

## МИНЕРАЛОГИЯ И МИКРОМОРФОЛОГИЯ ПОЧВ

УДК 631.4

### РЕГИОНАЛЬНОЕ РАЗНООБРАЗИЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА СОЛОНЦОВ РОССИИ

© 2019 г. Н. Б. Хитров<sup>1</sup>, \*, Е. Б. Варламов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 2

\*e-mail: khitrovn@gmail.com

Поступила в редакцию 16.05.2018 г.

После доработки 24.05.2018 г.

Принята к публикации 29.08.2018 г.

Качественно и количественно охарактеризовано разнообразие минералогического состава ила (<1 мкм) почвообразующих пород (гор. ВС и С), надсолонцовых (гор. SEL) и солонцовых (гор. BSN) горизонтов солонцов разных регионов Восточно-Европейской равнины и Западно-Сибирской низменности. Содержание смектитовой фазы (1.7 нм) (СМ), гидрослюда (1.0 нм) (ГС) и суммы каолинита и хлорита (0.7 нм) рассчитано по методике Бискайя для всех образцов. Использовано содержание и минералогический состав илистой фракции 394 образцов почвенных горизонтов из 71 профиля солонцов. Получены эмпирические статистические кумулятивные и дифференциальные распределения содержания глинистых минералов. Оценена частота встречаемости разных вариантов профильного распределения минералов в солонцах. Установлено, что солонцы не имеют единого варианта профильного распределения глинистых минералов за счет разных минералогического состава пород и условий почвообразования. В солонцах чаще других встречалось элювиально-иллювиальное распределение содержания гидрослюда в процентах от почвы ( $GC_{SEL}^n < GC_{BSN}^n > GC_{BC}^n$ ). Частота этого варианта варьировала от 25 до 65% в отдельных группах и составляла 57% в общей выборке. Традиционно считается главным элювиально-иллювиальное распределение содержания смектитовой фазы в почве ( $CM_{SEL}^n < CM_{BSN}^n > CM_{BC}^n$ ). В действительности его частота варьирует от 10 до 30% в отдельных выборках и составляет всего 20% в общей.

*Ключевые слова:* глинистые минералы, смешанослойные слюда-смектитовые образования, гидрослюды, каолинит, хлорит

**DOI:** 10.1134/S0032180X19010088

#### ВВЕДЕНИЕ

Имеется обширная литература о генезисе, свойствах, функционировании почв солонцовых комплексов, изменении их при мелиоративных воздействиях (К.К. Гедройц, К.Д. Глинка, В.А. Ковда, А.Ф. Большаков, Е.Н. Иванова, И.Н. Антипов-Каратаев, Н.И. Базилевич, К.П. Пак, Э.А. Корблом, Б.А. Зимовец, М.Б. Минкин, В.П. Калинин, В.И. Тюльпанов, Н.И. Годунова, Л.В. Березин, В.Н. Михайличенко, Н.П. Панов, И.Н. Любимова, I. Scabolch, W.P. Kelly, E. Bresler, V.L. McNeal, K. Darab, V. Murphy и многие другие исследователи). Сведения о минералогическом составе и его распределении по почвенному профилю в почвах солонцовых комплексах обсуждались для отдельных разрезов или их небольших групп [1, 4–9, 13, 15, 16, 18–21, 24–26, 36, 37, 41, 47, 51, 62, 63, 68, 69, 71, 75]. Нам известно только две работы, в которых проведено специальное сопоставление минералогического состава почв солонцовых комплексов разных регионов Венгрии

[72] и Западной Сибири [55]. Особый состав минералов имеют почвы солонцовых комплексов на древних каолиновых корках выветривания на Южном Урале и в Тургае [38, 49], а также на палеоген-неогеновых глинах в Центральном Предкавказье [47, 50]. В 1950–1960-х годах широко обсуждались свойства и классификационное положение глинистых Solodized Solonetz [61, 70, 73, 74], многие профили которых позже стали относить к группе Vertisols. Для последней группы почв характерна высокая доля смектитовых минералов [67]. В соответствии с новой редакцией WRB–2014 ряд таких объектов представляют группу Vertic Solonetz. На этом основании можно заключить, что имеющиеся разрозненные публикации по отдельным профилям солонцов, представленные разными авторами, работавших в разных регионах мира, свидетельствуют о заметном разнообразии минералогического состава солонцовых почв, вместе с тем, региональный анализ этого разнообразия практически не выполняли.

Цель статьи – представить результаты систематизации и оценки регионального разнообразия минералов глинистой фракции солонцов России в связи с особенностями почвообразующих пород и специфики текстурной дифференциации почвенного профиля с использованием эмпирических статистических распределений.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования является минералогический состав илистой фракции <1 мкм и его распределение по профилю солонцов разных регионов России: Окско-Донской низменности, Калачской, Приволжской возвышенностей, Сыртового Заволжья, Южного Урала, Прикаспийской низменности, возвышенности Ергени, террас долины Маньча, Ставропольской возвышенности, Присивашской низменности, Западно-Сибирской низменности, Приобского плато.

В ходе реализации проекта РФФИ параллельно выполнялись две группы работ: 1 – целенаправленный отбор представительных почвенных профилей целинных солонцов, развитых на разных почвообразующих породах, и экспериментальное исследование минералогического состава нескольких гранулометрических фракций (<1, 1–5, 5–10 и >10 мкм) основных генетических горизонтов солонцов и солонцеватых почв [48, 56–58, 60]; 2 – систематизация информации по минералогическому составу солонцов и других почв солонцовых комплексов по опубликованным материалам разных авторов [2, 3, 10, 12, 14, 17, 18, 23, 27, 28, 30–35, 38–40, 43–46, 49] и фондовым данным лаборатории минералогии почв Почвенного института им. В.В. Докучаева. На заключительном этапе информация объединена в виде базы данных.

Выделение гранулометрических фракций (<1 мкм, 1–5, 5–10 и >10 мкм) выполнены по методике Горбунова [11] методом седиментации путем многократного повторения циклов взмучивания исходной суспензии и слива верхнего слоя отстоявшейся в течение требуемого интервала времени суспензии до просветления отстоя с последующим повторным разминанием осадка и продолжения циклов отмучивания. Гипс и карбонаты предварительно разрушали обработкой соляной кислотой. В отдельных образцах проводили дифференциацию илистой фракции на воднопептизированную и агрегированные подфракции.

Определение фазового состава минералов в выделенных фракциях выполнено рентгендифрактометрическим методом с помощью универсального рентгендифрактометра HZG-4a. Съемка ориентированных препаратов, насыщенных магнием, осуществлена в трех состояниях образца: 1 – воздушно-сухом, 2 – сольватированном

этиленгликолем в течение двух суток и 3 – после прокаливания при 550°C в течение двух часов. Соотношения основных минеральных фаз в илистой фракции рассчитаны по методу Бискайя [64, 65], в пылеватых фракциях – по методу Кука с соавт. [66].

Для оценки дифференциации верхней части солонцового профиля между надсолонцовым (гор. SEL) и солонцовым (гор. BSN) горизонтами рассчитаны коэффициенты  $DDi$  для гранулометрических фракций и содержания отдельных минералов, аналогичные степени иллювированности  $Ni$ , предложенному Новиковой и Коваливничем [29]. Общий вид расчета коэффициентов:  $DDi = (B - A) / (A + B) \times 100$ , где  $DDi$  – коэффициент дифференциации по  $i$ -му показателю;  $A$  и  $B$  – содержание  $i$ -го компонента в надсолонцовом (гор. SEL) и солонцовом (гор. BSN) горизонтах, соответственно; 100 – коэффициент перевода в проценты.

Положительные значения  $DDi$  соответствуют более высокому содержанию  $i$ -го компонента в солонцовом по сравнению с надсолонцовым горизонтом, а отрицательные – наоборот, более низкому содержанию  $i$ -го компонента в солонцовом по сравнению с надсолонцовым горизонтом. Диапазон  $-10\% < DDi < 10\%$ , обусловленный погрешностями измерений и расчетов, принимаем как свидетельство отсутствия дифференциации по выбранному показателю. При содержании компонента менее 2–3% в обоих горизонтах погрешности измерения сопоставимы с возможной разницей значений показателей состава почвы, значения  $DDi$  не использовали.

Составлена база данных (БД) минералогического состава почв солонцовых комплексов России и сопредельных стран. Она включает информацию о 173 почвенных разрезах, в том числе о 73 разрезах солонцов, 64 разрезах солонцеватых почв, и 36 разрезах других компонентов почвенных комбинаций (черноземов, лугово-черноземных, каштановых, лугово-каштановых, бурых полупустынных почв, солодей, солончаков). Каждый почвенный профиль охарактеризован 3–10 образцами разных горизонтов. БД включает 869 образцов, среди них для 96 образцов выделение илистых фракций и анализ минералогического состава были выполнены в ходе данного проекта. БД содержит следующую информацию: (1) источник информации (ссылка); (2) административный и/или физико-географический регион (подробности определяются источником); (3) почвообразующие породы; (4) авторский номер разреза; (5) название почвы; (6) почвенный горизонт; (7) глубину отбора образца; (8) содержание ила; (9) содержание смешанослойной фазы (1.7 нм); (10) содержание гидрослюды (1.0 нм); (11) содержание суммы хлорита и каолинита

(0.7 нм) в составе ила, расчет по Бискаю [65]; (12–14) содержание смешанослойной фазы (1.7 нм), гидрослюды (1.0 нм), суммы хлорита и каолинита (0.7 нм) в % от почвы в целом; (15) качественная идентификация минералогического состава ила; (16–25) служебные группирующие переменные.

Состав смешанослойной фазы, содержание которой оценивали по площади пика 1.7 нм в ориентированном препарате илистой фракции <1 мкм, сольватированном этиленгликолем, меняется в разных образцах. Он включает неупорядоченные смешанослойные образования нескольких типов: слюда-сметитовые, хлорит-сметитовые, хлорит-вермикулитовые. В редких случаях в нее входят индивидуальные смектиты. Фаза, содержание которой оценивали по площади пика 1.0 нм того же препарата, обозначена общим термином “гидрослюды”. Она включает ди- и триоктаэдрические слюды с дефицитом калия, а также собственно ди- и триоктаэдрические слюды.

Поскольку в опубликованных источниках расчет содержания глинистых минералов выполнен разными способами, для включения информации в БД для всех образцов соотношение трех минералогических фаз (1.7, 1.0, 0.7 нм) в составе ила получены по единой методике Бискаю [65] на основе оригинальных или опубликованных рентгенодифрактограмм.

Информация, собранная в БД, использована для статистической обработки с построением кумулятивных и дифференциальных эмпирических распределений. В статье представлены данные только по солонцам (394 образца, в том числе 96 образцов, анализ которых выполнен в 2016–2017 гг.).

Распределение минералогического состава ила по профилю солонцов обработано особо, предусматривая элювиально-иллювиальный тип распределения ила. Показатель *DDi* (степень дифференциации) по каждому компоненту ила в процентах от ила и от почвы был рассчитан для двух пар сопряженных горизонтов SEL-BSN и BSN-BC. Затем для общей выборки профилей солонцов (60 разрезов с информацией по минералогии и содержанию ила, 71 разрез – только минералогия) составлены таблицы совместной частоты встречаемости изменения *DDi* минерала в двух парах сопряженных горизонтов.

Статистическая обработка данных выполнена в Excel.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Общее разнообразие соотношения трех минеральных фаз – 1.7 нм (смешанослойная фаза), 1.0 нм (гидрослюды), 0.7 нм (сумма каолинита и хлорита) – в солонцах, включенных в статистическую выборку, представлено на рис. 1. Оно охватывает почти все возможное пространство соот-

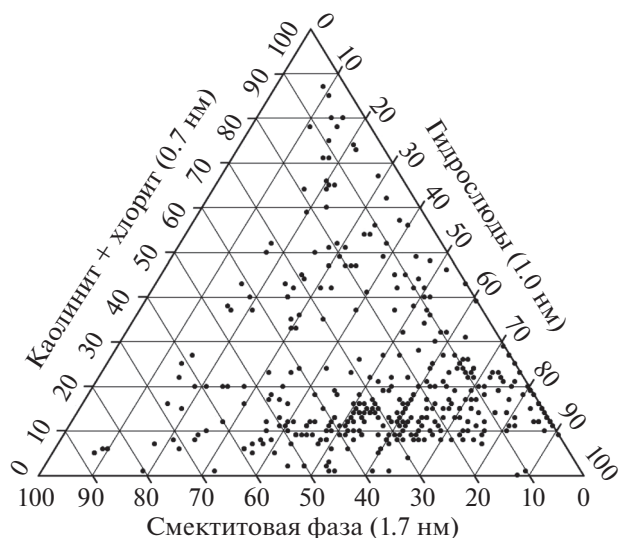


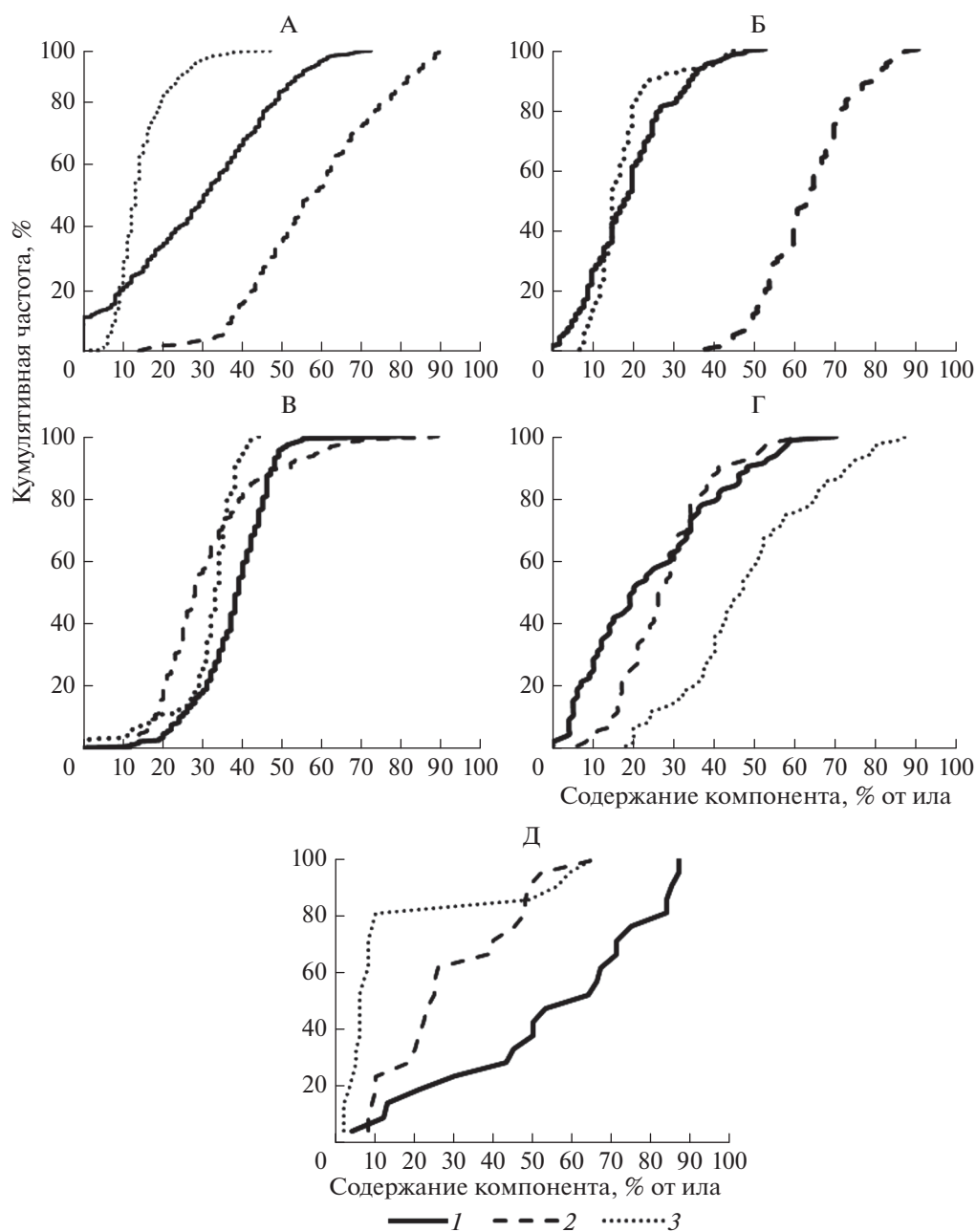
Рис. 1. Общее разнообразие соотношения минералогических фаз в составе илистой фракции солонцов, включенных в статистическую выборку.

ношений, исключая узкую полосу значений содержания гидрослюды менее 10% в составе ила, а также мономинеральные варианты.

**Разнообразие минералогического состава почвообразующих пород, из которых сформировались почвы солонцовых комплексов.** Выделены следующие основные группы почвообразующих пород солонцовых комплексов: (1) лёссовидные суглинки и глины, (2) хвалынские суглинки и глины, (3) элювий и делювий палеоген-неогеновых суглинистых и глинистых отложений (майкопских, сарматских, чокракских и др.), (4) пестроцветные древние коры выветривания и продукты их переотложения, (5) элювий и делювий мезозойских и палеозойских отложений (меловых, юрских, пермских), (6) современные аллювиальные отложения пойм рек; (7) древнеозерно-аллювиальные отложения, (8) прочие.

Первые пять групп почвообразующих пород, для которых собрана приемлемая выборка с данными минералогического состава, отличаются друг от друга по статистическим распределениям трех основных фаз: смешанослойной образованной, гидрослюды, суммы каолинита и хлорита, рассчитанных по Бискаю в составе ила (рис. 2).

На основе кумулятивных статистических распределений содержания гидрослюды в составе ила, почвообразующие породы делятся на две группы: (1) четвертичные (лёссовидные и хвалынские) отложения и (2) элювий и делювий дочетвертичных (палеоген-неогеновых, меловых, юрских, пермских) отложений. Внутри каждой группы статистические распределения содержания гидрослюды разных пород близки (рис. 3А).



**Рис. 2.** Кумулятивные статистические распределения содержания основных компонентов ила в почвообразующих породах солонцовых комплексов: А – лёссовидные ( $n = 329$ ); Б – хвалынские ( $n = 172$ ); В – палеоген-неогеновые ( $n = 245$ ), Г – пестроцветные ( $n = 83$ ), Д – мезозойские ( $n = 21$ ); минеральные фазы: 1 – смешанослойные (1.7 нм), 2 – гидрослюды (1.0 нм), 3 – сумма каолинита и хлорита (0.7 нм).

По кумулятивным статистическим распределениям содержания суммы каолинита и хлорита четвертичные (лессовидные и хвалынские) отложения представляют единую группу, а элювии и делювии более древних пород значительно отличаются друг от друга и от четвертичных отложений (рис. 3Б). Наиболее высоким содержанием суммы каолинита с хлоритом, а среди них, прежде всего, каолинита отличаются пестроцветные

древние коры выветривания (мел, юра) Южного Урала и Тургая.

По кумулятивным статистическим распределениям содержания смешанослойной фазы все пять групп почвообразующих пород отличаются друг от друга (рис. 3В). При этом палеоген-неогеновые и юрские отложения чаще имеют более высокие значения смектитовой фазы в составе ила.

Разное соотношение основных минералогических фаз, полученное по методике Биская, дополняется качественным своеобразием минералогического состава почвообразующих пород, на которых развиты почвы солонцовых комплексов.

Лёссовидные породы являются почвообразующими на больших пространствах Восточно-Европейской равнины, на равнинах Крымского полуострова, на Западно-Сибирской низменности и Приобском плато. В созданной БД солонцовых комплексов почвы на лёссовидных породах составляют приблизительно половину всех данных и демонстрируют региональное качественное своеобразие минералогического состава.

Для лёссовидных суглинков Приобского плато характерно наиболее высокое содержание гидрослюд (варьирование от 45 до 91%, среднее 64%), сравнительно низкое содержание суммы каолинита с хлоритом (от 8 до 23%, среднее 14%) и варьирование в широком диапазоне содержания смешанослойной фазы (от 0 до 45%, среднее 22%). Фаза, диагностируемая по рефлексу 1.0 нм, представлена слюдами-гидрослюдами ди- и триоктаэдрического типа с преобладанием последних, фаза с рефлексом 0.7 нм — каолинитом и железисто-магнезиальными хлоритами, а набухающая фаза (1.7 нм) — смешанослойными образованиями нескольких типов: в основном хлорит-вермикулитами, хлорит-сметкитами, в меньшей степени слюда-сметкитами [45, 46, 55].

В Кулундинской низменности лёссовидные суглинки имеют существенно более высокое содержание каолинита с хлоритом преимущественно за счет железисто-магнезиальных хлоритов (сумма от 20 до 40%, среднее 30%), чуть более низкое содержание слюд-гидрослюд диоктаэдрического (мусковит-серицитового) и преимущественно триоктаэдрического (биотитового) типа (от 34 до 72%, среднее 48%) при широком варьировании смешанослойной фазы, представленной смешанослойными образованиями со сметкитовыми слоями (от 8 до 43%, среднее 22%), среди которых, также, как и на Приобском плато, преобладают хлорит-сметкиты, хлорит-вермикулиты с примесью слюда-сметкитов [55].

Минералогический состав фракции менее 1 мкм почвообразующих лёссовидных суглинков южной части Приволжской возвышенности, возвышенности Ергени и террас Маныча представлен ассоциацией глинистых и сопутствующих минералов [2, 23, 24]. Основу фракции составляют сметкитовая набухающая фаза (41–48%), представленная сложными смешанослойными слюда-сметкитовыми образованиями с высоким содержанием сметкитовых слоев, и сильно гидратированные три- и диоктаэдрические гидрослюды (43–49%). В небольшом количестве присутствуют совершенный каолинит (4–6%) и магнезиально-же-

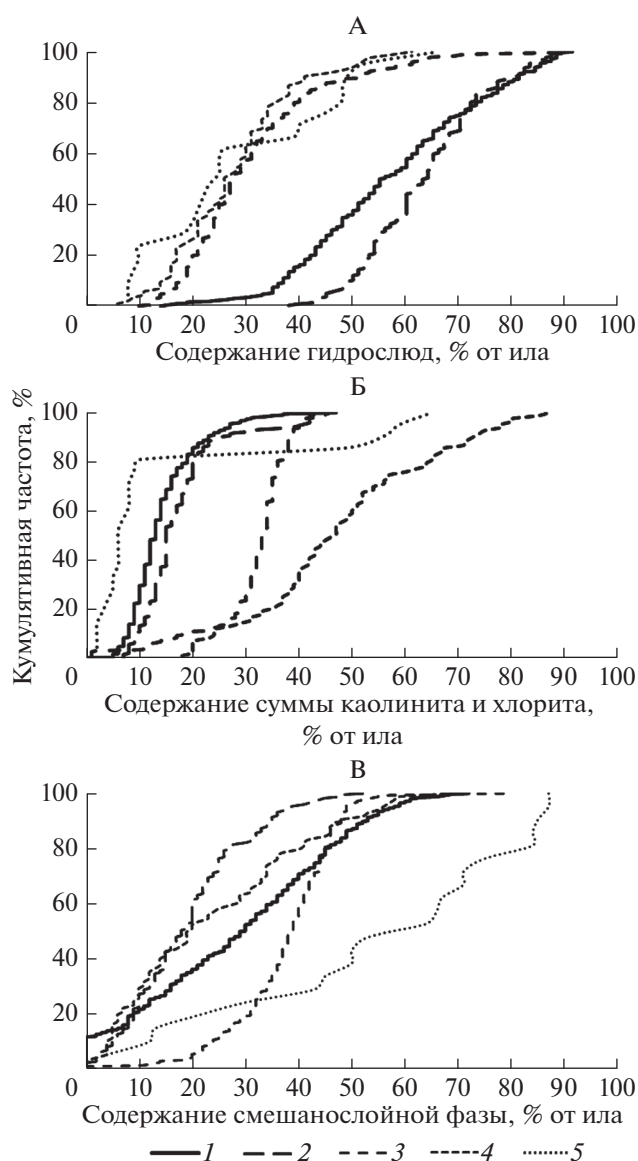


Рис. 3. Кумулятивные статистические распределения содержания гидрослюды (А), суммы каолинита и хлорита (Б), смешанослойной фазы (В) в почвообразующих породах солонцовых комплексов: 1 — лёссовидные; 2 — хвалынские; 3 — палеоген-неогеновые; 4 — пестроцветные древние коры выветривания; 5 — мезозойские отложения.

лезистый хлорит (5%). Похожий качественный состав на фоне более широкого диапазона варьирования соотношения фаз наблюдается в лёссовидных суглинках и глинах на Калачской возвышенности в Каменной Степи [59]. В лёссовидных суглинках равнин Крыма в составе смешанослойной фазы помимо доминирующих слюда-сметкитовых неупорядоченных смешанослойных образований присутствуют хлорит-вермикулитовые.

Пылеватые фракции лёссовидных суглинков состоят из кварца, плагиоклазов, калиевых полевых шпатов, слюд с примесью хлорита и каолинита. Увеличение размера фракции сопровождается увеличением содержания кварца, плагиоклазов, калиевых полевых шпатов и уменьшением содержания слюд.

Почвообразующие древнеозерно-аллювиальные суглинистые и глинистые отложения Барабинской низменности отличаются относительно повышенным содержанием смектитовой фазы (от 29 до 59%, среднее 44%), приблизительно таким же содержанием гидрослюдов (от 32 до 55%, среднее 46%) и низким содержанием каолинита с хлоритом (от 5 до 16%, среднее 11%). Набухающая фаза (1.7 нм) представлена смешанослойными образованиями, в которых преобладают смектитовые слои, что сближает их с лёссовидными суглинками Восточно-Европейской равнины и отличает их от таковых в Алтайском крае на Приобском плато и в Кулундинской низменности. Это сложные неупорядоченные смешанослойные образования слюда-смектитового типа, в кристаллитах которых преобладают слои монтмориллонитового типа [54]. Среди гидрослюдов встречаются ди- и триоктаэдрические типы. Каолинит является крупнокристаллическим [53].

Хвалынские суглинки Прикаспийской низменности в Заволжье и на Сарпинской низменности имеют набор минералов, близкий к лёссовидным породам [12, 18, 43]. Довольно часто в них доминируют ди- и триоктаэдрические гидрослюды, набухающая фаза (1.7 нм) представлена неупорядоченными смешанослойными слюда-смектитовыми образованиями с низкой и высокой долей смектитовых слоев и, в меньшей степени, хлорит-вермикулитовыми образованиями. Присутствуют (10–20%) хлорит и несовершенный каолинит (асимметрия рефлекса 0.7 нм в сторону малых углов). Самая высокая доля каолинита и хлорита (40–45%) в суглинках хвалынского возраста отмечалась в Дубовском р-не Волгоградской области на склонах Приволжской возвышенности (образцы В.А. Девярых). Пылеватые фракции хвалынских отложений качественно имеют такой же минералогический состав, как лёссовидные суглинки.

Элювий и делювий палеоген-неогеновых отложений являются почвообразующими породами почв солонцовых комплексов в южной части Приволжской возвышенности в Волгоградской обл. [10] и в южной части Ставропольской возвышенности, в долинах рек Суркуль и Барсучки и Янкульской депрессии в Центральном Предкавказье [50]. Минералогический состав илистой фракции (менее 1 мкм) этих пород представлен сложными неупорядоченными смешанослойными образованиями нескольких типов (20–50%), диоктаэдрическими гидрослюдами (11–50%), каолинитом (12–

26%), хлоритом (10–22%), тонкодисперсным кварцем, индивидуальным смектитом. Среди смешанослойных образований доминируют слюда-смектитовые с высоким содержанием смектитовых слоев, меньше слюда-смектитовые с низким содержанием смектитовых слоев, присутствуют хлорит-смектитовые (вермикулитовые). Кроме того, встречается индивидуальный смектит. Преобладающая часть набухающей фазы палеоген-неогеновых почвообразующих пород состоит из монтмориллонитовых слоев с заметным октаэдрическим (*Li*-тест) и относительно высоким тетраэдрическим зарядом, которые являются продуктом деградации гидрослюдов (*K*-тест). Остальная (меньшая) часть смектитовых слоев имеют различный промежуточный состав и строение из ряда монтмориллонит-бейделлит с разным суммарным зарядом и соотношением тетраэдрического и октаэдрического зарядов, а также отличающееся происхождение — одни из слюдистого материала, а другие из неслюдистого материала и хлорита [50]. В Центральном Предкавказье особенностью этих пород по сравнению с лёссовидными и хвалынскими суглинками является повышенная доля суммы каолинита и хлорита, часто составляющая 30–40% в составе ила [50]. Наоборот, на Приволжской возвышенности доля каолинита и хлорита крайне мала (менее 2%) [10].

Пестроцветные древние коры выветривания Южного Урала и Тургая отличаются преобладанием каолинита в составе илистой фракции (40–80%) и кварца в пылевой фракции [38, 49]. Каолинит обычно имеет совершенную кристаллическую решетку, которая дает островершинный почти симметричный рефлекс на рентгенограммах в области 0.71–0.72 нм. В составе ила подчиненную роль играют гидрослюды (15–30%) и смешанослойные слюда-смектитовые образования. В продуктах переотложения обычно уменьшается доля каолинита и увеличивается доля гидрослюдов и смешанослойных образований за счет примеси сопутствующих осадочных пород, при этом каолинит присутствует также во фракциях тонкой, средней и крупной пыли. Солонцы обнаруживаются, как правило, на продуктах переотложения древних каолинитовых кор выветривания, в верхних горизонтах которых доля каолинита не превышает 60% [56].

Элювий и делювий юрских отложений в минералогическом отношении чрезвычайно разнороден. Имеющаяся небольшая выборка солонцов на таких породах продемонстрировала своеобразие состава минералов илистой фракции в разных регионах. На склоне в долину р. Урал (Оренбургская обл., с. Рассыпное, разр. ОР-СН-02) в илистой фракции доминирует смектитовая фаза, представленная индивидуальным смектитом, неупорядоченными смешанослойными слюда-смектитовыми и хлорит-смектитовыми образованиями. В меньшем количестве присутствуют диоктаэдри-



ческие гидрослюды, еще меньше каолинит и хлорит. На несколько десятков километров севернее на более высоких гипсометрических отметках южных отрогов Общего Сырта (Оренбургская обл., окрестности Павловской дачи, разр. ОР-СН-04) доминирующим минералом в составе ила является вермикулит в ассоциации с неупорядоченными смешанослойными хлорит-вермикулитовыми, хлорит-сметитовыми, слюда-сметитовыми образованиями, ди- и триоктаэдрическими гидрослюдами, каолинитом и хлоритом. По данным Травниковой [40], где-то на Общем Сырте (более точная привязка отсутствует) на элюво-делювии юрских кор выветривания основным компонентом илистой фракции является каолинит. Ему сопутствуют ди- триоктаэдрические гидрослюды и смешанослойные слюда-сметиты. В средней части Приволжской возвышенности (Ульяновская обл., с. Баклуши, разр. СН-10) солонцы развиты на элювии зеленых глауконитовых юрских отложениях. Помимо глауконита и каолинита илистая фракция представлена преобладающими неупорядоченными смешанослойными слюда-сметитовыми образованиями с высокой долей сметитовых слоев, диагностируется также индивидуальный сметит.

В Баргузинской котловине солонцеватые почвы встречаются на аллювиальных легкосуглинистых и супесчаных отложениях, в составе которых был диагностирован ректорит – упорядоченное смешанослойное образование, состоящее из слюдистых (А) и сметитовых (В) пакетов с мотивом чередования АВ АВ... В почвенном профиле этот минерал полностью разрушается и преобразуется в неупорядоченное смешанослойное слюда-сметитовое образование [48].

**Разнообразие минералогического состава надсолонцовых горизонтов солонцов.** Согласно существующим представлениям, для надсолонцовых гор. SEL в профиле солонцов характерны процессы разрушения минералов, пептизация илистых и коллоидных частиц и их перенос током воды вниз по профилю, что приводит к обеднению этих горизонтов илистой фракцией, уменьшению емкости катионного обмена. Большинство исследователей [18, 23, 40–42, 53, 54] отмечало изменение минералогического состава этих горизонтов по сравнению с породами: уменьшение сметитовой фазы и относительное увеличение гидрослюды в составе ила, а также накопление аморфных соединений, являющихся продуктами разрушения минералов. Тем не менее, разный исходный минералогический фон, обусловленный почвообразующей породой, предопределил разные качественно-количественные варианты минералогического состава надсолонцовых горизонтов.

*Первый вариант.* На породах с низкой долей сметитовой фазы в составе ила, в гор. SEL обычно

эти минералы остаются в ничтожных количествах или полностью исчезают. Это связано с несколькими процессами: (1) переходом сметитовой фазы в супердисперсное состояние в щелочной среде и накоплением обменного натрия с последующим селективным ее выносом вниз в виде суспензий [52–54]; (2) поглощением калия в межслоевом пространстве и контракцией сметитовых пакетов с образованием гидрослюдыстых пакетов [18, 22–24]; (3) собственно разрушением минералов с накоплением рентгеноаморфных компонентов и тонкодисперсного кварца [51]. Сопровождается изменение состава относительным накоплением гидрослюды, значительно реже дополнительно каолинита. Такой состав гор. SEL характерен для ряда солонцов Приобского плато, Кулундинской низменности на лёссовидных суглинках, Прикаспийской низменности на хвалынских суглинках.

*Второй вариант.* Умеренное содержание смешанослойной фазы в породе обеспечивает сохранение части ее в гор. SEL на фоне относительного накопления гидрослюды триоктаэдрического типа. При этом меняется состав смешанослойной фазы. В ряде случаев неупорядоченные смешанослойные слюда-сметитовые образования с высоким содержанием сметитовых слоев полностью исчезают из гор. SEL. Остаются слюда-сметитовые образования с низким содержанием сметитовых слоев и хлорит-вермикулитовые смешанослойные образования (разр. ЕР-01, возвышенность Ергени, несколько профилей солонцов Присивашской низменности) [57, 58, 60]. Часть смешанослойных образований переходит в супердисперсное состояние, но не во всех вариантах.

*Третий вариант.* Порода имеет достаточно большой ресурс смешанослойной фазы, благодаря которому в гор. SEL сохраняются разные смешанослойные образования, включая слюда-сметитовые с высоким содержанием сметитовых слоев, при общем уменьшении их доли в составе ила. Обычно диагностируется супердисперсное состояние этой фазы. Изменения также часто сопровождаются относительным накоплением гидрослюды ди- и триоктаэдрического типов. Яркими представителями являются солонцы Барабинской низменности [55].

*Другие своеобразные варианты.* На элювии палеогеновых суглинков в южной части Приволжской возвышенности (Камышинский р-н, Волгоградской обл.) в надсолонцовом горизонте илистая фракция приблизительно поровну включает гидрослюды и сметитовую фазу при крайне низком содержании каолинита и хлорита, а также минералы группы цеолитов. В составе сметитовой фазы диагностируется индивидуальный сметит и неупорядоченные смешанослойные слюда-сметитовые образования с низкой и высокой долей сметитовых слоев [10]. Это достаточно редкий

случай обнаружения индивидуального смектита (наличие рефлексов первого и второго порядков отражения 1.8 и 0.91 нм в образцах, насыщенных этиленгликолем) в надсолонцовом горизонте солонца.

На продуктах переотложения древних каолиновых кор выветривания (пример – разр. ОР-СН-03, Оренбургская обл., долина р. Орь) в гор. SEL солонца ил наполовину представлен каолинитом, который сопровождается диоктаэдрическими слюдами-гидрослюдами и неупорядоченными хлорит-вермикулитовыми (смектитовыми) смешанослойными образованиями [56]. В разр. К-26 на юрских корах выветривания на Общем Сырте присутствуют остаточные количества неупорядоченных слюда-смектитовых образований и хлорита на фоне преобладающих каолинита и гидрослюда [40].

На южных отрогах возвышенности Общей Сырт на юрских отложениях с доминированием вермикулита и отсутствием хлорита в составе ила (разр. ОР-СН-04), в гор. SEL сохраняется весь набор минералов почвообразующей породы при общей тенденции усиления неупорядоченности смешанослойных минералов и снижении интенсивности рефлексов за счет накопления аморфных компонентов.

На юрских отложениях Приволжской возвышенности (разр. СН-10), особенностью илистой фракции во всем профиле, включая гор. SEL, является наличие глауконита.

Таким образом, своеобразие исходного минералогического состава почвообразующих пород частично сглаживается, но не исчезает полностью в надсолонцовых горизонтах солонцов, в которых отмечается общая тенденция разрушения смектитовой фазы, относительного накопления более устойчивых к разрушению глинистых минералов и рентгеноаморфных компонентов, как продуктов разрушения, на общем фоне уменьшения содержания илистой фракции за счет ее выноса вниз по профилю.

**Разнообразие минералогического состава солонцовых горизонтов солонцов.** Согласно имеющимся представлениям, солонцовые горизонты солонцов формируются за счет вмывания (иллювирирования) в них пептизированных илестых частиц из надсолонцового гор. SEL с образованием гумусово-глинистых кутан на всех гранях агрегатов. В результате гор. BSN отличается более высоким содержанием ила по сравнению с другими выше и ниже лежащими горизонтами почвенного профиля. Бытует мнение, что в солонцовом горизонте происходит накопление набухающих минералов [6, 10, 41, 63], хотя в отдельных работах отмечались и другие тенденции [18, 55].

Анализ солонцовых горизонтов 73 почвенных профилей солонцов показал, что наиболее часто

встречается вариант доминирования в составе ила гидрослюда (50–65%) в ассоциации с неупорядоченными смешанослойными слюда-смектитовыми образованиями, доля которых варьирует от 15–20 до 40–45%, и небольшим количеством каолинита и хлорита, доля которых в сумме обычно не превышает 15%. Почти во всех таких солонцовых горизонтах часть смешанослойной фазы находится в супердисперсном состоянии. Солонцы, имеющие такой минералогический состав в солонцовом горизонте, развиты на лёссовидных суглинках разных регионов (Окско-Донская низменность, Приволжская возвышенность, террасы Маныча, Присивашская низменность, Кулундинская низменность, Прииртышская равнина), на хвалынских суглинках на Южно-Сарпинской низменности в Калмыкии и на Прикаспийской низменности в Заволжье, на древнеозерно-аллювиальных отложениях Барабинской низменности.

В ряде гор. BSN солонцов смектитовая фаза в иле превышает содержание гидрослюда при похожем качественном минералогическом составе. В этих вариантах смектитовая фаза представлена неупорядоченными смешанослойными слюда-смектитовыми образованиями с низкой и высокой долей смектитовых слоев при доминировании последних, часто идентифицируются неупорядоченные смешанослойные хлорит-смектитовые образования. Такие варианты обнаружены в солонцах на лёссовидных суглинках на Присивашской низменности в Крыму [58, 60], на четвертой террасе Маныча в Ставропольском крае (Апанасенковский р-н).

Наоборот, отсутствие или низкое содержание смешанослойной фазы, представленной преимущественно хлорит-вермикулитами и хлорит-смектитами, на фоне доминирования гидрослюда и наличия умеренного содержания (15–25%) каолинита с хлоритом характерно для солонцовых горизонтов солонцов на лёссовидных суглинках Приобского плато [45, 55]. Похожие объекты встречаются в Прииртышских степях [3], на водоразделах р. Ишим [34], на Кулундинской низменности [55], на хвалынских суглинках Прикаспийской низменности [18, 40].

На хвалынских суглинках склонов Приволжской возвышенности (образцы В.А. Девярых) в солонцовом горизонте также характерно низкое содержание смешанослойной фазы, представленной неупорядоченными хлорит-смектитовыми и слюда-смектитовыми образованиями. Региональной особенностью является высокая доля каолинита и хлорита, приблизительно равная содержанию гидрослюда.

На палеогеновых суглинках Приволжской возвышенности в гор. BSN солонцов идентифицируется индивидуальный смектит в ассоциации с гидрослюдами и неупорядоченными смешано-



слоистыми слюда-сметитовыми образованиями с низкой и высокой долей сметитовых слоев при следовых количествах каолинита и хлорита [10].

На элювии и делювии палеоген-неогеновых глин Центрального Предкавказья собственно солонцы не обнаружены. На этих породах развиты засоленные вертисоли без морфологических признаков солонцеватости и засоленные солонцеватые вертисоли. Вместе с тем на аллювиальных глинистых отложениях долины р. Калаус Панов и Неретин [32] описали солонцы, минералогический состав солонцовых горизонтов которых практически совпадает с таковым смеси майкопских, сарматских и чокракских глин, являющихся основным источником материала аллювия р. Калаус в его верховьях и средней части течения.

На пестроцветных отложениях древних кор выветривания и продуктах их переотложения на Южном Урале и Тургае половина илистой фракции солонцовых горизонтов представлена каолинитом [38, 49, 56]. В ассоциации с ним находятся приблизительно в равных пропорциях гидрослюд и неупорядоченные смешанослойные слюда-сметитовые образования. Обратим внимание, что все исследованные солонцы на таких породах имеют в верхних горизонтах смешанослойные набухающие минералы на фоне пониженной доли каолинита по сравнению с более глубокими горизонтами. Это дает основание предположить, что формирование солонцов на чисто каолинитовых породах мало вероятно, необходимо небольшое количество сметитовой фазы и гидрослюды, которые имеют существенно более высокую емкость катионного обмена и развитую удельную поверхность. Последние свойства глинистых минералов, по-видимому, создают предпосылки для элювиально-иллювиального перераспределения илистой фракции в условиях щелочной реакции почвенного раствора с низким содержанием солей и накоплением обменного натрия в почвенном поглощающем комплексе.

На склоне в долину р. Урал (Оренбургская обл., с. Рассыпное, разр. ОР-СН-02) в солонцовом горизонте, также как в почвообразующей породе (элюво-делювий юрских отложений), в илистой фракции доминирует сметитовая фаза, представленная индивидуальным сметитом, неупорядоченными смешанослойными слюда-сметитовыми и хлорит-сметитовыми образованиями. В небольшом количестве присутствуют диоктаэдрические гидрослюды, каолинит и хлорит.

На южных отрогах Общего Сырта (Оренбургская обл., окрестности Павловской дачи, разр. ОР-СН-04) в солонцовом горизонте солонца на элювии юрских конгломератов доминирует вермикулит в ассоциации с неупорядоченными смешанослойными хлорит-вермикулитовыми, хлорит-сметитовыми, и слюда-сметитовыми образова-

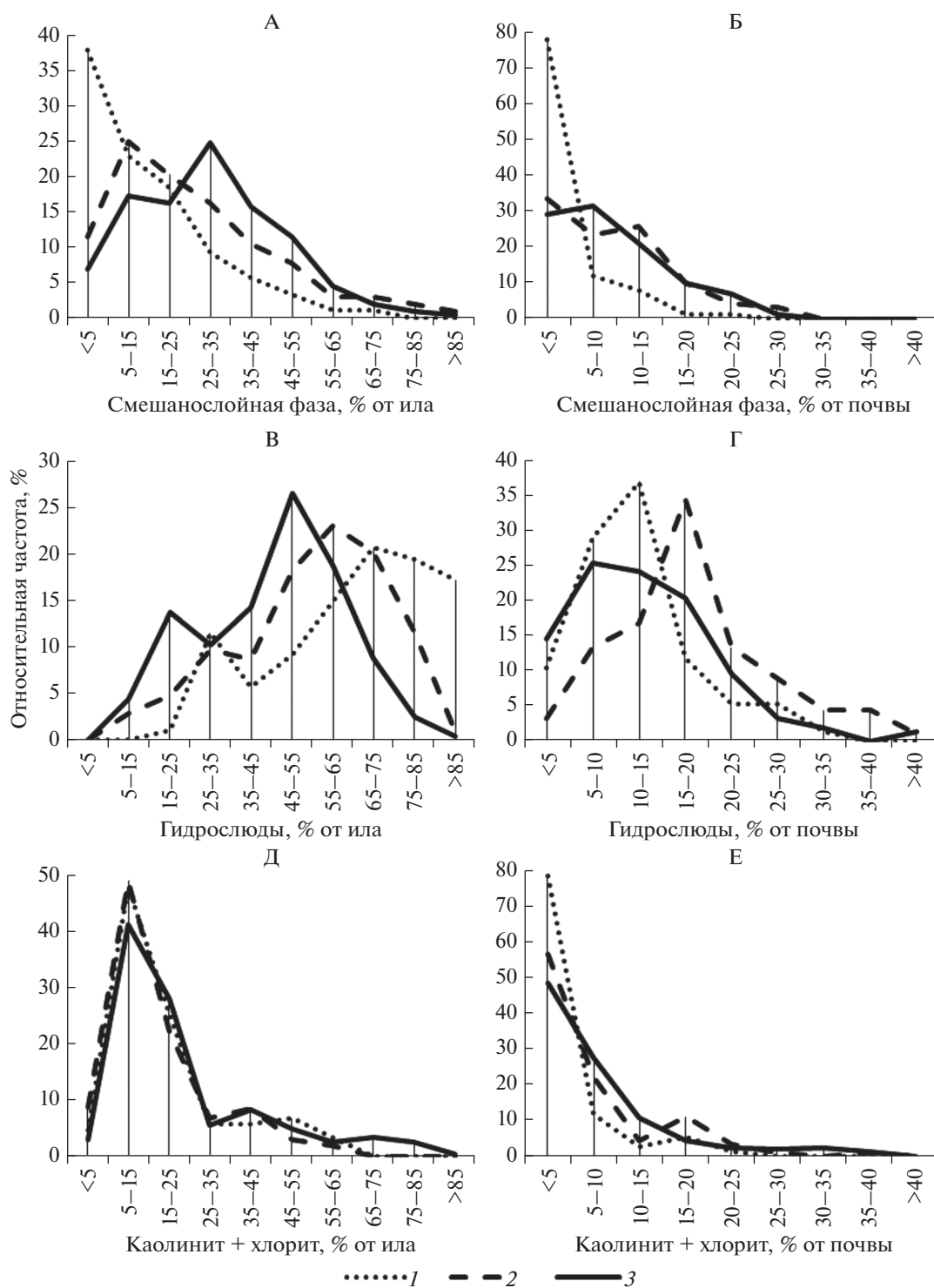
ниями, присутствуют ди- и триоктаэдрические гидрослюды и каолинит.

На элювии зеленоватых юрских отложений средней части Приволжской возвышенности (Ульяновская обл., с. Баклуши, разр. СН-10) в солонцовом горизонте солонца наблюдается приблизительно равное количество глауконита и неупорядоченных смешанослойных слюда-сметитовых образований с высокой долей сметитовых слоев, в небольшом количестве присутствует индивидуальный сметит и каолинит.

Таким образом, разнообразие минералогического состава почвообразующих пород во многом предопределяет разнообразие глинистых минералов в солонцовых горизонтах солонцов. При этом существенного отличия качественного состава минералов в гор. BSN по сравнению с породами, из которых сформировался солонец, не отмечается. Наиболее часто встречающейся, но не всеобщей особенностью минералогического состава солонцовых горизонтов является наличие сметитовой фазы в супердисперсном состоянии, обусловленном расщеплением кристаллитов со сметитовыми пакетами в условиях щелочной реакции среды, низкой общей концентрации солей и накопления обменного натрия. Переход части сметитовой фазы в супердисперсное состояние способствует ее пептизации и миграции в виде суспензии вниз по профилю почвы.

**Общие черты соотношения минеральных фаз в основных горизонтах почвенного профиля солонцов, полученные на основе статистических распределений.** В нижних горизонтах солонцов кумулятивное распределение гидрослюды в составе ила смещено на 15–20% в сторону более высоких значений по сравнению с распределением смешанослойных образований. На дифференциальных распределениях модальные значения содержания гидрослюды составляют 50–55%, смешанослойных образований – 30–35%, суммы каолинита с хлоритом – 5–20%. При этом распределение гидрослюды асимметрично в сторону больших значений, смешанослойных образований – слабо в сторону меньших значений, а суммы каолинита с хлоритом – сильно в сторону меньших значений (рис. 4).

Сравнение статистических распределений каждого минерального компонента ила по трем основным горизонтам (SEL, BSN, BC) показало следующее. Распределения содержания смешанослойных образований во всех трех горизонтах имеют асимметрию в сторону малых значений, самую сильную – в элювиальных гор. SEL, самую слабую – в нижних горизонтах и породе. Соответственно, значения модальных классов 0–10% – в гор. SEL, 20–25% – в гор. BSN и 30–35% – в гор. BC. Кумулятивные распределения последовательно смещаются в сторону меньших значе-



**Рис. 4.** Дифференциальные распределения содержания смектитовой фазы (А, Б), гидрослюдов (В, Г), суммы каолинита и хлорита (Д, Е) в профиле солонцов. А, В, Д – содержание, % от ила, Б, Г, Е – содержание, % от почвы; горизонты: 1 – надсолонцовые (SEL); 2 – солонцовые (BSN); 3 – нижние (BCA + BC).

ний по мере приближения горизонта к дневной поверхности: BC → BSN → SEL. Это означает, что содержание смешанослойных образований уменьшается в составе ила и в гор. SEL, и в гор. BSN по сравнению с почвообразующей породой. При этом

уменьшение этих минералов связано в гор. SEL с разрушением и селективным выносом в супердисперсном состоянии, а в гор. BSN – с поступлением сверху илистого материала с незначительной долей смешанослойных образований из гор. SEL.

**Таблица 1.** Частота встречаемости (число почвенных профилей, шт.) разных вариантов вертикального распределения смешанослойной фазы (СМ) в составе ила (верхний индекс “ил”) по профилю солонцов

Соотношение между гор. SELи BSN	Соотношение между гор. BSN и BC			
	$CM_{BSN}^{ил} > CM_{BC}^{ил}$	$CM_{BSN}^{ил} \approx CM_{BC}^{ил}$	$CM_{BSN}^{ил} < CM_{BC}^{ил}$	сумма
$CM_{SEL}^{ил} > CM_{SEL}^{ил}$	0	0	2	2
$CM_{SEL}^{ил} \approx CM_{SEL}^{ил}$	1	9	12	22
$CM_{SEL}^{ил} < CM_{SEL}^{ил}$	4	19	24	47
Сумма	5	28	38	71

**Таблица 2.** Частота встречаемости (число почвенных профилей, шт.) разных вариантов вертикального распределения гидрослюды (ГС) в составе ила (верхний индекс “ил”) по профилю солонцов

Соотношение между гор. SELи BSN	Соотношение между гор. BSN и BC			
	$GC_{BSN}^{ил} > GC_{BC}^{ил}$	$GC_{BSN}^{ил} \approx GC_{BC}^{ил}$	$GC_{BSN}^{ил} < GC_{BC}^{ил}$	сумма
$GC_{SEL}^{ил} > GC_{BSN}^{ил}$	7	13	2	22
$GC_{SEL}^{ил} \approx GC_{BSN}^{ил}$	23	25	1	49
$GC_{SEL}^{ил} < GC_{BSN}^{ил}$	0	0	0	0
Сумма	30	37	3	71

Распределение содержания гидрослюды, наоборот, имеет асимметрию в сторону более высоких значений с четкой последовательностью увеличения модального класса от гор. BC (50–55%) через гор. BSN (60–65%) к гор. SEL (>85%) и смещения кумулятивных распределений в том же направлении. Это свидетельствует об общей тенденции относительного накопления гидрослюды в составе ила в верхних горизонтах солонцов: наибольшее в гор. SEL, и чуть меньше в гор. BSN по сравнению с почвообразующей породой.

Распределения суммы каолинита с хлоритом имеют преимущественную асимметрию в сторону малых значений с основным модальным классом 10–15% во всех трех горизонтах. Кроме этого особенностью полученной выборки является наличие второго максимума на дифференциальной кривой в области 35–50%. Величина второго максимума в 5–6 раз меньше первого. Хотя в этой области значений отмечается тенденция смещения второго максимума в сторону увеличения суммы каолинита с хлоритом от породы (35–40%) через гор. BSN (40–45%) к гор. SEL (45–50%). Это может быть связано с тенденцией относительного накопления, прежде всего, каолинита в верхних горизонтах некоторых солонцов, особенно в гор. SEL.

**Профильное распределение минералов в солонцах.** Из частотного анализа изменения по профилю показателей  $DDi$  в двух последовательных со-

пряженных парах горизонтов SEL-BSN и BSN-BC следует (табл. 1–6), что солонцы, развитые в разных регионах и на разных почвообразующих породах, не имеют единого характера распределения минералогического состава по профилю.

Варианты профильного распределения минералогического состава, которые совсем не встречались в солонцах (совместная частота изменения показателя равна нулю в анализируемой выборке): (1) содержание гидрослюды в составе ила в надсолонцовом гор. SEL меньше, чем в гор. BSN, а также полностью элювиальное распределение гидрослюды в пересчете на почву в целом; (2) полностью аккумулятивное распределение смешанослойной фазы по профилю, как в составе ила, так и при расчете на почву в целом; (3) полностью аккумулятивное распределение суммы каолинита и хлорита по профилю, как в составе ила, так и при расчете на почву в целом.

Содержание смектитовой фазы в составе ила в 66% исследованных профилей солонцов (47 разрезов из 71) уменьшается в гор. SEL по сравнению с гор. BSN. Причем только в четырех разрезах из 47 отмечено более высокое ее содержание в гор. BSN по сравнению с почвообразующей породой, то есть элювиально-иллювиальное распределение смектитовой фазы ( $CM_{SEL}^{ил} < CM_{BSN}^{ил} > CM_{BC}^{ил}$ ), чаще (19 разрезов из 47) гор. BSN незначительно отличается от нижележащих горизонтов по этому показателю ( $CM_{SEL}^{ил} < CM_{BSN}^{ил} \approx CM_{BC}^{ил}$ ). Доминирует

**Таблица 3.** Частота встречаемости (число почвенных профилей, шт.) разных вариантов вертикального распределения суммы каолинита и хлорита (КХ) в составе ила (верхний индекс “ил”) по профилю солонцов

Соотношение между гор. SEL и BSN	Соотношение между гор. BSN и BC			
	$KX_{BSN}^{ил} > KX_{BC}^{ил}$	$KX_{BSN}^{ил} \approx KX_{BC}^{ил}$	$KX_{BSN}^{ил} < KX_{BC}^{ил}$	сумма
$KX_{SEL}^{ил} > KX_{BSN}^{ил}$	0	9	13	22
$KX_{SEL}^{ил} \approx KX_{BSN}^{ил}$	3	17	13	33
$KX_{SEL}^{ил} < KX_{BSN}^{ил}$	3	7	6	16
Сумма	6	33	32	71

**Таблица 4.** Частота встречаемости (число почвенных профилей, шт.) разных вариантов вертикального распределения смешанослойной фазы (СМ) при расчете на почву (верхний индекс “п”) в целом по профилю солонцов

Соотношение между гор. SEL и BSN	Соотношение между гор. BSN и BC			
	$CM_{BSN}^п > CM_{BC}^п$	$CM_{BSN}^п \approx CM_{BC}^п$	$CM_{BSN}^п < CM_{BC}^п$	сумма
$CM_{SEL}^п > CM_{BSN}^п$	0	0	0	0
$CM_{SEL}^п \approx CM_{BSN}^п$	1	17	6	24
$CM_{SEL}^п < CM_{BSN}^п$	12	12	12	36
Сумма	13	29	18	60

**Таблица 5.** Частота встречаемости (число почвенных профилей, шт.) разных вариантов вертикального распределения гидрослюдов (ГС) при расчете на почву в целом (верхний индекс “п”) по профилю солонцов

Соотношение между гор. SEL и BSN	Соотношение между гор. BSN и BC			
	$GC_{BSN}^п > GC_{BC}^п$	$GC_{BSN}^п \approx GC_{BC}^п$	$GC_{BSN}^п < GC_{BC}^п$	сумма
$GC_{SEL}^п > GC_{BSN}^п$	0	2	1	3
$GC_{SEL}^п \approx GC_{BSN}^п$	4	5	3	12
$GC_{SEL}^п < GC_{BSN}^п$	34	10	1	45
Сумма	38	17	5	60

(24 разреза из 47) полностью элювиальное распределение  $CM_{SEL}^{ил} < CM_{BSN}^{ил} < CM_{BC}^{ил}$ .

В остальных разрезах солонцов (24 из 71) содержание смектитовой фазы в составе ила оказалось достаточно низким практически по всему почвенному профилю, что привело к незначительным отличиям между почвенными горизонтами.

При расчете содержания смешанослойной фазы на почву в целом картина остается приблизительно такой же с чуть более высокой частотой встречаемости элювиально-иллювиального ее распределения ( $CM_{SEL}^п < CM_{BSN}^п > CM_{BC}^п$ ). В общей выборке такие варианты встречаются только в 20% случаев (рис. 5А), хотя в солонцах, разви-

тых на разных почвообразующих породах, доля этого варианта варьирует от 10 до 30%.

Содержание гидрослюдов в составе ила чаще (69%) незначительно отличается в гор. SEL и BSN, в остальных случаях (31%) в гор. SEL оно больше, чем в гор. BSN. Это означает, что в гор. SEL относительное накопление гидрослюдов в составе ила отмечается только в одной трети разрезов солонцов. В остальных случаях процессы относительного увеличения этих минералов в солонцах затрагивают не только надсолонцовый, но и солонцовый горизонты. Полностью аккумулятивный характер распределения гидрослюдов в составе ила ( $GC_{SEL}^{ил} > GC_{BSN}^{ил} > GC_{BC}^{ил}$ ) наблюдается только в 10% исследованных разрезов.

**Таблица 6.** Частота встречаемости (число почвенных профилей, шт.) разных вариантов вертикального распределения суммы каолинита и хлорита (КХ) при расчете на почву в целом (верхний индекс “п”) по профилю солонцов

Соотношение между гор. SELи BSN	Соотношение между гор. BSN и BC			
	$KX_{BSN}^n > KX_{BC}^n$	$KX_{BSN}^n \approx KX_{BC}^n$	$KX_{BSN}^n < KX_{BC}^n$	сумма
$KX_{SEL}^n > KX_{BSN}^n$	0	1	0	1
$KX_{SEL}^n \approx KX_{BSN}^n$	0	30	8	38
$KX_{SEL}^n < KX_{BSN}^n$	10	7	4	21
Сумма	10	38	12	60

Расчет на почву в целом, учитывающий содержание ила, заметно изменяет картину (рис. 5Б). Доминирующим вариантом становится элювиально-иллювиальное распределение гидрослюд в почве ( $GC_{SEL}^n < GC_{BSN}^n > GC_{BC}^n$ ). Его доля составляет 57% (34 из 60 разрезов) в общей выборке с варьированием от 50 до 65% в частных выборках солонцов на разных породах. Вторым по встречаемости (17%, или 10 разрезов из 60) вариантом является общее обеднение гидрослюдами гор. SEL по сравнению со всеми нижележащими горизонтами и более или менее одинаковым их содержанием в последних ( $GC_{SEL}^n < GC_{BSN}^n \approx GC_{BC}^n$ ).

Половина солонцов (50% в общей выборке) имеет недифференцированный профиль распределения суммы каолинита и хлорита в расчете на почву в целом (рис. 5В). Элювиально-иллювиальное распределение этих минералов встречается в 17% случаев в общей выборке с варьированием от нуля до 30–33% в солонцах на разных породах.

Элювиально-иллювиальное распределение всех трех компонентов в почве в целом встретилось только в одном профиле. Совместное такое распределение гидрослюд и смектитовой фазы наблюдалось еще в 8 из 60 разрезов солонцов (13%). Совместное элювиально-иллювиальное распределение гидрослюд и суммы каолинита с хлоритом отмечалось еще в 7 разрезах (12%). Подобное распределение только одного компонента обнаружено в 18 разрезах (30%) по гидрослюдам, в 3 (5%) по смектитовой фазе и в 2 (3%) по сумме каолинита и хлорита. В совокупности элювиально-иллювиальное распределение хотя бы одной минеральной фазы илистой фракции в почве в целом в солонцах наблюдалось в 39 профилях (65%) на фоне элювиально-иллювиального распределения ила во всех разрезах.

Более низкое содержание хотя бы одного минерального компонента ила в гор. SEL по сравнению с остальной частью профиля солонцов отмечалось в подавляющем большинстве разрезов (58 из 60). Только два профиля солонцов имели яв-

ную литологическую неоднородность, нарушившую указанную закономерность.

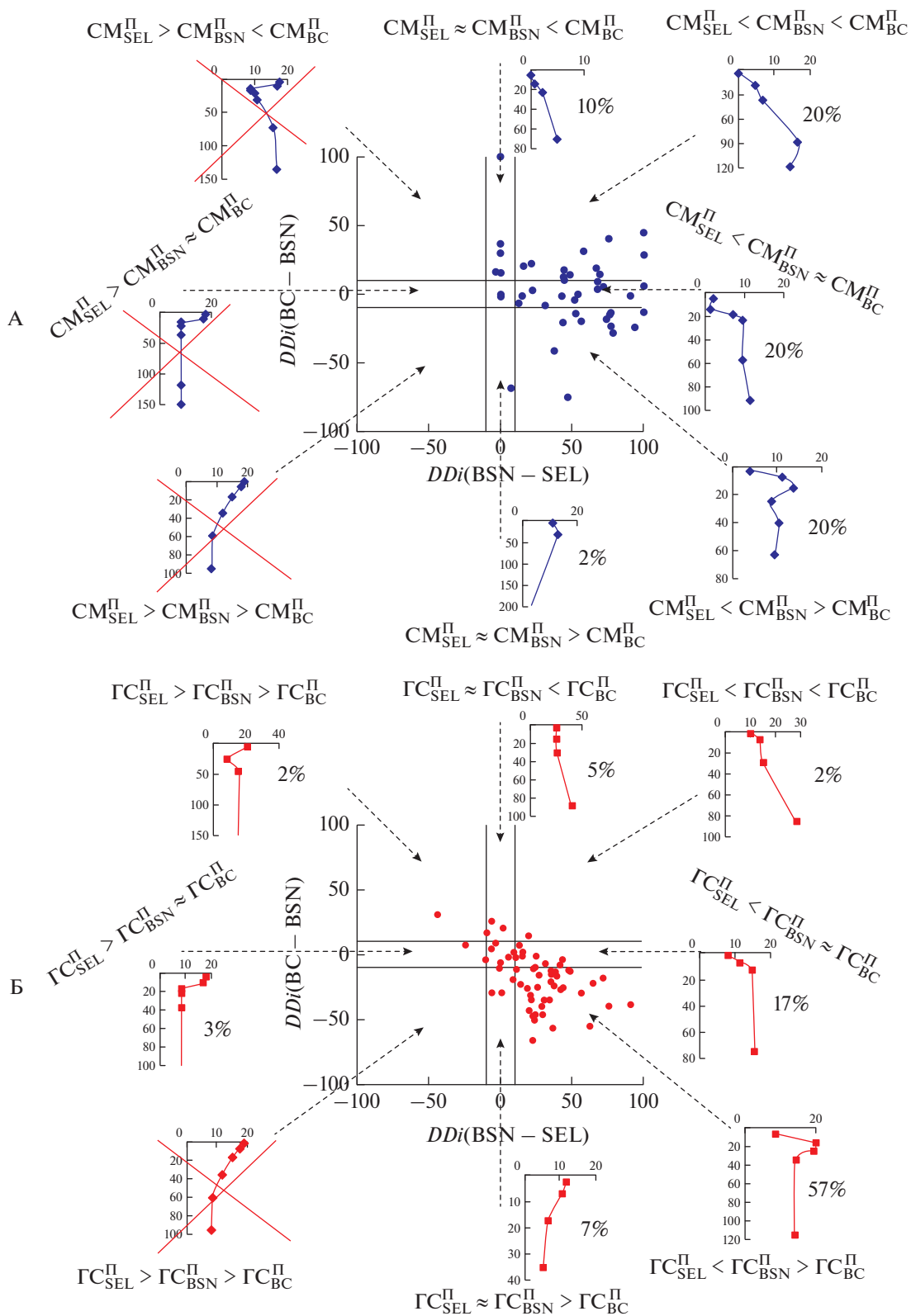
Распределение минералов во фракциях пыли по профилю солонцов обычно относительно равномерное.

## ВЫВОДЫ

1. Пять групп почвообразующих пород – лёссовидные суглинки, хвалынские суглинки и глины, элюво-делювий палеоген-неогеновых отложений, продукты перетолжения древних кор выветривания, элюво-делювий мезозойских отложений – отличаются друг от друга по статистическим распределениям трех основных фаз минералогического состава илистой фракции (<1 мкм): смешанослойных образований, гидрослюд, суммы каолинита и хлорита. Это один из основных факторов, определяющих разнообразие минералогического состава почв солонцовых комплексов на территории России.

2. Минералогический состав илистой фракции заметно преобразуется в ходе развития солонцового процесса. Статистические распределения смектитовой фазы, каолинита и хлорита имеют асимметрию в область малых значений содержания и в составе ила, и при расчете на почву в целом. При этом асимметрия наиболее выражена в надсолонцовых элювиальных гор. SEL, постепенно уменьшается в солонцовых гор. BSN и наименьшая в горизонтах нижней части профиля солонцов. Статистические распределения гидрослюд, наоборот, имеют асимметрию в сторону больших значений. Асимметрия усиливается при переходе от нижних горизонтов к гор. SEL. Это обусловлено разрушением смектитовой фазы и хлорита в гор. SEL и выносом продуктов разрушения вниз по профилю, на что обращали внимание большинство исследователей солонцов.

3. Возникновение элювиально-иллювиального распределения ила в профиле солонцов сопровождается неоднозначным изменением минералогического состава ила по профилю солонцов.



**Рис. 5.** Варианты вертикальной дифференциации профиля солонцов по содержанию в почве смектитовой фазы (А), гидрослюд (Б) и суммы каолинита с хлоритом (Б) в пространстве показателей *DDi*, рассчитанных для двух пар горизонтов: SEL – BSN и BSN – BC. Перечеркнуты варианты, которые не встречались.



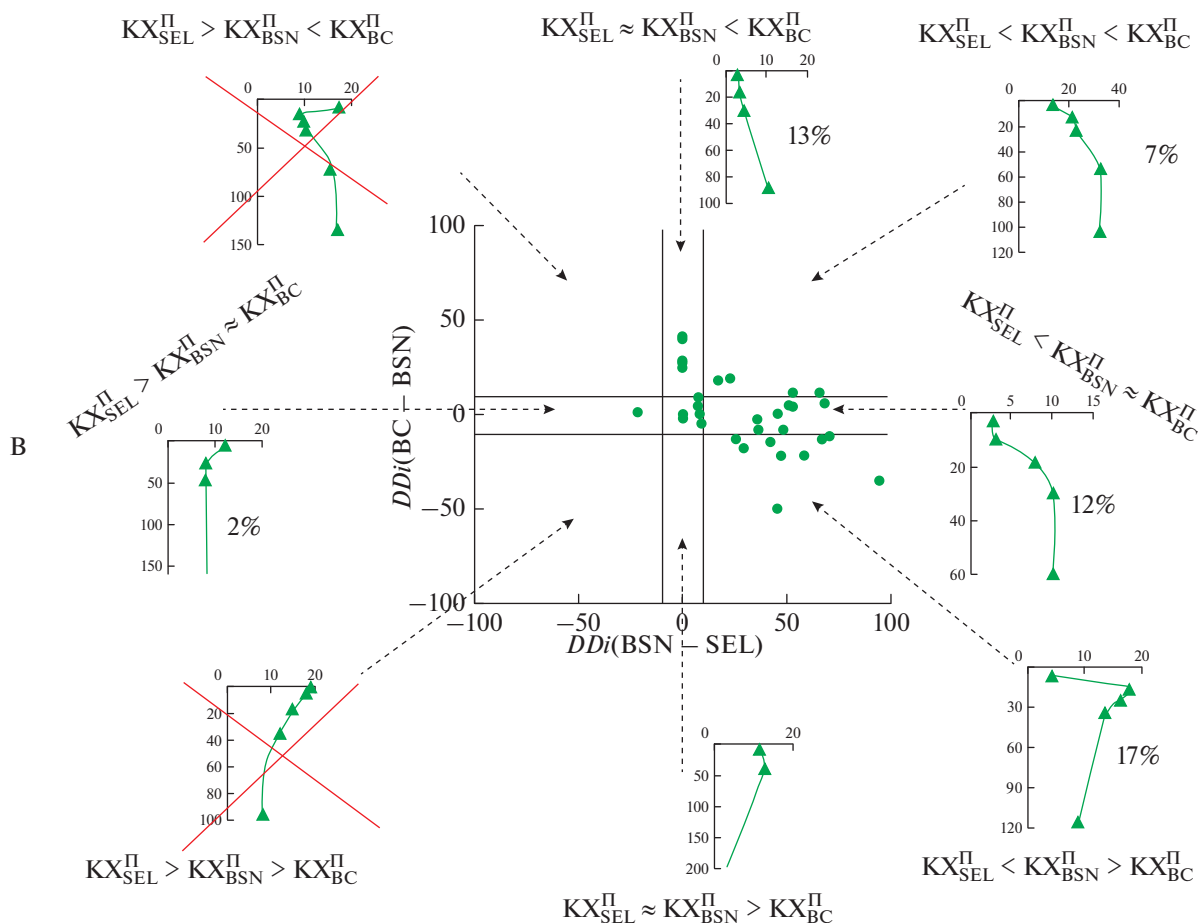


Рис. 5. (Окончание.)

Установлено, что солонцы не имеют единого варианта профильного распределения минералов. Это определяется исходным минералогическим составом пород и условиями почвообразования. В солонцах чаще других (частота от 25 до 65% в отдельных группах и 57% в общей выборке) встречается вариант элювиально-иллювиального распределения содержания гидрослюдов, выраженного в процентах от почвы ( $ГС_{SEL}^{II} < ГС_{BSN}^{II} > ГС_{BC}^{II}$ ). Вариант элювиально-иллювиального распределения содержания смектитовой фазы в почве ( $СМ_{SEL}^{II} < СМ_{BSN}^{II} > СМ_{BC}^{II}$ ), который традиционно считается главным, в действительности встречается на всех породах, но частота его встречаемости варьирует от 10 до 30% в отдельных выборках и составляет всего 20% в общей. Элювиально-иллювиальное распределение суммы каолинита и хлорита отмечено только в 17% случаев.

**Благодарность.** Работа выполнена по проекту РФФИ № 15-04-08528 (руководитель – профессор Н.П. Чижикова).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В.Е., Стасьев Г.Я., Шестаков И.Л. Минералогический состав илистой фракции солонцов Молдавии и его изменение в процессе почвообразования // Бонитировка, генезис и химия почв Молдавии. Кишинев, 1979. С. 139–150.
2. Алексеева Т.В., Алексеев А.О., Демкин В.Д., Алексеева В.А., Соколовская З., Хайнс М., Калинин П.И. Физико-химические и минералогические признаки солонцового процесса в почвах нижнего Поволжья в позднем голоцене // Почвоведение. 2010. № 10. С. 1171–1189.
3. Антипов И.К., Антипов В.И. Роль глинистых минералов в генезисе солонцовых почв // Почвоведение. 1995. № 9. С. 1137–1140.
4. Ахтырцев Б.П., Кадер Г.М., Ярилова Е.А. Химико-минералогический состав предколлоидной и коллоидной фракций осолоделых почв Окско-Донской низменности // Почвоведение. 1970. № 3. С. 92–103.
5. Борзенко С.Г., Дронова Т.Я., Колесников А.В., Соколова Т.А., Толпеишта И.И., Сиземская М.Л. Химико-минералогическая характеристика солончакостого солонца и лугово-каштановой почвы // Вестник МГУ. Сер. 17. Почвоведение. 2003. № 3. С. 3–8.

6. *Володин В.М.* Состав и свойства малонатриевых солонцов каштановой зоны Северного Казахстана // Мелиорация солонцов. М.: Наука, 1972. Ч. 1. С. 106–120.
7. *Воронин А.Д.* Химический и минералогический состав фракций механических элементов комплекса почв светло-каштановой подзоны // Докл. Высшей школы. Биол. науки. 1962. № 1. С. 193–199.
8. *Воронин А.Д., Манучаров А.С., Максимова Н.А.* Минералогический и химический состав фракций механических элементов почв темно-каштановой подзоны // Почвоведение. 1972. № 8. С. 112–123.
9. *Воронин А.Д., Тюгай З.* Минералогический состав и физико-химические свойства илистых фракций разной степени дисперсности // Почвоведение. 1984. № 7. С. 42–53.
10. *Гончарова Н.А., Панов Н.П.* Минералогический состав малонатриевых солонцов Волгоградской области // Известия ТСХА. 1970. Вып. 4. С. 101–110.
11. *Горбунов Н.И.* Методика подготовки почв к минералогическим анализам // Методы минералогического и микроморфологического изучения почв. М.: Наука, 1971. С. 5–15.
12. *Горбунов Н.И., Бондарев А.Г., Рыбина В.В., Туник Б.М.* Минералогический состав и физико-химические свойства орошаемых солонцов и каштановых почв Волгоградского Заволжья // Почвоведение. 1975. № 5. С. 77–88.
13. *Горбунов Н.И.* Глинистые минералы черноземов, каштановых и солонцовых почв // Почвоведение. 1955. № 11. С. 26–35.
14. *Горбунов Н.И., Девятых В.А., Зарубина Т.Г., Юдина Л.П.* Физико-химические свойства солонцов южной части Приволжской возвышенности // Почвоведение. 1977. № 4. С. 35–43.
15. *Градобоев Н.Д., Семендяева Н.В., Зубарева Р.Д.* Минералогический состав солонцов Омской области // Тр. Омского СХИ им. С.М. Кирова. 1970. Т. 87. С. 19–30.
16. *Дараб К., Ремени М.* Минералогический состав фракции <0.001 мм магниевых почв Венгерской низменности // Тр. X Международного конгресса почвоведов. М., 1974. Т. 7. С. 125–131.
17. *Девятых В.А.* Состав илистой фракции каштановых солонцов Волгоградской области // Теоретические основы и опыт мелиоративной обработки и химической мелиорации солонцовых почв. Целиноград, 1980. С. 187–188.
18. *Дементьева Т.Г.* Химико-минералогические особенности почв солонцового комплекса пустынно-степного Заволжья // Почвоведение. 1975. № 4. С. 98–112.
19. *Золотарева Б.Н.* Минералогический состав темно-каштановых почв и солонцов Казахского мелкосопочника // Почвоведение. 1969. № 5. С. 81–89.
20. *Калмыков А.Г., Минкин М.Б., Небдаило В.Д., Буравчук Н.И.* Минералогический состав высокодисперсной части почв каштаново-солонцовых комплексов юго-востока Ростовской области // Мелиорация солонцов. М.: Наука, 1972. Ч. 1. С. 121–126.
21. *Кирюшин В.И., Овчаренко М.М., Кончиц В.А., Черников В.А.* Минералогический состав почв черноземно-солонцового комплекса Северного Казахстана // Вопросы генезиса, мелиорации и охраны почв Северного Казахстана. Целиноград, 1972. С. 27–54.
22. *Корнблум Э.А.* Гидрохимические условия образования почв солонцовых комплексов и солодей // Почвоведение. 1981. № 6. С. 5–15.
23. *Корнблум Э.А., Дементьева Т.Г., Зырин Н.Г., Бирнина А.Т.* Изменение глинистых минералов при образовании южного и слитого черноземов, лиманной солоды и солонца // Почвоведение. 1972. № 1. С. 67–85.
24. *Корнблум Э.А., Дементьева Т.Г., Зырин Н.Г., Бирнина А.Т.* Некоторые особенности процессов передвижения глинистых минералов при образовании южного и слитого черноземов, лиманной солоды и солонца // Почвоведение. 1972. № 5. С. 107–120.
25. *Курачев В.И., Рябова Т.Н.* Засоленные почвы Западной Сибири. Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1981. 152 с.
26. *Михайличенко В.Н.* Галогенез и осолонцевание почв равнин Северного Казахстана. Алма-Ата: Наука, 1979. 170 с.
27. *Морякова Л.А., Травникова Л.С.* Характеристика высокодисперсной части некоторых солонцов Воронежской области // Тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. М., 1972. С. 127–132.
28. *Мотузов В.Я., Чижикова Н.П., Любимова И.Н.* Кристаллохимическая фаза в пептизированной части илистого вещества целинного солонца Приволжской возвышенности // Мат-лы докл. VII съезда Общества почвоведов В.В. Докучаева “Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности страны”. Ч. 2. М.–Белгород. 2016. С. 460.
29. *Новикова А.В., Коваливнич П.Г.* Диагностика солонцовых почв по характеру глинистой дифференциации // Почвоведение. 2011. № 8. С. 915–922.
30. *Новикова А.Ф., Градусов Б.П., Травникова Л.С.* Минералогический состав солонцовых комплексов темно-каштановой подзоны Кустанайской области // Вестник сельскохозяйственной науки КазССР. Алма-Ата, 1970. № 1. С. 14–21.
31. *Панов Н.П., Гончарова Н.А., Градусов Б.П.* Минералогический состав почв черноземно-солонцовых комплексов Западной Сибири // Известия ТСХА. 1968. Вып. 2. С. 101–108.
32. *Панов Н.П., Неретин Г.И., Забурунов Г.П.* Солонцы древней террасы реки Калаус и их освоение // Известия ТСХА. 1970. Вып. 3. С. 134–145.
33. *Половицкий И.Я., Володин В.М.* Минералогический состав высокодисперсной части почв Северного Казахстана // Тр. ЦСХИ. Целиноград, 1970. Т. 8. Вып. 3. С. 3–43.
34. *Половицкий И.Я., Стрельченко В.П., Володин В.М.* Минералогическая характеристика илистой фракции солонцов Северного Казахстана // Почвоведение. 1969. № 6. С. 107–113.
35. *Самойлова Е.М.* Луговые почвы лесостепи. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1981. 284 с.
36. *Соколова Т.А., Дронова Т.Я., Толпешта И.И.* Глинистые минералы в почвах. Тула: Гриф и К, 2005. 336 с.

37. Соколова Т.А., Тесленко Л.Н., Романенков В.А. Гранулометрический состав и состав глинистых минералов в целинных и мелиорированных солончаковых солонцах Северного Прикаспия // Биол. науки. 1989. № 12. С. 87–92.
38. Столбовой В.С., Чижикова Н.П. Почвы сухой степи Казахстана на пестроцветках // Почвы на древних корках выветривания. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1979. С. 27–62.
39. Татьяначенко Т.В., Алексеева Т.В., Калинин П.И. Минералогический и химический составы разновозрастных подкуранных палеопочв южных Ергеней и их палеоклиматическая интерпретация // Почвоведение. 2013. № 4. С. 379–392.
40. Травникова Л.С. Минералогический состав фракции <math>< 1 \mu</math> некоторых солонцов черноземной и каштановой зон // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 1968. Вып. 2. С. 52–60.
41. Травникова Л.С., Градусов Б.П., Чижикова Н.П. О географии и генезисе глинистого материала солонцовых почв // Тез. докл. V делегатского съезда ВОП. Минск, 1977. Вып. 1. С. 48–50.
42. Травникова Л.С. О строении и структуре основного компонента глинистого материала содовых солонцов // Доклады АН СССР. 1976. Т. 226. № 6. С. 1425–1428.
43. Травникова Л.С., Мясников В.В. Особенности профиля глинистого материала почв солонцового комплекса лимана Б. Царын, Сарпинской низменности // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 1973. Вып. 6. С. 100–108.
44. Травникова Л.С., Самойлова Е.М. Минералогический состав луговых почв Тамбовской области // Почвы и продуктивность растительных сообществ. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1974. Т. 2. С. 204–227.
45. Трофимов И.Т., Чижикова Н.П., Гладков Ю.А. Почвы солонцовых комплексов и их мелиорация на террасированных склонах Касмалинской долины древнего стока в подзоне южных черноземов Алтайского края // Засоленные почвы Алтая, их свойства и мелиорация. Барнаул: Алтайский СХИ, 1980. С. 88–106.
46. Трофимов И.Т., Чижикова Н.П. Химико-минералогический состав черноземов и засоленных почв Приобского плато // Особенности солонцовых почв Западной Сибири и приемы их улучшения. Омск: Омский СХИ, 1983. С. 34–45.
47. Тюльпанов В.И. О генезисе солонцов Центрально-Предкавказья, сформировавшихся на продуктах выветривания третичных глин // Почвоведение. 1980. № 10. С. 14–25.
48. Убугунов В.Л., Хитров Н.Б., Чижикова Н.П., Убугунова В.И., Варламов Е.Б., Жамбалова Д.А., Четко Е.С. Свойства и минералогический состав темногумусовой квазиглеевой солончаковой солонцеватой крио-турбированной мерзлотной почвы Баргузинской котловины (Бурятия) // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2018. Вып. 92. С. 62–94. doi 10.19047/0136-1694-2018-92-62-94
49. Фридланд В.М., Караева З.С., Чижикова Н.П. Влияние ферралитных кор выветривания и их их засоленных дериватов на формирование каштановых почв // Почвы на древних корках выветривания. Научн. тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. М. 1979. С. 63–89.
50. Хитров Н.Б., Чижикова Н.П. Минералогический состав слитых почв Ставрополя // Почвоведение. 1995. № 8. С. 987–1002.
51. Чижикова Н.П. Минералогический профиль почв. Эволюция минералов при формировании профилей глинистого материала почв // Эволюция почв и почвенного покрова. Теория, разнообразие природной эволюции и антропогенных трансформаций почв / Отв. ред. В.Н. Кудеяров, И.В. Иванов. М.: ГЕОС, 2015. С. 59–74.
52. Чижикова Н.П. Минералогический состав взвеси лизиметрических вод и раствора торфянистоболотной сильноосолодедой почвы // Доклады АН СССР. 1976. Т. 226. № 6. С. 1454–1457.
53. Чижикова Н.П., Градусов Б.П., Травникова Л.С. Минералогический состав глинистого материала // Структура, функционирование и эволюция биогеоценозов Барабы. Т. 1. Биогеоценозы и их компоненты. Новосибирск: Наука, Сиб. отд. 1974. С. 159–183.
54. Чижикова Н.П., Градусов Б.П., Травникова Л.С. Особенности профилей глинистого материала почв Барабинской лесостепи в связи с их эволюцией // Научные доклады высшей школы. Сер. Биол. науки. 1973. № 8. С. 99–106.
55. 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
56. Чижикова Н.П., Хитров Н.Б., Варламов Е.Б., Четко Е.С., Чурилин Н.А., Чурилина А.Е. Преобразование каолининовой коры выветривания под влиянием солонцового процесса (Оренбургская область) // Мат-лы III Всероссийской научной конференции “Проблемы истории, методологии и социологии почвоведения”. Пушино: Товарищество научных изданий КМК, 2017. С. 92–98.
57. Чижикова Н.П., Хитров Н.Б., Варламов Е.Б., Чурилин Н.А. Профильное распределение минералов в солонце Ергеней // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2018. Вып. 91. С. 63–84. doi 10.19047/0136-1694-2018-91-63-84
58. Чижикова Н.П., Хитров Н.Б., Варламов Е.Б., Чурилин Н.А. Распределение минералов по профилю солонца Присивашья // Таврический вестник аграрной науки. 2017. № 2(10). С. 103–116.
59. 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
60. Чижикова Н.П., Хитров Н.Б., Тронза Г.Е., Кольцов С.А., Варламов Е.Б., Четко Е.С., Чурилин Н.А. Минералогический состав гранулометрических фракций солонцов Северо-Крымской низменности // Почвоведение. 2017. № 12. С. 1499–1513. doi 10.7868/S0032180X17120061

61. Шарошкина Н.Б., Горбунов Н.И. Минералогический состав илистой фракции почв солонцового комплекса колючей степи Северного Казахстана // Известия АН Каз.ССР. Сер. ботаники и почвоведения. 1961. Вып. 3(12). С. 11–19.
62. Arnaud R.J. St., Morthland M.M. Characteristics of the clay fractions in a chernozemic to podzolic sequence of soil profiles in Saskachewan // Canad. J. Soil Sci. 1963. V. 43. № 2. P. 336–349.
63. Arshad M.A., Pawluc S. Characteristics of some solonchets soils in the glacial lake Edmonton basin of Alberta. II. Mineralogy // J. Soil Sci. 1966. V. 17. № 1. P. 48–55.
64. Biscaye P.E. Distinction between kaolinite and chlorite in recent sediments by X-ray diffraction // Amer. Mineralogist. 1964. V. 49. № 9/10. P. 1281–1289.
65. Biscaye P.E. Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic Oceans // Geol. Soc. Amer. Bulletin. 1965. V. 76. № 7. P. 803–832.
66. Cook H.E., Johnson P.D., Matti J.C. and Zemmels I. Methods of sample preparation and X-ray diffraction data analysis, X-ray Mineralogy Laboratory, Deep Sea Drilling Project, University of California, Riverside: Washington, 1975. P. 999–1007.
67. Coulombe C.E., Dixon J.B., Wilding L.P. Chapter 5. Mineralogy and chemistry of Vertisols // Developments in Soil Science. 1996. V. 24. P. 115–200.
68. Kanwar J.S. Clay minerals in saline alkali soils of Punjab // J. Indian Soc. Soil Sci. 1961. V. 9. P. 35–40.
69. Klages M.G., Southard A.R. Weathering of montmorillonite during formation of a solodic soil and associated soils // Soil Sci. 1968. V. 106. № 5.
70. Paquet H., Bocquer G., Millot G. Néof ormation et dégradation des minéraux argileux d'anciens Solonetz solodisés et Vertisols du Tchad // Bull. Serv. Carte Geol. Als. Lorr. Strasbourg. 1966. V. 19. P. 295–322.
71. Raychaudhuri S.P., Programme S.K. Transformation of clay minerals under saline and alkali soil conditions. J. Indian Soc. Agric. Chem. 2005. V. 40b. P. 314–319.
72. Szöör 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. P. 9–14.
73. Van der Meer K. Gilgai morphology of the Lufira Plain. 8<sup>th</sup> Intern. Congress of Soil Science. Transactions. V. V. Bucharest, Romania, 1964. P. 697–701.
74. White E.M., Bonestell R.G. Some gilgaied soils in South Dakota // Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 1960. V. 24. № 4. P. 305–309.
75. Whittig L.D. Characteristics and genesis of a Solodized-Solonetz of California // Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 1959. V. 23. P. 469–473.

## Regional Diversity of Mineralogical Composition of Solonchets in Russia

N. B. Khitrov<sup>a,\*</sup> and E. B. Varlamov<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Dokuchaev Soil Science Institute, Pyzhevskiy per. 7, build 2, Moscow, 119017, Russia

\*e-mail: khitrovn@gmail.com

The quantitative and qualitative diversity of the clay fraction (<1 μm) from parent materials (BC and C horizons), albic (suprasolonchetic eluvial SEL) horizons, and clay-illuvial solonchetic (BSN) horizons of solonchets in different regions of the East European and West Siberian plains is described. The contents of smectitic phase (1.7 nm) (SM), illites (1.0 nm) (IL), and the sum of kaolinite and chlorite (0.7 nm) were calculated by the Biscaye method for all the samples. Overall, data on the mineralogical composition of 394 samples of soil horizons in 71 solonchetic soil profiles horizons were summarized. The empirical statistical cumulative and differential distribution curves of clay minerals were obtained. The frequency of occurrence of different types of mineral distribution in the profile was assessed. It was found that solonchets do not have a single type of distribution of clay minerals in the profile because of the differences in the mineralogical composition of parent materials and soil forming conditions. The eluvial-illuvial distribution pattern of illites in the bulk soil mass ( $IL_{SEL} < IL_{BSN} > IL_{BC}$ ) was the most frequent variant; its occurrence frequency varied from 25 to 65% in separate groups of solonchets and comprised 57% of the total data sample. Traditionally, the eluvial-illuvial distribution of smectitic phase ( $SM_{SEL} < SM_{BSN} > SM_{BC}$ ) is considered to be typical of solonchets. However, its occurrence frequency varied from 10 to 30% in separate groups of solonchets and comprised just 20% of the total data sample.

**Keywords:** clay minerals, irregular mica-smectite interstratifications, illite, kaolinite, chlorite