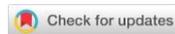


УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2020-105-173-207



Ссылки для цитирования:

Варламов Е.Б., Чурилин Н.А., Каганова А.Е. Расчетная реконструкция профильного распределения минералов по содержанию стабильного компонента на примере солонца коркового светлого сухостепной зоны юга России // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Вып. 105. С. 173-207. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-105-173-207

Cite this article as:

Varlamov E.B., Churilin N.A., Kaganova A.E., Predicted reconstruction of the profile distribution of minerals according to the content of the stable component in the crust light solonetz of dry-steppe zone in the south of Russia, Dokuchaev Soil Bulletin, 2020, V. 105, pp. 173-207, DOI: 10.19047/0136-1694-2020-105-173-207

Благодарность:

Исследование проведено при поддержке гранта РФФИ 18-016-00129А.

Acknowledgments:

The studies were carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research (RFBR) in the framework of the scientific project No. 18-016-00129A.

Расчетная реконструкция профильного распределения минералов по содержанию стабильного компонента на примере солонца коркового светлого сухостепной зоны юга России

© 2020 г. Е. Б. Варламов*, Н. А. Чурилин, А. Е. Каганова

ФИЦ “Почвенный институт им. В.В. Докучаева”, Россия,
119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,

*<https://orcid.org/0000-0003-4295-725X>, e-mail: evgheni968@rambler.ru.

Поступила в редакцию 07.02.2020, после доработки 02.08.2020,
принята к публикации 17.12.2020

Резюме: На основе детального, сопряженного, качественного и количественного анализа глинистых и кластогенных минералов коркового солонца Заволжья рассчитан профильный состав минералов по содержанию стабильного компонента. При этом принята изначальная минералогическая однородность почвенного профиля, определенная

методом стабильного компонента – содержания в профиле калиевого полевого шпата. Показатели плотности почвы к расчетам не привлекали. Профильные расчеты минералов проведены на уровне потерь и прибавок их процентного содержания в генетических горизонтах по отношению к породе, выраженных в кг/100 кг породы. Расчетные значения для глинистых минералов отрицательные в надсолонцовом и положительные в солонцовых горизонтах. Для кластогенных минералов отрицательные расчетные значения установлены в надсолонцовом горизонте, с максимумом убыли в солонцовых горизонтах, и положительные – в аккумулятивно-карбонатных горизонтах. Расчетными значениями минералов и масс силикатной части для почвы установлена глубокая проработанность профиля, которая выявлена по отрицательным значениям массы кластогенных минералов и избыточной массе глинистых минералов в иллювиальной части профиля по отношению к калиевым полевым шпатам. Накопление иллита в поверхностных горизонтах объясняется как процессом иллитизации, так и значительным физическим дроблением слюдистых минералов крупных фракций до размера илтистых частиц. Проведенные расчеты профильного распределения кластогенных и глинистых минералов позволили иным способом проанализировать элювиально-иллювиальную дифференциацию минеральной части почвы. Однако наличие литологической неоднородности профиля с определенным искажением влияет и на объемы изменений в минералогии почвы.

Ключевые слова: кластогенные минералы, глинистые минералы, калиевый полевой шпат, кварц, смешанослойные образования, иллит, хлорит, каолинит.

Predicted reconstruction of the profile distribution of minerals according to the content of the stable component in the crust light solonetz of dry-steppe zone in the south of Russia

E. B. Varlamov^{*}, N. A. Churilin, A. E. Kaganova

*Federal Research Centre “V.V. Dokuchaev Soil Science Institute”,
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,*

^{}<https://orcid.org/0000-0003-4295-725X>, e-mail: evgheni968@rambler.ru.*

Received 07.02.2020, Revised 02.08.2020, Accepted 17.12.2020

Abstract: On the basis of detailed, conjugated, qualitative and quantitative analysis of clay and clastogenic minerals of the crust solonetz of the Volga region, the profile composition of minerals is calculated according to the content of a stable component. At the same time, the initial mineralogical homogeneity of the soil profile, determined by the method of a stable component – the content of K-feldspar in the profile, was adapted. Soil density indicators were not involved in the calculations. Profile calculations of minerals were carried out at the level of losses and increases of their percentage in genetic horizons relative to the rock, expressed in kg/100 kg of rock. Design values for clay minerals – negative in suprasolonetz and positive – in solonetz horizons. For clastogenic minerals, negative design values are set in suprasolonetz, with a maximum decrease in solonetz gori-umbrellas, and positive in accumulative-carbonate horizons. The calculated values of minerals and masses of the silicate part allowed establishing the deep development of the soil profile, which was revealed by negative values of the mass of clastogenic minerals and an excess mass of clay minerals in the illuvial part of the profile with respect to potassium feldspar. The accumulation of illite in the surface horizons is explained both by the illitization process and by the significant physical crushing of mica minerals of large fractions to the size of silty particles. The lithological heterogeneity of the profile affects the distortion of the calculation results. Calculated model of substances is formed in solonetz profile by real distribution of mineralogical components of eluvial-illuviation process.

Keywords: clusters minerals, clay minerals, K-feldspar, quartz, mixed layer minerals, illite, chlorite, kaolinite.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение особенностей профильного распределения минералов представляет большой интерес ввиду того, что при некотором допущении оно (распределение) является свидетелем направленности эволюции почв. Сравнение горизонтов почвы и почвообразующей породы позволяет выделить те компоненты, которые предположительно разрушаются при почвообразовании и выветривании, однако оно не может ничего дать для оценки количества разрушенного материала. Для достижения этой цели служат балансовые расчеты. При всех балансовых расчетах предполагается исходная однородность почвообразующей породы. Существует несколько методов балансовых расчетов ([Розанов, 1975](#)), среди которых наиболее широкое распространение имеют следующие:

метод стабильного компонента и изообъемный метод. Каждый из этих методов имеет свои достоинства и недостатки. При изообъемном методе дополнительно предполагается, что уровень дневной поверхности не менялся в ходе почвообразования. Такое допущение оправдано, если в почвах сохраняется текстура исходной породы (как в корях выветривания в тропиках), однако к почвам, имеющим текстурно-дифференцированный профиль, это применить невозможно. В методе стабильного компонента дополнительно предполагается, что в почве имеется компонент, который не разрушается, не образуется при почвообразовании и не привносится со стороны. Изложению сущности этого метода посвящены многочисленные работы ([Smeck et al., 1980](#); [Седлецкий, 1938](#); [Розанов, 1975](#); [Симонов, 2000](#)). Прекрасные образцы применения метода оставил нам А.А. Роде ([Роде, 2008](#)). Он же рассмотрел идеологию сравнительно-аналитического метода, многие принципы которой перенесены в структуру балансового метода и толкования его результатов.

Среди большого количества работ по минералогическому составу и его профильному распределению в почвах ([Чижикова и др., 1973, 2017](#); [Соколова и др., 2005](#); [Варламов и др., 2018](#) и др.) вопросам баланса внимание практически не уделяется. Основная проблема в этой связи, помимо фиксирования профильного распределения минералов, – это выделение наиболее устойчивой к выветриванию части, которая будет выступать в качестве “свидетеля”. Метод выделения наиболее устойчивого (стабильного) компонента минеральной массы почв был впервые применен П.С. Коссовичем в 1916 г. ([Коссович, 1916](#)). В качестве критерия устойчивости компонентов в профиле почв он использовал отношение содержания окисла в верхнем, наиболее выветрелом горизонте к его содержанию в почвообразующей породе. Компонент, показывающий максимум такого отношения, обладает наибольшей устойчивостью и принимается за “свидетеля” во всем почвенном профиле. В некоторых работах ([Алексеев, 1999, 2012](#)) при расчете баланса широко используется ряд критериев для выявления особенностей генезиса и минералогии почв: отношения процента кварца к проценту слоистых алюмосиликатов; кварца к содержанию илистой фракции; кварца к полевоому шпату в опреде-

ляемом горизонте к такому отношению в почвообразующей породе и ряд других показателей. На почвах Русской равнины ([Халчева, 1974](#)) было применено отношение минералов или групп минералов, обладающих различной устойчивостью. Наряду с некоторыми другими коэффициентами было предложено использовать так называемый “простой роговообманковый коэффициент” – отношение циркона и турмалина к роговой обманке и “частный роговообманково-эпидотовый коэффициент”, представляющий собой отношение титансодержащих минералов, циркона, турмалина и граната к сумме роговых обманок и эпидота. Последний аргумент не всегда позволяет привлекать в качестве “свидетеля” такие устойчивые минералы как циркон, гранат и другие, содержание которых в почве мало, определение их трудоемко, а точность определения недостаточно велика. Построенные многими авторами ряды выветривания минералов относятся к условиям гипергенеза вообще, или к определенному типу почв: подзолистым, лесным ([Макеев и др., 1989](#)) и черноземным почвам. Известно, что устойчивость минералов зависит как от условий выветривания, так и от строения их кристаллической решетки. Изменение минералогического состава в почвенных монолитах детально рассмотрено ([Прудникова и др., 2019](#)) в ходе модельного эксперимента на пахотных горизонтах разных типов почв, где расчетный баланс проведен по отношению к содержанию кварца на исходных гомогенизированных почвенных субстратах. В большинстве указанных работ в качестве наиболее устойчивого в почвах минерала рассматривался кварц. Таким образом, из кластогенных минералов наиболее устойчивые минералы приходится искать среди небольшой группы, включающей в себя кварц, калиевые полевые шпаты, плагиоклазы, слюды. В профилях каштановых почв, особенно в солонцах, проявляется дифференциация по гранулометрическому составу илистой фракции, которая сопровождается и дифференциацией по минералогическому составу с накоплением в элювиальных горизонтах иллитов и потерей смешанослойных минералов ([Травникова и др., 1967, 1968, 1976, 1977](#); [Соколова, 2013](#)). Наличие в профиле почвы легкорастворимых солей (в средней и нижней частях профиля текстурной дифференциации по содержанию ила) не позволяет нам обоснованно

использовать в качестве “свидетелей” глинистые минералы. В условиях щелочной реакции процесс растворения глинистых минералов интенсифицируется ([Kamil et al., 1968](#); [Bar-On et al., 1970](#); [Соколова, 2013](#)). В отдельных работах ([Симонов и др., 1981, 1982](#); [Симонов, 2000](#)) при обобщении фактического материала по пространственной зональности абсолютно устойчивых минералов сделан вывод, из которого следует, что кварц является наиболее устойчивым минералом не во всех почвенных типах и что минералы, которые отнесены к устойчивым, закономерно изменяются в зональном ряду почв. Из этого следует, что в почвах, имеющих щелочную реакцию, наиболее устойчивым минералом оказывается не кварц, а калиевые полевые шпаты. В работе Р. Egli ([Egli et al., 2000](#)) косвенно используется минералогия в перерасчете на минералогическую основу и рассматривается расчет химических элементов из кислотных вытяжек, в которых расчеты выполнены по отношению к породе, а выводы основаны на разности убыли и прибавки элемента по профилям аллювиальных почв. Среди зарубежных публикаций отмечается ряд работ, посвященных устойчивости отдельных минералов как в лабораторных экспериментах, так и в условиях гипергенеза. Трехстадийный механизм выветривания альбита детально рассмотрен у R. Wollast и L. Chou ([Wollast, Chou, 1985](#)). Авторами установлено, что на начальной стадии выщелачивание альбита компенсируется в гидратированном слое ионами водорода, в результате образуется водородный слой; а потеря натрия компенсируется дополнительными алюмосиликатными слоями с последующим медленным диффузным растворением вглубь частицы альбита, на скорость его растворения значительно влияет концентрация солей, особенно при повышении рН раствора.

Работы, затрагивающие вопросы балансовых расчетов минералов почв указанного региона, нам не известны. Таким образом, представленный обзор проблемы выделения наиболее устойчивых (стабильных) минералов весьма сложен, при этом решение этих задач имеет большое значение в теоретическом почвоведении. Для объекта нашего исследования выбор устойчивого минерала осложнен еще и специфичностью солонцового процесса. Поскольку все расчеты содержания отдельных компонентов почвы

требуют привлечения данных о профильном распределении и количественном содержании наиболее устойчивого минерала, который рассматривается в качестве “свидетеля”, то необходим обязательный количественный сопряженный минералогический анализ кластогенных и глинистых минералов. В данной работе расчет минералов выполнен по содержанию стабильного компонента в профиле.

В связи с отсутствием данных по плотности сложения и изменению ее значений в профиле наши расчеты можно считать минералогическим относительным “балансом” для почвы, эти расчеты проведены при допущении и признании исходной литологической однородности на условиях, перечисленных ниже.

За почвообразующую породу для всех горизонтов почвенного профиля принимается слой породы, расположенный под почвенным профилем. Различия в вещественном составе почвенных горизонтов по отношению к принятой почвообразующей породе считаются результатом почвообразования. Для изучаемой почвы мы имеем возможность пренебречь денудацией и аккумуляцией вещества ([Сток наносов..., 1977](#)). Указанное допущение при возможном наличии дополнительного синлитогенного привноса минералогического материала в почвы добавляет неточности, следовательно, наши расчеты воспроизводят только некоторые частные случаи естественного генезиса солонцов, и в основном это касается средней и нижней частей профиля. В работе мы основывались на представлениях о том, что в процессе генезиса данных солонцов происходит выветривание минеральной части и вынос продуктов разрушения в нижележащие горизонты и (или) за пределы профиля. Разрушению подвергаются не все типы минералов, а только способные к выветриванию в данных геохимических условиях, по фактору времени при всех однотипных условиях более устойчивые минералы относительно накапливаются и служат минералогическими “реперами”. Разделение полиминеральной фазы почв на устойчивую (в конкретных условиях) и неустойчивую к выветриванию весьма условно, так как практически все минералы в той или иной степени подвергаются выветриванию ([Градусов, 1967, 1974, 1976](#)). Несмотря на указанные недостатки такого подхода к вычислениям, считаем необходимым проводить такие рас-

четные сравнения, хотя на самом деле очевидно, что из-за сложности комплексного минералогического сопряженного анализа кластогенных и глинистых минералов изложенный подход редко применяется. Тем не менее, используя данные подобных расчетов, возможен учет плодородия почв, а именно потенциальных запасов доступных растениям элементов питания из минералов почвенного профиля. Предложенный подход можно применять и к почвам, сформировавшимся на территориях, имеющих разный относительный возраст отложений, при условии однотипности минералогии почвообразующих пород. Очевидно, применение этого способа расчета позволит установить качественные и количественные изменения минералогического состава во времени.

Цель работы – рассчитать профильный состав минералов по содержанию стабильного компонента калиевого полевого шпата (КПШ) на основе данных сопряженного минералогического анализа кластогенных и глинистых минералов в профиле солонца.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования послужил солонец светлый корковый (разр. ЗК-2) около населенного пункта Борси с координатами: 50.108° с. ш. 47.156° в. д. Разрез заложен под сильно разреженной растительностью (проективное покрытие около 20%), которая представлена преобладающими видами *Kochia prostrata* (L.) Schrad (*Bassia prostrata* (L.) A.J. Scott в сопровождении прутняка простертого, семейство Chenopodiaceae, – многолетний ксерогалофит (засухо- и солеустойчивое растение)), на раннехвалынских отложениях на территории с абсолютной высотой 48 м над ур. м., возраст которой составляет около 17 тыс. лет ([Арсланов и др., 2013](#); [Чепалыга, Пирогов, 2006](#)). По Полевому определителю почв России (2008) почва относится к солонцу светлому корковому карбонатному солончаковатому, по WRB-2015 (IUSS Working Group WRB, 2015) – Calcic Gypsic Endosalic Solonetz (Columnic Cutanic Differentic).

В исследовании использованы данные профильного распределения глинистых и кластогенных минералов в профиле солонца ([Варламов и др., 2018](#)). Количественные расчеты минералов в указанной работе были выполнены по методическим рекомендациям

([Biscaye, 1965](#); [Cook et al., 1975](#)). К глинистым минералам отнесены тонкодисперсные слоистые силикаты с размером частиц <1 мкм. Это значит, что кварц и полевые шпаты с таким же размером частиц не входят в число глинистых минералов. К кластогенными мы относим минералы с каркасной и слоистой структурой и размером частиц >1 мкм. Во фракции >1 мкм оказался и глинистый минерал каолинит, его количественная оценка велась в этой же фракции наряду с кластогенными. Анализ продолжен рассмотрением распределения указанных групп минералов по профилю и оценкой результатов балансовых расчетов минералов. Нами в расчетах использовались данные количественного анализа кластогенных и глинистых минералов в весовых процентах, приравненные к кг/100 кг силикатного материала горизонтов к условной породе. Показатели плотности почвы к расчетам не привлекали на том основании, что, по-видимому, невозможно доказать их постоянство на всем протяжении развития почвы. Заметные изменения плотности почвенного профиля будут связаны с присутствием гумуса, растительного детрита и фитолитами, а также с содержанием в профиле значительного количества солей. Используемые в работе данные профильного минералогического состава получены на бесгумусную, бессолевую навеску почвы. При необходимости данные плотности почвы могут быть введены в расчеты. Потерю, прибавку минерала ([Алексеев, 1999](#)) устанавливали по формуле:

$$M_d = M_{гп} - M_{п}, \quad (1)$$

M_d – убыль или прибавка минерала в горизонте в сравнении с породой, кг/100 кг породы;

$M_{гп}$ – содержание минерала в горизонте, приведенное к содержанию калиевого полевого шпата в породе, кг/100 кг породы;

$M_{п}$ – содержание минерала в породе, кг/100 кг.

$M_{гп}$ рассчитывается по формуле:

$$M_{гп} = \frac{K_{пшп} \times M_{г}}{K_{пшг}}, \quad (2)$$

КПШп – содержание калиевого полевого шпата в породе, кг/100 кг;

КПШг – содержание калиевого полевого шпата в горизонте, вес. % или кг/100 кг;

Мг – содержание минерала в горизонте, вес. % или кг/100 кг.

Так как в процессе выветривания происходит накапливание наиболее устойчивого компонента, то по формуле (2) мы устанавливаем, сколько содержалось бы минерала в горизонте, если привести его к содержанию калиевого полевого шпата (КПШ) в породе в пропорциональном соотношении с содержанием КПШ и с фактическим содержанием его (КПШ) в горизонте. В формуле (1) Мгп и Мп переставлены местами для того, чтобы в результате произведенного действия полученный знак указывал на убыль или прибавку минерала.

Использованная нами точка отсчета – гор. Сса_s, глубина 110–130 см – обосновывалась отсутствием явных признаков воздействия процессов почвообразования на минеральную часть почвы. Исходя из этого, используемая в работе точка отсчета весьма условная, но при этом она морфологически привязана к достоверно диагностированным генетическим горизонтам исследованного солонца. Итоговые результаты такого расчета балансовых потерь и прибавок по минералам >1мкм представлены в (табл. 2, 3).

Таблицы 2, 3 состоят из трех частей. В первой части приведены исходные данные по содержанию минералов кластогенных и глинистых в весовых процентах. Во второй – данные по содержанию этих минералов в кг/100 кг породы (численно равные процентам), приведенные к содержанию калиевого полевого шпата в породе. Расчет выполнен по формуле (2). В третьей – данные по разнице содержания в горизонте и породе минералов и их сумм, полученных из второй части. В левой и средней части этой таблицы показано исходное содержание кластогенных минералов в почве и их количество в генетическом горизонте, приведенное к содержанию КПШ в породе расчет по формуле (1). С расчетным содержанием глинистых минералов (фракция <1 мкм) можно ознакомиться

ся по данным таблицы 3. Она построена по тому же принципу, что и для кластогенных минералов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изученный солонец развит на тяжелых отложениях – пылевато-иловатого гранулометрического состава, поскольку преобладает фракция крупной пыли (табл. 1). По содержанию физической глины (определение пирофосфатным методом по Качинскому) все горизонты профиля попадают в категорию легкой глины, за исключением гор. SEL (суглинок средний) и гор. С (тяжелый суглинок). 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%), вглубь профиля содержание фракции постепенно уменьшается до 28.7% в гор. Сса,s (110–130 см). Содержание суммы фракций >1 мкм с преобладанием частиц крупнопылеватой размерности (0.05–0.001 мм) имеют обратное илу количественное содержание в профиле почвы. Распределение фракций тонкой пыли (0.001–0.005 мм) максимально с поверхности и минимально в средней части профиля, содержание средней пыли (0.01–0.005 мм) равномерное и практически не изменяется по профилю. В профиле отмечается обедненность солонцовых горизонтов фракцией средней пыли (BSN1, BSN2 и BSN3s), которая обусловлена возрастанием доли илстых частиц в связи с их перераспределением внутри профиля. В изученном профиле солонца отсутствуют данные о содержании гранулометрических фракций в слое от 70 до 110 см. По своим морфологическим и физико-химическим свойствам этот слой аналогичен горизонту ВСаnc, поэтому они не приводятся. Совокупный анализ характера распределения ила и других фракций показал, что профильное распределение фракций характерное для солонцов, при этом наиболее значимые изменения механического состава наблюдаются только в первом метровом слое солонца и проявляются, главным образом, в накоплении на различной глубине ила. Таким образом, профильное распределение ила в почве имеет элювиально-иллювиальный характер.

Таблица 1. Содержание гранулометрических фракций в солонце разр. ЗК-2 (по Качинскому)
Table 1. The content of particle size fractions in the solonetz ЗК-2 (according to Kachinsky)

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	09.64	28.66	45.02

Меньше всего илистой фракции содержится в надсолонцовом горизонте SEL, мощность которого около 5 см. Наибольшее количество илистой фракций в профиле содержат солонцовые горизонты BSN. Суммарные данные гранулометрического состава отражают четкую дифференциацию профиля по распределению гранулометрических фракций по вертикали, о чем свидетельствует активный вынос ила из гор. SEL и его аккумуляция в гор. BSN (фракция <0.001 мм, 6.78–41.08%). Аналогичный характер распределения наблюдается и для физической глины (фракция <0.01 мм, 30.64–61.28%). Это происходит на фоне интенсивного физического дробления частиц всех размерностей, но особенно пылеватых частиц.

Необходимо отметить тот факт, что прибавка ила в солонцовых горизонтах больше, чем его убыль из надсолонцового горизонта.

Обезыливание верхних горизонтов объясняется не только активно проходящим процессом лессиважа, но и, по-видимому, разрушением глинистых частиц в результате щелочного гидролиза. Обращаем внимание на небольшое отличие величин по содержанию илистой фракции (табл. 1 и 3). Представленные значения (табл. 3) были получены методом отмучивания ([Горбунов, 1971](#)) – традиционным для минералогического анализа методом. Сопоставление результатов содержания ила указанными методами выявляют некоторые отличия значений для разных горизонтов. Диспергирование почвенной массы методом Качинского не обеспечивает полного диспергирования агрегатов, в отличие от пробоподготовки образцов по Горбунову с последующим исчерпывающим отмучиванием водой. В результате выход илистой фракции при отмучивании оказался выше, чем при выполнении гранулометрического анализа с использованием пирофосфата по методу Качинского. Такая картина наблюдается в данном солонце только в верхних гумусированных горизонтах, а в нижних – оба метода обеспечивают сопоставимый выход илистой фракции. В данной статье профильное распределение гранулометрических фракций охарактеризовано на основе данных, полученных методом Качинского, который используется наиболее широко.

Таблица 2. Расчетный состав кластогенных минералов фракции > 1 мкм силикатной части солонца. Разрез ЗК-2. Возраст территории около 17 тыс. лет.

Table 2. The estimated composition of clastogenic minerals fractions > 1 μm of the silicate part of the solonetz. Soil pit ЗК-2. The age of the territory is about 17 thousand years

Генети- ческий горизонт	Глубина отбора, см	Содер- жание фрак- ции, %	Содержание минералов в почве, %						Мгп, кг/100 кг породы						
			КВ	П	КШ	С	Х	КЛ	КВ	П	КШ	С	Х	КЛ	сумма
SEL	0–5	88.3	42.8	18.7	16.5	5.1	3.8	1.1	28.3	12..3	11.2	3.4	2.5	0.7	58.4
BSN1	5–16	60.3	23.9	15.1	14.8	3.3	2.3	0.9	18.1	11.5	11.2	2.5	1.7	0.7	45.7
BSN2	16–26	48.4	15.7	14.4	12.8	2.9	1.9	0.8	13.7	12.6	11.2	2.5	1.7	0.7	42.4
BSN3s	26–35	71.7	27.0	18.5	12.4	6.6	4.7	2.5	24.4	16.7	11.2	6.0	4.3	2.3	64.8
BCAs,cs	35–45	73.3	34.7	14.9	10.9	6.2	5.4	3.4	35.8	14.3	11.2	6.4	5.6	3.5	76.7
BCAnc	45–60	72.1	33.0	15.7	11.6	5.5	2.9	3.4	31.8	15.1	11.2	5.3	2.8	3.3	69.5
Сса,s	110–130	69.8	32.4	12.4	11.2	5.6	4.5	2.5	32.4	12.4	11.2	5.6	4.5	2.5	67.5

Примечание. Мгп – содержание минерала в горизонте, приведенное к содержанию КПШ в породе; Мд – убыль (прибавка) минерала в сравнении с породой; КВ – кварц; П - плагиоклазы; КШ – калиевые полевые шпаты; С – слюды; Х – хлорит; КЛ – каолинит; Бпм – “баланс” кластогенных минералов.

Продолжение таблицы 2. Расчетный состав кластогенных минералов фракции > 1 мкм силикатной части солонца. Разрез ЗК-2. Возраст территории около 17 тыс. лет.

Continued table 2. The estimated composition of clastogenic minerals fractions > 1 μm of the silicate part of the solonetz. Soil pit ЗК-2. The age of the territory is about 17 thousand years

Генети- ческий горизонт	Глубина отбора, см	Содер- жание фрак- ции, %	Мд, кг/100кг породы						
			КВ	П	КШ	С	Х	КЛ	Бм
SEL	0–5	88.3	-4.1	-0.1	0.0	-2.2	-2.2	-2,5	-11.9
BSN1	5–16	60.3	-13.3	-0.9	0.0	-3.1	-2.8	-1.8	-20.9
BSN2	16–26	48.4	-17.7	0.2	0.0	-3.1	-2.8	-1.8	-25.2
BSN3s	26–35	71.7	-7.0	4.3	0.0	0.4	-0.2	-0.2	-2.8
BCAs,cs	35–45	73.3	4.4	1.9	0.0	0.8	1.1	1.0	9.1
BCAnc	45–60	72.1	0.4	2.7	0.0	-0.3	-1.7	0.8	1.9
Cca,s	110–130	69.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Примечание. Мгп – содержание минерала в горизонте, приведенное к содержанию КПШ в породе; Мд – убыль (прибавка) минерала в сравнении с породой; КВ – кварц; П - плагиоклазы; КШ – калиевые полевые шпаты; С – слюды; Х – хлорит; КЛ – каолинит; Бм – “баланс” кластогенных минералов.

Таблица 3. Расчетный состав глинистых минералов фракции < 1 мкм и общий расчетный баланс минералов. Разрез ЗК-2

Table 3. The estimated composition of clay minerals fractions <1 μm and the overall calculated balance of minerals. Soil pit ЗК-2

Генетический горизонт	Глубина, отбора, см	Фракция < 1 мкм, %	Содержание минералов в почве, %				Мгп, кг/100 кг породы				
			СМ	И	Х	КЛ	СМ	И	Х	КЛ	Сумма
SEL	0–5	11.7	2.6	6.1	0.7	2.3	1.7	4.0	0.5	1.5	7.7
BSN1	5–16	39.7	20.6	11.8	1.8	5.5	15.6	9.0	1.4	4.2	30.1
BSN2	16–26	51.6	23.7	17.0	1.4	9.4	20.8	14.9	1.2	8.2	45.1
BSN3s	26–35	28.3	11.7	9.9	1.3	5.4	10.6	8.9	1.2	4.9	25.6
BCAs,cs	35–45	26.7	10.6	9.6	1.4	5.1	1.9	9.9	1.4	5.3	26.5
BCAnc	45–60	27.9	10.1	9.7	2.0	6.3	12.6	9.7	1.9	6.1	31.4
Csa,s	110–130	30.2	11.7	8.3	1.5	6.4	11.7	8.3	1.5	6.4	27.9

Примечание. Мгп – содержание минерала в горизонте, приведенное к содержанию КПШ в породе; Мд – убыль (прибавка) минерала в сравнении с породой; СМ – смектит; И – иллит; Х – хлорит; КЛ – каолинит; Бпм – “баланс” кластогенных минералов; Бгм – “баланс” глинистых минералов; Бо – общий “баланс” минералов.

Продолжение таблицы 3. Расчетный состав глинистых минералов фракции < 1 мкм и общий расчетный баланс минералов. Разрез ЗК-2

Continued table 3. The estimated composition of clay minerals fractions <1 μm and the overall calculated balance of minerals. Soil pit ЗК-2

Генетический горизонт	Глубина, отбора, см	Фракция < 1 мкм, %	Мд, кг/100 кг породы					“Баланс” минералов		
			СМ	И	Х	КЛ	Бгм	Блм	Бгм	Бо
SEL	0–5	11.7	-10.0	-4.3	-1.0	-4.9	-20.2	-11.9	-20.2	-32.1
BSN1	5–16	39.7	3.9	0.7	-0.1	-2.2	2.2	-20.9	2.2	-18.6
BSN2	16–26	51.6	9.1	6.6	-0.3	1.8	17.2	-25.2	17.2	-8.0
BSN3s	26–35	28.3	-1.1	0.6	-0.3	-1.5	-2.3	-2.8	-2.3	-5.2
BCAs,cs	35–45	26.7	-0.8	1.6	-0.1	-1.1	-1.4	9.1	-1.4	7.7
BCAnc	45–60	27.9	0.6	1.4	0.4	-0.3	3.5	1.9	3.5	4.3
Сса,s	110–130	30.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Примечание. Мгп – содержание минерала в горизонте, приведенное к содержанию КПШ в породе; Мд – убыль (прибавка) минерала в сравнении с породой; СМ – смектит; И – иллит; Х – хлорит; КЛ – каолинит; Блм – “баланс” кластогенных минералов; Бгм – “баланс” глинистых минералов; Бо – общий “баланс” минералов.

Солонец характеризуется неоднородным солевым профилем и разделяется по степени засоления на три части (рис. 1а, 1б). Надсолонцовый горизонт SEL не засолен, что обусловлено выщелачиванием солей атмосферными осадками.

Наибольшее засоление в средней части профиля отмечается в солонцовых горизонтах. Максимальное содержание солей достигает значения более 2% и постепенно снижается с глубиной, оставаясь высоким. Качественный состав засоления по профилю не меняется и характеризуется хлоридно-сульфатным магниевонатриевым составом.

С минералогической точки зрения, на относительную однородность профиля указывает однонаправленное изменение содержание КПШ, а также нормальные профили выветривания других кластогенных минералов исследуемой почвы. Под нормальным профилем мы понимаем накопление с поверхности и плавное убывание с глубиной устойчивых к выветриванию кластогенных минералов с жесткой кристаллической решеткой. Следует признать, что традиционные доказательства исходной однородности почвообразующих пород в настоящем исследовании не приведены, поэтому исходим из предположения о присутствии таковой на основании ранее перечисленных признаков.

Содержание кластогенных и глинистых минералов в профиле солонца имеет ряд особенностей (табл. 2). В элювиальной толще горизонта SEL установлено относительное накопление следующих минералов: кварца, плагиоклаза, КПШ, слюды, – при этом количество хлорита, наоборот, уменьшается, а количество глинистых минералов минимально для всего профиля. В иллювиальной части наблюдается обратная картина: сумма кластогенных минералов находится в минимуме, а суммарное количество глинистых – увеличивается и максимально для всего профиля солонца. Аналитические данные профильного распределения ила, кластогенных и глинистых минералов ([Варламов и др., 2018](#)) соответствуют элювиально-иллювиальной модели распределения указанных компонентов почвы, а почвообразование привело к профильным различиям минералогического состава между надсолонцовыми, солонцовыми и подсолонцовыми горизонтами.

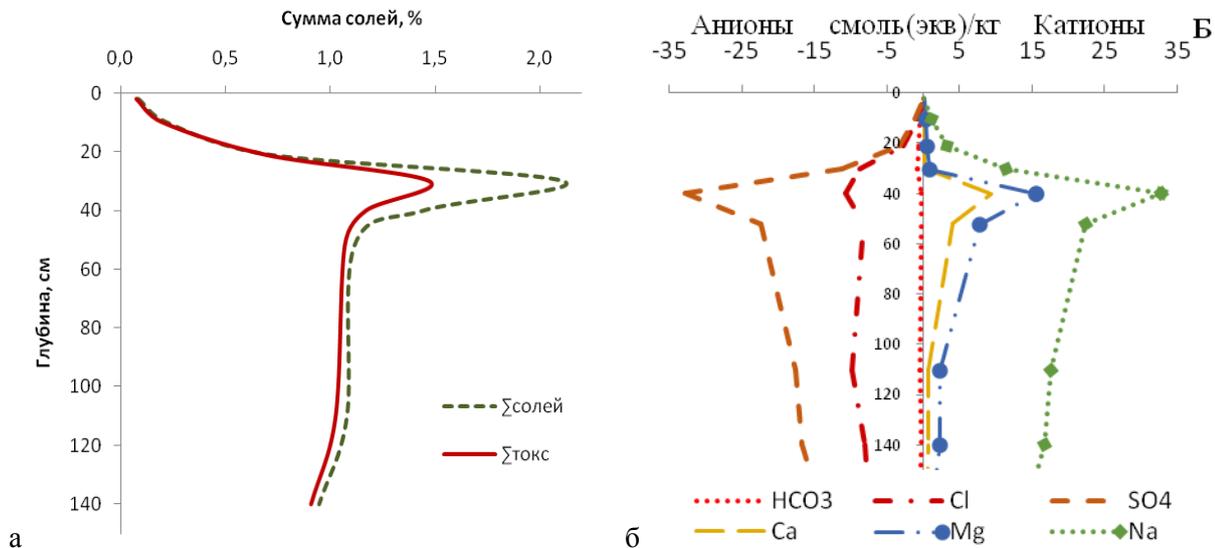


Рис. 1. Распределение общей суммы солей, суммы токсичных солей (а) и солевой профиль солонца (б).
Fig. 1. Distribution of the total amount of salts, the amount of toxic salts (a) and the salt profile of the solonetz (b).

Перечисленные особенности профильного распределения глинистых и кластогенных минералов типичны для почвы указанного типа и неоднократно описывались в литературе ([Соколова и др., 2005](#); [Травникова, 1976, 1977](#); [Чижикова и др., 1977, 2017](#)).

Расчетный состав кластогенных минералов, по сравнению с составом условной породы для надсолонцовых и солонцовых горизонтов, отрицательный (табл. 2, рис. 2).

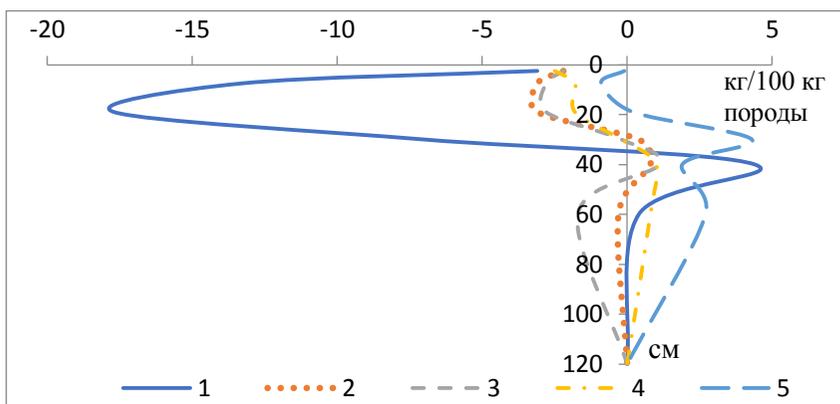


Рис. 2. Убыль, прибавка Мд кластогенных минералов (фракция >1 мкм) в сравнении с породой: 1 – Кварц; 2 – Слюды; 3 – Хлорит; 4 – Каолинит; 5 – Плагноклаз, кг/100 кг породы.

Fig. 2. Decline increase Md of clusters minerals (fraction >1 μm) in comparison with rock: 1 – Quartz; 2 – Micas; 3 – Chlorite; 4 – Kaolinite; 5 – Plagioclase, kg/100 kg of rock.

Наибольшие потери установлены для следующих минералов: кварца, хлорита, слюды, плагноклаза, – суммарные потери которых составили в надсолонцовом горизонте SEL более -10 кг/100 кг породы, а в солонцовых горизонтах BSN – более -25 кг/100 кг породы. Среди указанных кластогенных минералов максимальные потери в солонцовых горизонтах установлены для кварца, которые составили в максимуме около -17 кг/100кг породы. Рассчитанная нами величина потери кварца является максимальной в профиле. Обратим внимание, что учет глинистого минерала каолинита во фракции >1 мкм связан с суммарным итогом

вым учетом содержания минералов во фракциях 1–5; 5–10; >10 мкм, выделенных методом Горбунова ([Горбунов, 1971](#)).

В переходной к илу фракции тонкой пыли (1–5 мкм) количество каолинита было существенным. В связи с этим количественная оценка глинистого минерала каолинита также велась во фракции >1 мкм наряду с кластогенными минералами вместе с расчетом соотношения минералов по методу Кука. Расчетные потери каолинита максимальные с поверхности с -2.5 кг/100 кг породы с плавным уменьшением вглубь профиля. В аккумулятивно-карбонатном горизонте фиксируется незначительная прибавка каолинита – около 1 кг/100 кг породы.

В профиле фиксируется небольшая потеря плагиоклаза (около -1 кг/100 кг породы) до гор. BSN3s, где расчетные значения меняются на противоположные – +4 кг/100 кг породы. Положительные расчетные значения содержания плагиоклаза в нижней части солонцового горизонта можно связать с перемещением тонкодисперсного материала в пределах горизонта. Переходные к материнской породе аккумулятивно-карбонатные горизонты ВСА характеризуются положительными расчетными значениями кластогенных минералов, которые в сумме составляют 9 кг/100 кг породы.

Максимальная прибавка установлена для кварца – более 4 кг/100 кг породы, около 2 кг/100 кг породы приходится на плагиоклаз, а слюды, хлорит имеют значения в пределах 1 кг/100 кг породы (табл. 2). Эти факты свидетельствуют, по-видимому, о литологической неоднородности профиля. Таким образом, расчетное количество кластогенных минералов, по сравнению с породой, отрицательное для надсолонцовых и солонцовых горизонтов с отрицательным максимумом в солонцовых горизонтах и положительное для переходных аккумулятивно-карбонатных горизонтов. По всей вероятности, физическое дробление кварца, слюды и других минералов фракции >1 мкм наиболее интенсивно происходит в верхних горизонтах. Оно сопровождается щелочным гидролизом и идет с меньшей интенсивностью, чем физическое дробление, о чем свидетельствуют значительные отрицательные расчетные значения кластогенных минералов и положительные значения по глинистым минералам. Очевидно, что максимум содержания со-

лей и максимальные расчетные потери минералов находятся во взаимосвязи.

Расчет количества глинистых минералов выявил принципиально иную картину. В надсолонцовых гор. SEL, так же как и для кластогенных минералов, фиксируется суммарный максимум (20 кг/100 кг породы) отрицательных значений по всем глинистым минералам (табл. 3., рис. 3). Характер распределения расчетных значений по отдельным глинистым компонентам имеет следующие особенности: в надсолонцовом горизонте значения отрицательные по всем глинистым минералам с максимумом по СМ фазе -10 кг, а по иллиту и каолиниту с примерно одинаковыми значениями находится в пределах -4 кг и по хлориту – около -1 кг/100 кг породы. В солонцовых горизонтах картина меняется, значения по СМ фазе и иллиту имеют положительные значения с увеличением вглубь профиля от +4 до +9 кг и более и от +1 до +6 кг 100 кг породы соответственно. Что касается иллита, то, по всей вероятности, физическое дробление слюдястых минералов крупных фракции до размера илистых частиц приводит к увеличению его содержания в профиле до +6 кг/100 кг породы. В пользу факта физического дробления минералов следует отметить проявление у иллитовых минералов илистой фракции унаследованного характера слюдястых минералов фракций >1 мкм, которое подтверждается хорошей их окристаллизованностью, о чем свидетельствуют острые симметричные диагностические рефлексы 1.0 и 0.5 нм дифрактограмм ([Варламов и др., 2018](#)) нижней части солонцовой толщи гор. BSN3 и верхней части гор. ВСА. При этом аргументированность факта увеличения содержания иллита в надсолонцовом горизонте и в верхней части солонцовых горизонтов, которое происходит за счет лабильных структур СМ-фазы, не вызывает сомнений ([Варламов и др., 2018](#)). На основании сказанного можно заключить, что накопление иллитов в верхних горизонтах происходит не только за счет иллитизации (необменной фиксации калия лабильными структурами), но и за счет физического дробления слюдястых минералов, заключенных в составе фракций >1 мкм. Расчетные значения хлорита и каолинита надсолонцовых и солонцовых горизонтов находятся в пределах небольших отрицательных и положительных величин. Подобный диапазон значений по

всем минералогическим компонентам имеют и аккумулятивно-карбонатные горизонты ВСА.

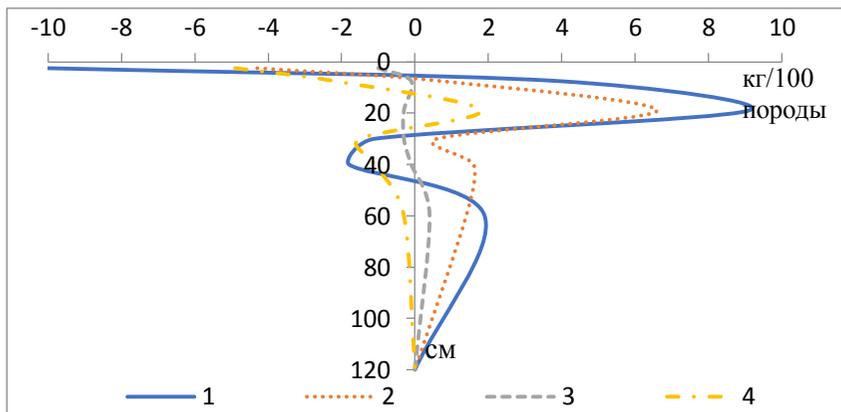


Рис. 3. Убыль, прибавка Мд глинистых минералов (фракция $<1 \mu\text{m}$) в сравнении с породой: 1 – СМ минералы; 2 – Иллит; 3 – Хлорит; 4 – Каолинит, кг/100 кг породы.

Fig. 3. Decline increase Md of clay minerals (fraction $<1 \mu\text{m}$) in comparison with rock: 1 – СМ minerals; 2 – Illit; 3 – Chlorite; 4 – Kaolinite, kg/100 kg of rock.

По характеру распределения хлоритов в солонце можно предположить, что они тоже переходят из более крупных фракций в тонкодисперсную (илистую) в результате физического дробления. Вместе с тем хлориты подвергаются значительному разрушению как наименее устойчивые, особенно в условиях щелочной обстановки рассматриваемой почвы. В результате в профиле данного солонца наблюдается вариабельное распределение хлорита. Как уже отмечалось, скорость растворения минимальна при нейтральной реакции и она значительно возрастает при переходе к щелочной реакции среды. Разрушение минералов может замедляться, вероятно, под влиянием такого фактора, как наличие гумусовых пленок на поверхности минеральных частиц, что и наблюдается в содержащих гумус горизонтах. Содержание глинистых минералов (ГМ) по отношению к группе кластогенных минералов может увеличиваться, но это должно быть подтверждено соответ-

ствующим снижением суммарного содержания кластогенных минералов как источников образования глинистых минералов, что было зафиксировано для надсолонцового и солонцового горизонтов. Обращает на себя внимание небольшое (+3 кг/100 кг породы) увеличение всей группы ГМ в аккумулятивно карбонатном горизонте на глубине 40–60 см, в карбонатной среде которого исключается синтез и трансформации ГМ. С учетом указанных обстоятельств увеличение содержания ГМ должно сопровождаться соответствующим снижением содержания кластогенных минералов, чего не наблюдается. Этот факт указывает на специфическую литологическую неоднородность.

Суммарный расчет минералов был установлен суммированием убыли (прибавки) кластогенных и глинистых минералов (табл. 3, рис. 3). В профиле солонца установлена убывающая с глубиной потеря минералов с максимумом в -31 кг/100 кг породы в надсолонцовом SEL горизонте. В солонцовой части профиля, несмотря на положительные значения по глинистым минералам, итоговая сумма имеет отрицательные значения. Данные распределяются с равномерным убыванием потерь от -18 кг/100 кг породы в гор. BSN1 до -5 кг/100 кг породы в гор. BSN3. В аккумулятивно-карбонатных горизонтах ВСА расчетные цифры имеют положительные значения: от +7 до +4 кг/100 кг породы.

Разность дефицита и прибавки глинистых и кластогенных минералов мы относим как к процессу лессиважа (иллимеризации), так и к потере минеральных компонентов всем профилем в результате щелочного гидролиза. В пользу последнего предположения (щелочного гидролиза) свидетельствуют полученные отрицательные значения (табл. 2) для весьма устойчивого к выветриванию кварца, а внушительные потери этого минерала мы связываем с общеизвестным фактом ([Горбунов, 1963, 1976](#)) о высокой растворимости и низкой устойчивости кварца в щелочной среде. Это обстоятельство подтверждается существенным физическим дроблением пылеватых фракций, вследствие увеличения поверхности минералов уменьшается их устойчивость к выветриванию.

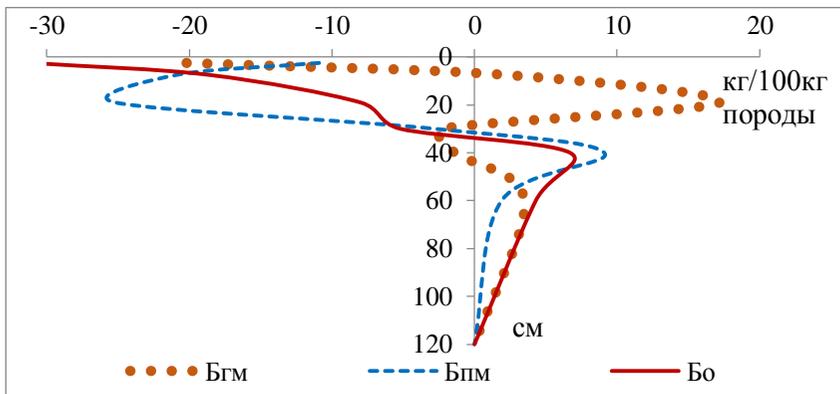


Рис. 4. Суммарный расчет минералов, Бгм – значения глинистых минералов, Бпм – значения кластогенных минералов; Бо – суммарный расчет минералов, кг/100 кг породы.

Fig. 4. Total calculation of minerals, Бгм – values of clay minerals, Бпм – values of cluster minerals, Бо – total calculation of minerals, kg/100 kg of rock.

Следующим доводом может служить указанное нами ранее ([Варламов и др., 2018](#)) супердисперсное состояние смешанослойных минералов, при котором блоки минералов расслаиваются на частицы с минимальным количеством пакетов и сопровождаются большим количеством аморфного вещества, что обычно происходит при содовом засолении. Очевидно, что кроме лессиважа в дифференциации профиля принимает участие и процесс щелочного гидролиза.

Еще один важный момент – это наличие совмещенных максимумов содержания ила и лабильных глинистых минералов в нем, что является однозначной характеристикой лессиважа как основного процесса дифференциации минералогической части профиля изученного солонца. При одном щелочном гидролизе за счет разной устойчивости ГМ такое совмещение было бы невозможно. В данной почве потери ГМ в результате щелочного гидролиза значительно нивелируются физической диспергацией крупных фракций, в результате этого происходит пополнение количества ГМ. Указанными обстоятельствами объясняются положительные расчетные значения ГМ солонцового горизонта. При этом

количество перемещенных вглубь профиля глинистых и тонкодисперсных минералов значительно меньше по сравнению с общим количеством указанных веществ в горизонте. Имеющиеся внутригоризонтные отличия минералогических компонентов, главным образом ГМ, позволяют объяснить детальный минералогический анализ ([Варламов и др., 2018](#)). Выявленные кристаллохимические отличия глинистых компонентов, особенно минералов смектитовой фазы, в пределах солонцовых BSN горизонтов свидетельствуют о том, что вымывается сложное по минералогическому составу вещество, при этом разные его компоненты (илистоколлоидные и тонкодисперсные), по-видимому, вымыты в разные периоды, в результате формируется неоднородность в солонцовой части профиля. К изложенному важно добавить, что в профиле сказывается как изоморфизм и структурная изменчивость одних и тех же минералов, так и их трансформации под действием процессов выветривания и почвообразования. Относительное увеличение доли кластогенных минералов является суммарным результатом как разрушения частиц, выноса их продуктов в форме окислов, так и обеднения верхней части профиля частицами <1 мкм вследствие пептизирования глинистых минеральных частиц. Установленные расчетные потери минералов относительно породы подтверждают, что в почвенные растворы поступает много оснований, которые пополняют их собственные запасы, в том числе солями натрия и магния, это вызывает быструю коагуляцию частиц из растворов и дисперсий и приводит к формированию непосредственно под горизонтом SEL компактного иллювиального по илу горизонта. Таким образом, минералогическими компонентами создаются условия более длительного сохранения в этих почвах солонцовых свойств, происходит формирование четко обособленных по минералогическим признакам солонцовых горизонтов.

Возвращаясь к максимальной расчетной потере кварца, установленной в солонцовых горизонтах и составляющей более 17 кг/100 кг породы, обращает на себя внимание высокое ее значение. Однако, это вступает в противоречие с количеством выбранного авторами устойчивого “свидетеля” – КПШ, содержание которого в расчете на почву в целом равномерно. Такой эффект не может в полной мере объясняться накопительным разрушением и

необратимостью процесса дезинтеграции кластогенных минералов. Сравнение полученных показателей изменения минеральной массы почв с литературными данными затруднительно по причине не только различающихся формул, но и в результате использования других “свидетелей”. Отметим следующие сопутствующие расчетам обстоятельства: гор. ВСА (35–45см) характеризуется минимальным значением содержания КПШ и максимальным содержанием в профиле кварца. В результате итоговые расчеты привели к положительным значениям всей группы кластогенных минералов. Исходя из наших допущений касательно однородности почвообразующей породы, а также относительно аккумулятивно-карбонатного горизонта, где новообразования другими путями кроме деградиционной трансформации слоистых силикатов в карбонатной среде исключены, следует ожидать только нулевых или незначительно отрицательных расчетных значений, однако этого не наблюдается. Эти факты могут свидетельствовать об особенной (с высоким содержанием кварца) неоднородности профиля. При этом профильное размещение данного литологического слоя гор. ВСА фиксируется положительными значениями кластогенных минералов и в меньшей мере глинистых (табл. 2, 3). Небольшая суммарная прибавка (+3 кг/100 кг породы) глинистых минералов в аккумулятивно-карбонатном горизонте находится во взаимосвязи не с потерей, как ожидалось для этого горизонта, а с прибавкой кластогенных минералов, что также свидетельствует о неоднородности профиля. Представляется вероятным, что данный факт сказался и на потерях кварца в гор. BSN.

Обобщая проведенные исследования, появляется представление о количественных параметрах и направлениях преобразования минеральной части почвенного профиля. Подтверждается, что минералы в одних и тех же условиях подвергаются гидролизу с разной скоростью в соответствии со своими термодинамическими и кинетическими характеристиками. Результатом этого является дифференциация почвенного профиля по минералогическому составу. Использование значений проведенных расчетов позволило оценить относительное распределение масс кластогенных и глинистых минералов, накапливающихся на месте и мигрирующих в пределах средней и частично нижней части профиля. На основе

количественных аналитических данных показано, что в дифференциации твердой фазы типичной для северного Прикаспия почвы заметную роль играют как процессы лессиважа (иллимеризации), так и щелочного гидролиза. Однако для полноценной количественной оценки роли процесса растворения силикатов на фоне нисходящего перемещения суспензий в профиле солонца примера одного разреза явно недостаточно. Необходимо иметь данные не только солонца, но и сопряженных почв всего ряда солонцового комплекса, а таких данных пока крайне мало. Полученные нами количественные показатели профильного расчетного распределения минералов следует подтвердить или опровергнуть на почвах сопряженных территорий, или проверить величины преобразований по сравнению с фоновыми почвами данного комплекса. Предложенная система, основанная на методе расчетов кластогенных и глинистых минералов, позволила иным способом проанализировать элювиально-иллювиальную дифференциацию минеральной части почвы, но вместе с тем наличие литологической неоднородности профиля с определенным искажением влияет и на масштабы изменений минеральных компонентов почвы.

ВЫВОДЫ

Дифференциация элювиальной части солонца сопровождается количественным перераспределением отдельных минералогических компонентов по профилю и качественными химико-минералогическими изменениями минеральной массы. Продукты выноса, главным образом в виде смектита, иллита, аккумулируются в иллювиальной части профиля.

Накопление иллита в поверхностных горизонтах объясняется не только процессами иллитизации, но и значительным физическим дроблением слюдистых минералов крупных фракций до размера илистых частиц.

Максимальные размеры потерь кластогенных и глинистых минералов произошли в надсолонцовом горизонте SEL и составляют соответственно -10 и -20 кг/100 кг, а суммарное расчетное количество минералов составило более -30 кг/100 кг породы.

В солонцовых BSN горизонтах имеются признаки как лессиважа, так и локального разрушения в результате щелочного

гидролиза минералов. Суммарные потери кластогенных минералов достигают -25 кг/100 кг породы, а прибавка по глинистым – +17 кг/100 кг породы, при суммарном расчетном количестве от -8 кг до -19 кг/100 кг породы. Значительные потери кварца свидетельствуют о его слабой устойчивости при щелочном гидролизе.

В аккумулятивно-карбонатных горизонтах ВСА положительные значения кластогенных минералов и суммарных расчетных значений с учетом глинистых до +7 кг/100 кг породы свидетельствуют о выявленной литологической неоднородности почвообразующих пород профиля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев В.Е.* Минералогия почвообразования в степной и лесостепной зонах Молдовы. Диагностика, параметры, факторы, процессы. Кишинев: 1999, 241 с.
2. *Алексеев В.Е.* Способ оценки минералогического состояния силикатной части черноземов // Почвоведение. 2012. № 2. С. 189–199.
3. *Арсланов Х.А., Свиточ А.А., Чепалыга А.Л. и др.* О возрасте Хвалыньских отложений Каспийского регион по данным датирования моллюсков 14С и 230ТН/234U методами // Фундаментальные проблемы квартера, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований. Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2013. С. 34–36.
4. *Варламов Е.Б., Лебедева М.П., Чурилин Н.А., Чурилина А.Е.* Особенности профильного распределения минералов во фракциях разной размерности в солонце корковом светлом сухостепной зоны юга России // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2018. Вып. 93. С. 144–172. DOI: [10.19047/0136-1694-2018-93-144-168](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-93-144-168).
5. *Горбунов Н.И.* Высокодисперсные минералы и методы их изучения их изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 302 с.
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. 127с.
9. *Градусов Б.П., Травникова Л.С., Чижикова Н.П.* Минералогический состав глинистого материала почв // Структура, функционирование и

- эволюция системы биогеоценозов Барабы. Новосибирск: Наука, 1974. Т. 1. С. 153–183.
10. *Коссович П.С.* Краткий курс общего почвоведения. Петроград: Тип. Альтшулера, 1916. 276 с.
11. *Макеев А.О., Макеев О.В.* Почвы с текстурно-дифференцированным профилем основных криогенных ареалов севера Русской равнины. Пушино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1989. 272 с.
12. *Прудникова Е.Ю., Варламов Е.Б., Чурилин Н.А., Чурилина А.Е.* Дифференциация и баланс минералов при трансформации открытой поверхности пахотных почв под воздействием атмосферных осадков // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2019. Вып. 98. С. 105–131. DOI: [10.19047/0136-1694-2019-98-105-131](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-98-105-131).
13. *Розанов Б.Г.* Генетическая морфология почв. М.: Изд-во МГУ, 1975. 292 с.
14. *Роде А.А.* Избранные труды в Т.4. Подзолообразовательный процесс. М.: ГНУ Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2008. 480 с.
15. *Седлецкий И.Д.* Гензис минералов почвенных коллоидов в связи с типами выветривания и почвообразования // Природа. 1938. № 1. С. 34–44.
16. *Симонов Г.А.* Состояние и эволюция минеральной массы почв зонального ряда не покровных суглинках: Генетические аспекты: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Сыктывкар, 2000.
17. *Симонов Г.А., Соколова Т.А.* Некоторые параметры для количественной оценки степени выраженности элювиального и элювиально-иллювиального почвенных процессов // Вест. Моск. Ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 1981. № 3. С. 3–11.
18. *Симонов Г.А., Соколова Т.А.* Некоторые параметры для количественной оценки степени выраженности элювиального и элювиально-иллювиального почвенных процессов // Вест. Моск. Ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 1982. № 1. С. 27–35.
19. *Солдатова Е.Ф.* Сухостепные почвы с дифференцированным профилем на древних корях выветривания Терсекского плато (Северный Казахстан) // Почвоведение. 1989. № 7. С. 24–37.
20. *Соколова Т.А.* Разрушение глинистых минералов в модельных опытах и в почвах: позомные механизмы, скорость, диагностика (анализ литературы) // Почвоведение. 2013. № 2. С. 201–218.
21. *Соколова Т.А., Дронова Т.Я., Толпеица И.И.* Глинистые минералы в почвах. Тула, 2005. 336 с.

22. *Травникова Л.С.* Минералогический состав фракции <math>< 1\text{ м}</math> некоторых солонцов черноземной и каштановой зон // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 1968. Вып. 2. С. 52–60.
23. *Травникова Л.С.* О строении и структуре основного компонента глинистого материала содовых солонцов // Докл. АН СССР. 1976. № 6. С. 1425–1428.
24. *Травникова Л.С.* О географии и генезисе глинистого материала солонцовых почв // Тез. докл. 5-го съезда ВОП. Вып. 1. Минск, 1977. С. 156–157.
25. *Травникова Л.С., Мясников В.В.* Особенности профиля глинистого материала почв солонцового профиля лимана Б. Царын // Почвоведение. 1967. № 10. С. 127–137.
26. Сток наносов, его изучение и географическое распределение. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 240 с.
27. *Халчева Т.А.* Степень выветроелости и условия формирования разновозрастных лессовых горизонтов Русской равнины: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Москва, 1974. 31 с.
28. *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.
29. *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. наук. 1973. № 8. С. 99–106.
30. *Чижикова Н.П., Хитров Н.Б., Самсонова А.А., Варламов Е.Б., Чурилин Н.А., Роговцева Л.В., Чевердин Ю.И.* Минералы трехкомпонентной пятнистости агрочерноземов Каменной Степи // Почвоведение. 2017. № 4. С. 468–482.
31. *Bar-On P., Shainberg J.* Hydrolysis and decomposition of Na/montmorillonite in distilled water // Soil Science. 1970. Vol. 109. No. 4. P. 241–246.
32. *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. Vol. 76. No. 7. P. 803–832.
33. *Cook H.E., Johnson P.D., Matti J.C., Zemmels I.* Methods of sample preparation and X-ray diffraction data analysis, X-ray Mineralogy Laboratory, Deep Sea Drilling Project, University of California, Riverside // In: Init. Repts. Washington: U.S. Govt. Printing Office, 1975. P. 999–1007.
34. *Egli M., Fitzе P.* Formulation of pedologic mass balance based immobile elements: a revision // Soil Science. 2000. Vol. 165. No. 5. P. 437–443.

35. Kamil J., Sheinberg I. Hydrolysis of sodium montmorillonite in sodium chlorite solutions // *Soil Science*. 1968. Vol. 106. No. 3. P. 193–199.
36. Chou L., Wollast R. Steady-state kinetics and dissolution mechanisms of albite // *American Journal of Science*. 1985. Vol. 285. P. 963–993.
37. Smeck N.E., Wilding L.P. Quantitative evaluation of pedon formation in calcareous glacial deposits in Ohio // *Geoderma*. 1980. Vol. 24. Iss. 1. P. 1–16.

REFERENCES

1. Alekseev V.E., *Mineralogiya pochvoobrazovaniya v stepnoi i lesostepnoi zonakh Moldovy. Diagnostika, parametry, faktory, protsessy* (Mineralogy of soil formation in the steppe and forest-steppe zones of Moldova. Diagnostics, parameters, factors, processes), Kishinev: 1999, 241 p.
2. Alekseev V.E., Sposob otsenki mineralogicheskogo sostoyaniya silikatnoi chasti chernozemov (Method for assessing the mineralogical state of the silicate part of chernozems), *Pochvovedenie*, 2012, No. 2, pp. 189–199.
3. Arslanov Kh.A., Svitoch A.A., Chepalyga A.L. et al., O vozraste Khvalynskikh otlozhenii Kaspiiskogo regiona po dannym datirovaniya mollyuskov 14S i 230TH/234U metodami (About the age of the Khvalynsk deposits in the Caspian region according to the dating of mollusks by ¹⁴C and ²³⁰Th / ²³⁴U methods), In: *Fundamental'nye problemy kvartera, itogi izucheniya i osnovnye napravleniya dal'neishikh issledovaniy* (Fundamental problems of the quarter, the results of the study and the main directions of further research), Rostov-na-Donu: YuNTs RAN, 2013, pp. 34–36.
4. Varlamov E.B., Lebedeva M.P., Churilin N.A., Churilina A.E., Profile distribution of minerals in textural fractions of different dimensions in the solonetz in dry steppe zone of Russia, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2018, Vol. 93, pp. 144–168, DOI: [10.19047/0136-1694-2018-93-144-168](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-93-144-168).
5. Gorbunov N.I., *Vysokodispersnyye mineraly i metody ikh izucheniya ikh izucheniya* (Finely dispersed minerals and methods of their study), Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1963, 302 p.
6. Gorbunov N.I., Metodika podgotovki pochv k mineralogicheskim analizam (Methods of soil preparation for mineralogical analyzes), In: *Metody mineralogicheskogo i mikromorfologicheskogo izucheniya pochv* (Methods of mineralogical and micromorphological studies of soils), Moscow: Nauka, 1971, pp. 5–15.
7. Gradusov B.P., Rentgendifraktoметрический метод в минералогических исследованиях почв (X-ray diffractometric method in mineralogical studies of soils), *Pochvovedenie*, 1967, No. 10, pp. 127–137.

8. Gradusov B.P., *Mineraly so smeshanosloinoi strukturoi v pochvakh* (Minerals with a mixed layer structure in soils), Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1976, 127 p.
9. Gradusov B.P., Travnikova L.S., Chizhikova N.P., Mineralogicheskii sostav glinistogo materiala pochv (Mineralogical composition of clay soil material), In: *Struktura, funktsionirovanie i evolyutsiya sistemy biogeotsenozov Baraby* (Structure, functioning and evolution of the system of biogeocenoses in Baraba), Novosibirsk: Nauka, 1974. Vol. 1, pp. 153–183.
10. Kossovich P.S., *Kratkii kurs obshchego pochvovedeniya* (A short course in general soil science), Petrograd: Tip. Al'tshulera, 1916, 276 p.
11. Makeev A.O., Makeev O.V., *Pochvy s teksturno-differentsirovannym profilem osnovnykh kriogenykh arealov severa Russkoi ravniny* (Soils with a texture-differentiated profile of the main cryogenic areas in the north of the Russian Plain), Pushchino: ONTI NTsBI AN SSSR, 1989, 272 p.
12. Prudnikova E.Yu., Varlamov E.B., Churilin N.A., Churilina A.E., Differentiation and balance of minerals during transformation of the open surface of arable soils under the impact of rain, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2019, Vol. 98, pp. 105–131, DOI: [10.19047/0136-1694-2019-98-105-131](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-98-105-131).
13. Rozanov B.G., *Geneticheskaya morfologiya pochv* (Genetic morphology of soils), Moscow: Izd-vo MGU, 1975, 292 p.
14. Rode A.A., *Izbrannye trudy v T.4. Podzoloobrazovatel'nyi protsess* (Selected works in Vol. 4. Podzol formation process), Moscow: GNU Pochvennyi in-t im. V.V. Dokuchaeva Rossel'khozakademii, 2008, 480 p.
15. Sedletskii I.D., Genzis mineralov pochvennykh kolloidov v svyazi s tipami vyvetrivaniya i pochvoobrazovaniya (Genzis minerals of soil colloids in connection with the types of weathering and soil formation), *Priroda*, 1938, No. 1, pp. 34–44.
16. Simonov G.A., *Sostoyanie i evolyutsiya mineral'noi massy pochv zonal'nogo ryada ne pokrovnykh suglinkakh: Geneticheskie aspekty: Avtoref. dis. ... dokt. biol. nauk* (The state and evolution of the mineral mass of soils of the zonal series of non-cover loams: Genetic aspects: Extended abstract of Doct. biol. sci. thesis), Syktyvkar, 2000.
17. Simonov G.A., Sokolova T.A., Nekotorye parametry dlya kolichestvennoi otsenki stepeni vyrazhennosti elyuvial'nogo i elyuvial'no-illyuvial'nogo pochvennykh protsessov (Some parameters for a quantitative assessment of the severity of eluvial and eluvial-illuvial soil processes), *Vest. Mosk. Un-ta. Ser. 17. Pochvovedenie*, 1981, No. 3, pp. 3–11.
18. Simonov G.A., Sokolova T.A., Nekotorye parametry dlya kolichestvennoi otsenki stepeni vyrazhennosti elyuvial'nogo i elyuvial'no-illyuvial'nogo pochvennykh protsessov (Some parameters for a quantitative assessment of

the severity of eluvial and eluvial-illuvial soil processes), *Vest. Mosk. Un-ta. Ser. 17. Pochvovedenie*, 1982, No. 1, pp. 27–35.

19. Soldatova E.F., Sukhostepnye pochvy s differentsirovannym profilem na drevnikh korakh vyvetrivaniya Tersekskogo plato (Severnyi Kazakhstan) (Dry steppe soils with a differentiated profile on ancient weathering crusts of the Tersek plateau (Northern Kazakhstan)), *Pochvovedenie*, 1989, No. 7, pp. 24–37.

20. Sokolova T.A., Razrushenie glinistyykh mineralov v model'nykh opytakh i v pochvakh: pozmozhnye mekhanizmy, skorost', diagnostika (analiz literatury) (Destruction of clay minerals in model experiments and in soils: possible mechanisms, speed, diagnostics (analysis of the literature)), *Pochvovedenie*, 2013, No. 2, pp. 201–218.

21. Sokolova T.A., Dronova T.Ya., Tolpeshta I.I., *Glinistye mineraly v pochvakh* (Clay minerals in soils), Tula, 2005, 336 p.

22. Travnikova L.S., Mineralogicheskii sostav fraktsii <1 m nekotorykh solontsov chernozemnoi i kashtanovoi zon (Mineralogical composition of the fraction <1 m of some solonchaks in the chernozem and chestnut zones), *Dokuchaev Soil Bulletin*, 1968, Vol. 2, pp. 52–60.

23. Travnikova L.S., O stroenii i strukture osnovnogo komponenta glinistogo materiala sodovykh solontsov (On the structure and structure of the main component of the clay material of soda solonchaks), *Dokl. AN SSSR*, 1976, No. 6, pp. 1425–1428.

24. Travnikova L.S., O geografii i genezise glinistogo materiala solontsovykh pochv (On the geography and genesis of clayey material of solonchak soils), *Tez. dokl. 5-go s'ezda VOP*, 1977, Vol. 1, Minsk, pp. 156–157.

25. Travnikova L.S., Myasnikov V.V., Osobennosti profilya glinistogo materiala pochv solontsovogo profilya limana B. Tsaryn (Peculiarities of the profile of clay material of soils in the solonchak profile of the B. Tsaryn estuary), *Pochvovedenie*, 1967, No. 10, pp. 127–137.

26. *Stok nanosov, ego izuchenie i geograficheskoe raspredelenie* (Sediment runoff, its study and geographical distribution), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1977, 240 p.

27. Khalcheva T.A., *Stepen' vyvetroelosti i usloviya formirovaniya raznovozrastnykh lessovykh gorizontov Russkoi ravniny: Avtoref. dis. ... kand. geogr. nauk* (The degree of weathering and conditions for the formation of uneven-aged loess horizons of the Russian Plain: Extended abstract of Cand. geogr. sci. thesis), Moscow, 1974, 31 p.

28. Chepalyga A.L., Pirogov A.N., Vliyanie vod Khvalynskogo basseina drevnego Kaspiya na formirovanie doliny Manycha i ego landshaftov (The influence of the waters of the Khvalynsky basin of the ancient Caspian Sea on the formation of the Manych valley and its landscapes), In: *Rol' osobo*

okhranyaemykh prirodnykh territorii v sokhraneniі bioraznoobraziya (The role of specially protected natural areas in the conservation of biodiversity), Rostov-na-Donu: Izd-vo Rost. un-ta, 2006, pp. 409–415.

29. Chizhikova N.P., Gradusov B.P., Travnikova L.S., Osobennosti profilei glinistogo materiala pochv Barabinskoi lesostepi v svyazi s ikh evolyutsiei (Peculiarities of profiles of clay material in soils of the Baraba forest-steppe in connection with their evolution), *Nauch. dokl. vyssh. shk. biol. nauk.*, 1973, No. 8, pp. 99–106.

30. Chizhikova N.P., Khitrov N.B., Samsonova A.A., Varlamov E.B., Churilin N.A., Rogovneva L.V., Cheverdin Yu.I., Mineraly trekhkomponentnoi pyatnistosti agrochernozemov Kamennoi Stepi (Minerals of three-component patchiness of agrochernozems of the Kamennaya Steppe), *Pochvovedenie*, 2017, No. 4, pp. 468–482.

31. Bar-On P., Shainberg J., Hydrolysis and decomposition of Na/montmorillonite in distilled water, *Soil Science*, 1970, Vol. 109, No. 4, pp. 241–246.

32. 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, Vol. 76, No. 7, pp. 803–832.

33. Cook H.E., Johnson P.D., Matti J.C., Zemmels I., Methods of sample preparation and X-ray diffraction data analysis, X-ray Mineralogy Laboratory, Deep Sea Drilling Project, University of California, Riverside, In: *Init. Repts.*, Washington: U.S. Govt. Printing Office, 1975, pp. 999–1007.

34. Egli M., Fitze P., Formulation of pedologic mass balance based immobile elements: a revision, *Soil Science*, 2000, Vol. 165, No. 5, pp. 437–443.

35. Kamil J., Sheinberg I., Hydrolysis of sodium montmorillonite in sodium chlorite solutions, *Soil Science*, 1968, Vol. 106, No. 3, pp. 193–199.

36. Chou L., Wollast R., Steady-state kinetics and dissolution mechanisms of albite, *American Journal of Science*, 1985, Vol. 285, pp. 963–993.

37. Smeck N.E., Wilding L.P., Quantitative evaluation of pedon formation in calcareous glacial deposits in Ohio, *Geoderma*, 1980, Vol. 24, Iss. 1, pp. 1–16.