильные, учитывалось наложение базального отражения  $d_{002}$  0.7 нм хлорита с  $d_{001}$  0.715 нм каолинитом. Характер рентгенографических данных указанных базальных отражений позволяют диагностировать присутствие магнезиально-железистой разновидности хлорита. Сольватация образцов этиленгликолем не приводит к изменению положения диагностических рефлексов хлорита. Прокаливание обособляет диагностический 1.4 нм рефлекс и снижает интенсивности всех последующих рефлексов. Качественной минералогической особенностью хлорита является слабая устойчивость к разрушению в зоне гипергенеза, что находит отражение в его минимальном количестве в гор. SEL.

*Каолинит* диагностирован по наличию рефлексов в области  $d_{001} 0.715$  нм и  $d_{002} 0.35$  нм. Сольватация образцов этиленгликолем не приводит к изменениям межплоскостных расстояний. Прокаливание при  $550^{\circ}\text{C}$  разрушает минерал полностью. Основной диагностический пик каолинита  $d_{001} 0.715$  нм совпадает с  $d_{001} 0.71$  нм хлорита, что учитывалось при его полуколичественном определении. Широкие основания в профилях диагностических рефлексов  $d_{001} 0.71$  нм и  $d_{002} 0.35$  нм и их асимметрия могут говорить о несовершенстве структуры каолинита, находящегося в гор. SEL, BSN1 и BSN2. Ниже по профилю степень совершенства каолинита возрастает, широкие основания профилей диагностических рефлексов исчезают, а пики приобретают симметричные и остроконечные формы. Пониженное содержание каолинита в гор. SEL при перерасчете на почву может объясняться также и разрушением хлоритовых структур, о чем указывали выше при рассмотрении характера распределения хлорита. Подтверждением этого процесса является возрастание интенсивности пика 1.43 нм прокаленных образцов из горизонтов с глубиной по профилю.

Стоит отметить характерную и описанную в литературе особенность надсолонцового гор. SEL в появлении незначительного количества тонкодисперсного кварца (Дементьева, 1975). Это подтверждается наличием базальных диагностических отражений 0.42 и 0.33 нм, принадлежащих кварцу. Относительное уменьшение в гор. SEL фракции тонкой пыли и параллельное появление кварца во фракции ила – дополнительное свидетельство абсолютного обогащения илистой фракции кварцем за счет, как мы предполагаем, конгруэнтного растворения кварца тонкопылеватой размерности в щелочных условиях. Тем более, что ниже гор. SEL присутствие тонкодисперсного кварца не отмечено.

**Кластогенные минералы.** Все исследованные крупные фракции представлены одной минералогической ассоциацией: кварц, слюды три- и диоктаэдрического типа, калиевые полевые шпаты, плагиоклазы, хлорит, каолинит. В каждой гранулометрической фракции отмечаются свои особенности по соотношению данных минералов.

*Фракция тонкой пыли* (табл. 3) состоит из следующих минералов (по мере убывания содержания): кварц, слюды три- и



диоктаэдрического типа, калиевые полевые шпаты, плагиоклазы, хлорит, каолинит.

В гор. SEL наблюдается более высокое содержание кварца, слюд триоктаэдрического типа (биотит), калиевых полевых шпатов и пониженное плагиоклазов, хлорита, каолинита. Два верхних гор. BSN имеют большее содержание кварца, а присутствие слюд с низкими значениями отношений интенсивностей ( $I_{1.0 \text{ нм}}/I_{0.5 \text{ нм}}$ ) (1.6–2.2) что говорит об относительно повышенной доле диоктаэдрической разности (мусковита).

*Фракция средней пыли.* Среди минералов преобладает кварц, далее в порядке уменьшения содержания следуют плагиоклазы, калиевые полевые шпаты, слюды, хлорит и каолинит. Распределение минералов неравномерное, фиксируется накопление кварца, плагиоклаза, калиевых полевых шпатов в гор. SEL. В солонцовых горизонтах отмечается более высокое содержание кварца и плагиоклазов и более низкое слюд по сравнению с тонкой пылью.

*Фракция >10 мкм.* Минералогический состав этих частиц крупнозема аналогичен фракциям тонкой и средней пыли и представлен кварцем (31–51%), плагиоклазами (19–30%), калиевыми полевыми шпатами (16–31%), слюдами (2–5%), хлоритом (2–5%) и незначительной примесью каолинита (менее 2%). Наиболее высокое содержание кварца (50–52%) отмечается как в гор. SEL, так и во всех аккумулятивно карбонатных горизонтах и в переходном к породе горизонту, ниже по профилю (в солонцовых горизонтах) его содержание несколько снижается (30–40%).

В ряду рассмотренных гранулометрических фракций содержание слюды максимально в наименьшей по размеру кластогенной фракции – тонкой пыли. Считаем, что такая закономерность связана с механической дезинтеграцией слюд при педо(лито)генезе.

## ВЫВОДЫ

Элювиально-иллювиальный характер распределения ила по профилю сопровождается изменением соотношения состава глинистых минералов в надсолонцовом и солонцовом горизонтах по сравнению с нижележащими. При этом наиболее низкое содержание ила отмечено в маломощном надсолонцовом корковом горизонте (SEL, 0–3 см), что связано с современными почвообразовательными процессами – выветриванием и лессиважем.

**Таблица 3.** Содержание минералов в крупных фракциях солонца коркового (разр. ЗК-2)

Горизонт	Глубина отбора, см	Содержание минералов во фракции, %	Содержание минералов от почвы в целом, %											
			Кв	Пл	Кпш	Сл	Х	Кл	Кв	Пл	Кпш	Сл	Х	Кл
<b>1-5 мкм</b>														
SEL	0-5	11.2	35	9	20	21	9	5	3.9	1.0	2.3	2.4	1.0	0.5
BСN1	5-16	8.5	35	9	20	21	10	4	3.0	0.8	1.7	1.8	0.8	0.4
BСN2	16-26	6.2	38	15	10	21	10	6	2.4	0.9	0.6	1.3	0.6	0.4
BСN3s	26-35	12.9	28	13	11	24	15	8	3.7	1.6	1.4	3.2	1.9	1.0
BCAs,cs	35-45	10.5	27	12	10	24	16	10	2.9	1.2	1.1	2.6	1.7	1.1
BCAnc	45-70	9.9	28	12	9	25	12	13	2.8	1.2	0.9	2.5	1.3	1.2
Cca,s	110-130	8.1	32	14	9	23	11	10	2.6	1.1	0.8	1.9	0.9	0.8
<b>5-10 мкм</b>														
SEL	0-5	8.6	43	21	12	13	8	3	3.7	1.9	1.0	1.1	0.7	0.2
BСN1	5-16	5.2	42	22	12	13	7	4	2.2	1.2	0.6	0.7	0.4	0.2
BСN2	16-26	5.1	44	19	10	14	7	5	2.2	1.0	0.5	0.7	0.4	0.3
BСN3s	26-35	7.5	37	19	11	16	10	7	2.8	1.4	0.9	1.2	0.8	0.6
BCAs,cs	35-45	8.3	38	16	10	15	11	10	3.1	1.3	0.8	1.3	0.9	0.9

В составе ила гор. SEL преобладают триоктаэдрические иллиты, что свидетельствует об активном протекании процесса иллитизации. Содержание вермикулита и неупорядоченного смешанослойного образования (иллит-смектита с преобладанием иллитовых пакетов) здесь минимально, что связано с его разрушением. Содержание хлорит-вермикулита и несовершенного каолинита незначительно. Особенностью состава ила этого горизонта является наличие здесь тонкодисперсного кварца, что позволяет предполагать его конгруэнтное растворение во фракции тонкой пыли.

В ряду солонцовых гор. BSN1, BSN2, BSN3 выделяется гор. BSN2 максимальным количеством ила (52%). По минералогическому составу ила выделяется гор. BSN1, что выражается в преобладании лабильных минералов с сегрегацией смектитовых пакетов. В гор. BSN2 и BSN3 количество лабильных минералов заметно снижается, как и количество смектитовых пакетов в смешанослойных образованиях. При этом в них появляется незначительное переслаивание хлоритовых пакетов.

В верхних двух солонцовых горизонтах содержание иллита три-,диоктаэдрического типа заметно меньше во фракции ила, но больше в пересчете на почву в целом по сравнению с нижележащими горизонтами. С глубиной в пределах солонцовых горизонтов по мере возрастания количества каолинита увеличивается степень совершенства его структуры.

Гор. ВСА содержит неупорядоченные смешанослойные образования иллит-смектита с одинаковым соотношением смектитовых и иллитовых пакетов и с увеличивающейся долей хлоритовых пакетов по сравнению с вышележащими горизонтами. Иллиты тридиоктаэдрические высоко гидратированные, каолинит совершенной структуры.

Гор. Сса,s на фоне незначительной вариабельности в содержании минералов отличается от гор. ВСА большим содержанием хлорита и каолинитом совершенной структуры.

Распределение кластогенных минералов во фракциях пыли и  $\geq 10$  мкм по профилю солонца характеризуется слабым варьированием.

Количественный состав минералов крупных фракций меняется по мере увеличения размера фракций, при этом качественный состав постоянен для всего профиля. С ростом размера фракций

отмечено увеличение в их составе содержания кварца, полевых шпатов, плагиоклазов и уменьшение слюд.

## БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-04-00638-а.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев В.Е.* Минералогия почвообразования в степной и лесостепной зонах Молдовы. Диагностика, параметры, факторы, процессы. Кишинев, 1999. 241 с.
2. *Варламов Е.Б., Чижикова Н.П., Лебедева М.П., Чурилин Н.А.* Эволюция верхнего горизонта солонца постагрогенного светлого Прикаспийской низменности по количественному распределению минералов различных гранулометрических фракций // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2017. Вып. 88. С. 96–121. doi: [10.19047/0136-1694-2017-88-96-120](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2017-88-96-120)
3. *Володин В.М.* Состав и свойства малонатриевых солонцов каштановой зоны Северного Казахстана // Мелиорация солонцов. М.: Наука, 1972. Ч. 1. С. 106–120.
4. *Воробьева Л.А.* Химический анализ почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 324 с.
5. *Гончарова Н.А., Панов Н.П.* Минералогический состав малонатриевых солонцов Волгоградской области // Известия ТСХА. 1970. Вып. 4. С. 101–110.
6. *Горбунов Н.И.* Методика подготовки почв к минералогическим анализам // Методы минералогического и микроморфологического изучения почв. М.: Наука, 1971. С. 5–15.
7. *Градусов Б.П.* Рентгендифрактометрический метод в минералогических исследованиях почв // Почвоведение. 1967. № 10. С. 127–137.
8. *Градусов Б.П.* Минералы со смешанослойной структурой в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1976. 127 с.
9. *Дементьева Т.Г.* Химико-минералогические особенности почв солонцового комплекса пустынно-степного Заволжья // Почвоведение. 1975. № 4. С. 98–112.
10. *Дриц В.А., Сахаров Б.А.* Рентгеноструктурный анализ смешанослойных минералов. М.: Наука, 1976, 256 с.
11. *Дьяконов Ю.С.* О возможностях количественного рентгенографического определения каолинита, гидрослюд и монтмориллонитов // Рентгенография минерального сырья. 1963. № 3. С. 85–106.
12. *Конюшкова М.В., Абатуров Б.Д.* Особенности микрорельефа и свойства почв солонцового комплекса на поздних стадиях развития в

- Прикаспийской низменности // Бюл. Почв. ин-та им. Докучаева. 2016. Вып. 83. С. 53–76. doi: [10.19047/0136-1694-2016-83-53-76](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-83-53-76)
13. Корнблум Э.А., Дементьева Т.Г., Зырин Н.Г., Бирина А.Т. Изменение глинистых минералов при образовании южного и слитого черноземов, лиманной солоды и солонца // Почвоведение. 1972. № 1. С. 67–85.
14. Половицкий И.Я. Солонцы Северного Казахстана и пути их использования: Автореф. дис. ... д-ра с./х. н. Омск, 1970. 32 с.
15. Рогов В.В. Основы криогенеза. Новосибирск: ГЕО, 2009. 201 с.
16. Соколова Т.А., Григорьева Е.Е. О количественном определении минералов группы почвенных хлоритов // Почвоведение. 1985. № 7. С. 132–136.
17. Соколова Т.А., Дронова Т.Я. Толпешта И.И. Глинистые минералы в почвах. М., 2005.
18. Соколова Т.А., Тесленко Л.Н., Романенков В.А. Гранулометрический состав и состав глинистых минералов в целинных и мелиорированных солонцах Северного Прикаспия // Биологические науки. 1989. № 12. С. 87–92.
19. Травникова Л.С. [Минералогический состав фракции <1 мм некоторых солонцов черноземной и каштановой зон](#) // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 1968. Вып. 2, С. 52–60.
20. Травникова Л.С. О географии и генезисе глинистого материала солонцовых почв // Тез. докл. 5-го съезда ВОП. Вып. 1. Мн, 1977. С. 156–157.
21. Травникова Л.С., Мясников В.В. Особенности профиля глинистого материала почв солонцового профиля лимана Б. Царын // Почвоведение. 1967. № 10. С. 127–137.
22. Рентгенография основных типов почвообразующих минералов / Под ред. Власова В.С. и др. Л.: Недра, 1983. 359 с.
23. Рентгеновские методы изучения и структура глинистых минералов / Под. ред. Брауна Г. М.: Мир, 1965. 599 с.
24. Роде А.А., Польский М.Н. Почвы полупустыни Северо-Западного Прикаспия и их мелиорация // Тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. М.: Изд-во АН СССР, 1961. Т. 56. С. 3–21.
25. Чепалыга А.Л., Пирогов А.Н. Влияние вод Хвалынского бассейна древнего Каспия на формирование долины Маныча и его ландшафтов // Роль особо охраняемых природных территорий в сохранении биоразнообразия. Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. ун-та, 2006. С. 409–415.
26. Чижикова Н.П., Градусов Б.П., Травникова Л.С. Особенности профилей глинистого материала почв Барабинской лесостепи в связи с их эволюцией // Науч. докл. высш. шк. биол. н. 1973. № 8. С. 99–106.
27. Чижикова Н.П., Хитров Н.Б. Разнообразие глинистых минералов почв солонцовых комплексов юго-востока Западной Сибири // Почвоведение. 2016. № 12. С. 1506–1520. doi: [10.7868/S0032180X16120054](https://doi.org/10.7868/S0032180X16120054)

28. *Чижикова Н.П., Хитров Н.Б., Самсонова А.А., Варламов Е.Б., Чурилин Н.А., Роговнева Л.В., Чевердин Ю.И.* Минералы трехкомпонентной пятнистости агрочерноземов Каменной Степи // Почвоведение. 2017. № 4. С. 468–482. doi: 10.7868/S0032180X17020022
29. *Шарошкина Н.Б.* Природа высокодисперсных минералов и химический состав солонцов Северного Казахстана. Автореф. дис.... канд. Алмата, 1967. 23 с.
30. *Biscaye P.E.* Mineralogy and sedimentation of the deep-sea sediment fine fraction in the Atlantic Ocean // *Geochem. Techn. Rept.* 1964. V. 49. № 9/10. P. 1281–1289.
31. *Biscaye R.E.* Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent Seas and Oceans // *Geological Soc. Am. Bull.* 1965. V. 76. № 7. P. 803–832.
32. *Miller I.I., Brierley J.A.* Solonetzic soils of Canada: Genesis, distribution, and classification // *Canada J. Soil Sci.* 2011. V. 95. № 5. P. 889-902.
33. *Shishkov T., Kolev N.* The soils of Bulgaria. N.Y.–L.: Springer dordrecht Heidelberg, 2014. 152 p.
34. *Szőőr G., Balázs É., Novák T., Kovács-Pálffy P., Kónya P.* Mineralogical composition of genetic horizons of crusty meadow solonetz soil profile from Püspökladány based on X-ray diffraction and thermal analysis // *Acta GGM DEBRECINA Geology, Geomorphology, Physical Geography Series*, 2008. V. 3. pp. 9–14.

## **PROFILE DISTRIBUTION OF MINERALS IN TEXTURAL FRACTIONS OF DIFFERENT DIMENSIONS IN THE SOLONETS IN DRY STEPPE ZONE OF RUSSIA**

**E. B. Varlamov, M. P. Lebedeva,  
N. A. Churilin, A. E. Churilina**

*V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,  
Russia, 119017, Moscow, Pyzhevskii per. 7-2*

*e-mail: [evgheni968@rambler.ru](mailto:evgheni968@rambler.ru)*

Mineralogical composition of different texture fractions of Solonetz (Calcic Gypsic Endosalic Solonetz (Columnic Cutanic differentic) was studied. Investigated object was located on the Borsi key plot in the northern part of the Caspian lowland (absolute height of the territory about 48 m) and developed on Early Khvalynian deposits. The profile of Solonetz is formed on coarse-silty clays and is characterized by depletion of silt in the upper 5cm horizon. The modern pedogenesis causes eluvial-illuvial distribution of silt fraction along the profile and the different ratio of mineral phases: 1) trioctahedral illites prevail

in the SEL horizon, which indicates the process of illitization; 2) the upper natric horizon differs from the underlying ones by the predominance of labile minerals with the segregation of smectite packages. This pattern is associated with the process of lessivage, which occurs as the forming of clayey coatings. According to the mineralogical composition, some stratification of the soil-forming material is noted: in the upper part of the profile there was an increased content of illite of tri-dioctahedral type and mixed-layer minerals in comparison with the lower horizons. Comparing to the accumulative-calcareous horizons BCA and BSN3s the calcareous (Cca,s) horizon has a higher content of chlorite and kaolinite with perfect structure. The distribution of clastogenic minerals along the Solonetz profile in silt fractions and  $\geq 10 \mu\text{m}$  has a weak disordered variation. With the increase of fractions sizes, an increase in the content of quartz, feldspars, plagioclases was marked. Also, the decrease of micas due to their more active disintegration during the pedogenesis was revealed.

*Key words:* mineralogical composition, particle-size fractions, lessivage, illitization

## REFERENCES

1. Alekseev V.E. Mineralogy of soil formation in steppe and forest-steppe zones of Moldova, *Diagnostics, parameters, factors, processes*, Kishinev: 1999, 241 p. (in Russian)
2. Varlamov E.B., Chizhikova N.P., Lebedeva M.P., Churilin N.A. The evolution of the upper layer of light postagrogenic solonetz from caspian lowland by the amount of distributed minerals of different fractions, *Byulleten Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva*, 2017, V. 88, pp. 96–121. doi: 10.19047/0136-1694-2017-88-96-120 (in Russian)
3. Volodin V.M. Composition and properties of low-sodium solonetz in the chestnut zone of Northern Kazakhstan, *Melioracija soloncov*, Moscow, Nauka Publ., 1972. Vol. 1, pp. 106–120. (in Russian)
4. Vorob'eva L.A. *Chemical analysis of the soil*, Moscow University Publ., 1998, 324 p. (in Russian)
5. Goncharova N.A., Panov N.P. Mineralogicheskij sostav malonatrievyh soloncov Volgogradskoj oblasti, *Izvestija TSHA*, 1970, No. 4, pp. 101–110. (in Russian)
6. Gorbunov N.I. Methods of soil preparation for mineralogical analyzes, *Methods of mineralogical and micromorphological soil studying*, Moscow, Nauka Publ., 1971, pp. 5–15. (in Russian)
7. Gradusov B.P. X-ray diffractometry method in mineralogical studies of soils, *Pochvovedenie*, 1967, No. 10, pp. 127–137. (in Russian)
8. Gradusov B.P. *Minerals with a mixed structure in soils*, USSR AS Publishing, 1976, 127 p. (in Russian)

9. Dement'eva T.G. Chemical and mineralogical features of solonetz complex soils of the desert-steppe Zavolzhye, *Pochvovedenie*, 1975, No. 4, pp. 98–112.
10. Dric V.A., Saharov B.A. XRD analysis of mixed-layered minerals, Moscow, Nauka Publ., 1976, 256 p. (in Russian)
11. D'jakonov Yu.S. Possibilities of quantitative radiographic determination of kaolinite, hydromica and montmorillonites, *Radiography of mineral raw material*, 1963, No. 3, pp. 85–106. (in Russian)
12. Konjushkova M.V., Abaturov B.D. The specificities and properties of soils of solonetzic complex on the latest stages of development in the area of caspian sea region, *Byulleten Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva*, 2016, V. 83, pp. 53–76. doi: 10.19047/0136-1694-83-53-76 (in Russian)
13. Kornbluym E.A., Dement'eva T.G., Zyryn N.G., Birina A.T. Clay minerals changing during formation of southern and vertic chernozems, liman solod and solonetz, *Pochvovedenie*, 1972, No. 1, pp. 67-85. (In Russian)
14. Polovitsky I.Ya. Solonetzes of Northern Kazakhstan and ways of their use. Author's abstract, Doctoral thesis, Omsk, 1970.
15. Rogov V.V. *Fundamentals of cryogenesis*. Novosibirsk, GEO Publ., 2009, 201 p.
16. Sokolova T.A., Grigor'eva E.E. Quantitative determination of soil chlorite group minerals, *Pochvovedenie*, 1985, No.7, pp. 132–136. (in Russian)
17. Sokolova T.A., Dronova T.Ya., Tolpeshta I.I. Clay minerals in soils: Text-book, Moscow, 2005. (in Russian)
18. Sokolova T.A., Teslenko L.N., Romanenkov V.A. Particle size distribution and composition of clay minerals in virgin and meliorated solonetz of the Northern Caspian region, *Biologicheskie nauki*, 1989, No. 12, pp. 87–92. (in Russian)
19. Travnikova L.S. Mineralogical composition of <1m fraction of some solonets in chernozem and chestnut zones, *Byulleten Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva*, 1968, V. 2, pp. 52–60. (in Russian)
20. Travnikova L.S. Geography and genesis of clayey material of solonetz soils, *Tez.dokl. 5-go s'ezda VOP*, V. 1, Minsk, 1977, pp.156–157. (in Russian)
21. Travnikova L.S., Mjasnikov V.V. Features of clay material profile of solonetz soils in liman Big Tzaryn, *Pochvovedenie*, 1967, No. 10, pp. 127–137. (in Russian)
22. *Radiography of the main types of soil-forming minerals*, Ed. Vlasov V.S. et al. Minck, Nedra Publ., 1983, 359 p. (in Russian)
23. *X-ray methods of studying and the structure of clay minerals*, Ed. Braun G., Moscow, Mir Publ., 1965, 599 p. (in Russian)
24. Rode A. A., Pol'skij M.N. Soils of the semi-desert of the North-Western Caspian region and their reclamation, *Proceedings of V.V. Dokuchaev Soil Science institute*, 1961, V. 56, pp. 3–214. (in Russian)
25. Chepalyga A.L., Pirogov A.N. Influence of Khvalynsky basin waters of the ancient Caspian Sea on the formation of the Manych valley and its landscapes,



*The role of specially protected natural areas in biodiversity conservation: Rostov university Publishing*, 2006, pp. 409–415. (in Russian)

26. Chizhikova N.P., Gradusov B.P., Travnikova L.S. Features of the clay material profiles of Barabinsk forest-steppe soils in connection with their evolution, *Abstracts of Papers of biological sciences school*, 1973, No. 8, pp. 99–106. (in Russian)

27. Chizhikova N.P., Khitrov N.B. Diversity of Clay Minerals in Soils of Solonchek Complexes in the Southeast of Western Siberia, *Eurasian Soil Science*, 2016, V. 49, No.12, pp. 1419–1431. doi: 10.1134/S106422931612005X

28. Chizhikova N.P., Khitrov N.B., Samsonova A.A., Varlamov E.B., Churilin N.A., Rogovneva L.V., Cheverdin Yu.I. Minerals in the Three-Component Combination of Agrochernozems in the Kamennaya Steppe, *Eurasian Soil Science*, 2017, V. 50, No. 4, pp. 456–470. doi: 10.1134/S1064229317020028

29. Sharoshkina N.B. The nature of highly dispersed minerals and the chemical composition of soloncheks in Northern Kazakhstan. Author's abstract. Ph.D. thesis, Alma-Ata, 1967, 23 p.

30. Biscaye P.E. Mineralogy and sedimentation of the deep-sea sediment fine fraction in the Atlantic Ocean, *Geochem. Techn. Rept.*, 1964, V. 49, No. 9/10, pp. 1281–1289

31. Biscaye R.E. Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent Seas and Oceans, *Geological Soc. Am. Bulletin*, 1965, V. 76, No. 7, pp. 803–832.

32. Miller I.I., Brierley J.A., Solonchek soils of Canada: Genesis. distribution. and classification, *Canada J. Soil Sci.*, 2011, V. 95(5), pp. 889–902.

33. Shishkov T., Kolev N., *The soils of Bulgaria*, N.Y., London, Springer dordrecht Heidelberg, 2014, 152 p.

34. Szőőr G., Balázs É., Novák T., Kovács-Pálffy P., Kónya P. Mineralogical composition of genetic horizons of crusty meadow solonchek soil profile from Püspökladány based on X-ray diffraction and thermal analysis // *Acta GGM DEBRECINA Geology, Geomorphology, Physical Geography Series*, 2008. V. 3. pp. 9–14.

### **Ссылки для цитирования**

Varlamov E.B., Lebedeva M.P., Churilin N.A., Churilina A.E. Особенности профильного распределения минералов во фракциях разной размерности в солонце корковом светлом сухостепной зоны юга России // *Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева*. 2018. Вып. 93. С. 144–172. doi: 10.19047/0136-1694-2018-93-144-168

Varlamov E.B., Lebedeva M.P., Churilin N.A., Churilina A.E. Profile distribution of minerals in textural fractions of different dimensions in the soloncheks in dry steppe zone of Russia, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2018, V. 93, pp. 144–172. doi:10.19047/0136-1694-2018-93-144-168