

РЕНТГЕНОСТРУКТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МИНЕРАЛОГИИ ЛЁССОВЫХ ПОРОД ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ ЮГА РОССИИ

Н.М. Хансиварова, С.В. Левченко, О.С. Бондарева, А.Н. Леднев

*Южный федеральный университет, Институт наук о Земле,
344090, Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 40, Россия*

Изучение минералогии дисперсных пород имеет важное значение не только для понимания механизмов гипергенеза, но и для решения проблем экологии и природопользования, а также многих задач инженерной геологии, связанных с оценкой надежности пород как оснований зданий и сооружений. Именно состав минералов, их количество, характер взаимодействия между ними формируют инженерно-геологические свойства грунтовых массивов, обуславливая их возможность выдерживать значительные механические нагрузки. Кроме того, глинистые минералы твердой фазы контролируют процессы массопереноса, определяющие характер и степень загрязнения основных компонентов геологической среды — горных пород и подземных вод. Дисперсные породы широко распространены на планете Земля. Среди них выделяется особая группа — лёссовые породы, которая отличается рядом генетических, литологических, инженерно-геологических, стратиграфических и геоморфологических признаков. Обширные территории распространения лёссовых пород отмечаются на всех континентах. В России лёссовые породы покрывают значительные пространства не только юга страны, но и Западной Сибири, юга Восточной Сибири, Дальнего Востока, Забайкалья и других районов. Цель работы — по результатам выполненного авторами рентгеноструктурного анализа охарактеризовать минералогический состав лёссовых и лёссовидных пород европейской части юга России с учетом сведений, полученных ранее другими исследователями. Используются методы: рентгеноструктурный анализ, химические методы, стандартные методики изучения физических свойств и гранулометрического состава дисперсных пород. В результате изучен минералогический состав лёссовых пород четвертичного возраста трех областей, занимающих водораздельные пространства юго-восточной части Русской равнины; проведен сравнительный анализ с ранее выполненными исследованиями; приведена обобщенная характеристика минералогии лёссовых толщ. Полученные результаты могут быть использованы при изучении геологических, инженерно-геологических и геоэкологических особенностей территорий, сложенных лёссовыми породами.

Лёссовые и лёссовидные породы, минералогический состав, глинистые минералы, фракции, рентгенограммы, кластогенные минералы

MINERALOGY OF LOESS IN SOUTHERN EUROPEAN RUSSIA: X-RAY DIFFRACTION DATA

N.M. Khansivarova, S.V. Levchenko, O.S. Bondareva, A.N. Lednev

The mineralogy of loess and loess-like sediments has important implications for the mechanisms of postdepositional alteration, as well as for environmental and geotechnical issues. The geotechnical properties of soils, their mechanical strength, and the bearing capacity of the soil foundations depend on the mineral species, their percentages, and relationships. Clay minerals control the mass transport processes which have bearing on pollution of ground and water. Loess covers vast territories on all continents, including southern Russia, West Siberia, southern East Siberia, the Russian Far East, Transbaikalia, and other regions. Loess and loess-like sediments have specific genetic, lithologic, geotechnical, stratigraphic, and geomorphic features. The mineralogy of Quaternary loess has been studied by X-ray diffraction, chemical, and particle size analyses, following the standard techniques, with reference to earlier published evidence. The study area comprises three watershed provinces in the southeastern Russian Plain (southern European Russia). The results have geotechnical and environmental applications for loess provinces.

Loess, loess-like sediments, mineralogy, clay minerals, detrital minerals, size fractions, XRD images

ВВЕДЕНИЕ

В современной нормативной и научной литературе широко используются термин «лёсс» и его производные: «лёссовая порода», «лёссовидная порода», «лёссолит», «лёссовая тоща» и др. [Морозов, 1956; Ларионов, 1971; Ананьев, Коробкин, 1980; Галай, 1984; Кригер, 1986; Сергеев и др., 1986а; 1986б; Трофимов, 1992; Трофимов и др., 2001]. Однозначного понимания содержания подавляющей части этих тер-

минов нет, и вопрос не теряет своей дискуссионности. В связи с этим считаем необходимым дать пояснение авторского понимания терминов лёссоведения, которые используются в настоящем сообщении:

- лёссовые породы — дисперсные песчано-глинисто-пылеватые континентальные образования различного генезиса, представлены преимущественно суглинками, реже — супесями и глинами и обладающие следующими признаками: светлая палево-желтая или желто-бурая окраска; высокая пылеватость (содержание фракции 0.05—0.005 мм; более 50 % при незначительном содержании (12—17 %) глинистых частиц; низкие значения числа пластичности (обычно не выше 12); низкая плотность скелета грунта (преимущественно менее 1.5 г/см³); высокая пористость (более 45 %) с системой мелких и крупных макропор размером 1—3 мм; невысокая естественная влажность (менее 20 %); высокое содержание карбонатов (до 25—35 %) и водорастворимых солей (до 5 %); низкая водопрочность; способность в маловлажном состоянии держать вертикальные откосы; способность проявлять просадочные свойства при повышении влажности под действием собственного веса или дополнительной внешней нагрузки;

- лёссовидные породы — часть лёссовых пород — дисперсные песчано-глинисто-пылеватые континентальные образования различного генезиса представлены суглинками, супесями, глинами и обладающие следующими признаками: темный бурый или красновато-бурый цвет, отчетливая слоистость, часто содержат обломки различных пород; в гранулометрическом составе наблюдается более высокое по сравнению с лёссовыми породами содержание глинистых частиц; относительно низкая пористость (до 40 %); значительно более высокая плотность по сравнению с лёссовыми породами (1.8—1.9 г/см³); отсутствие просадочных свойств при природном давлении и проявление их при дополнительном давлении.

Термин «дисперсные породы» является обобщающим и употребляется авторами применительно к региону исследований, если имеются в виду как лёссовые в целом, так и лёссовидные породы в частности.

Значительное распространение лёссовых пород отмечается в Европе (Румыния, Венгрия, Болгария, Германии, Франция, Австрия и др.). В Северной Африке лёссовые породы наиболее часто встречаются в Алжире и Марокко, а на Азиатском континенте — в Китае, Афганистане. Обширные территории сложены лёссовыми толщами в Северной и Южной Америке (в США — штаты Канзас, Иллинойс, Айова, Миннесота, бассейны рек Миссури и Миссисипи; в Канаде, в Аргентине, Бразилии, Уругвае). Широко развиты лёссовые отложения и на Австралийском континенте. Еще в XVIII в. жители Рейнской долины, в пределах которой залегают глинистые породы с большим содержанием пылеватых частиц, обратили внимание на то, что при замачивании происходит как бы «растворение» этих грунтов. Однако процесс их взаимодействия с водой является более сложным [Гильман, 1991].

Минералогический состав лёссовых пород четвертичного и неогенового возраста европейской части юга России детально изучен В.П. Ананьевым, В.И. Коробкиным [1980], Л.Г. Балаевым, Н.В. Царевым [1964], Б.Ф. Галаем [1984], А.К. Ларионовым [1971], Е.М. Сергеевым [Сергеев и др., 1986; Лёссовые породы..., 1986], В.Т. Трофимовым [Лёссовый покров..., 2001; Опорные..., 2008] и другими исследователями. Ими установлено, что лёссовые породы — полиминеральные образования. В их состав входит большое число минералов, но основными порообразующими являются кварц, полевые шпаты, карбонаты, изредка слюды. Вторичные коллоидно-дисперсные минералы и минералы новообразования присутствуют в меньшем количестве. Лёссовые породы из различных районов европейской части юга России имеют примерно одинаковый состав как глинистых минералов, так и второстепенных. Однако в каждой области отмечается своеобразное количественное сочетание минералов. Кроме того, для каждой области характерно присутствие среди второстепенных минералов их типичных представителей, которые не встречаются в других областях, а каждая фракция содержит определенный комплекс минералов.

Последние крупные региональные исследования минералогического состава лёссовых пород европейской части юга России датируются началом 80-х годов прошлого столетия [Ананьев, Коробкин, 1980]. В настоящее время имеются ограниченные сведения об отдельных работах по изучению минералогии глин южного региона с целью их использования в качестве строительных материалов или гончарного производства [Талпа, Котляр, 2015]; для исследования закономерностей генезиса и географии почв при эволюции дисперсных почвообразующих пород и др. [Песочина, 2004; Макеев, Добровольский, 2012]. Таким образом, детальные минералогические исследования лёссовых пород по опорным разрезам (особенно на урбанизированных территориях) с частым отбором проб не проводились в течение последних 40 лет. Исключение составляет работа К.М. Седаевой [2017], посвященная изучению минералогических особенностей пород верхнего плейстоцена и голоцена Приазовья.

При выполнении исследований нами был проанализирован ряд публикаций, содержащих результаты и обобщения полевых и лабораторных данных по некоторым типичным лёссовым территориям. Данные сообщения в основном описывают методики изучения просадочных свойств лёссовых пород, применяемые зарубежными специалистами, в том числе для проектирования различных объектов строительства [Delage et al., 2005; Principles...2011; Delage, 2011; Howayek et al., 2011; Rezaei et al., 2012]. Примечательно, что в хронологическом порядке первой работой, на которую ссылаются зарубежные авторы, является отечественная публикация Н.Я. Денисова [1953].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Отбор образцов лёссовых пород осуществлялся из технических скважин, пробуренных на 14 площадках проектируемого строительства промышленных и гражданских объектов, при проведении инженерно-геологических изысканий. Глубина скважин составляла от 5 до 30 м, бурение осуществлялось установкой УГБ-50 М, отбор проб производился грунтоносами нормального ряда. Лабораторные исследования включали:

- определение физических свойств лёссовых пород (влажность, плотность, пределы пластичности по стандартным методикам [ГОСТ 5180-2015];
- определение гранулометрического и микроагрегатного составов, а также разделение пород на фракции в соответствии с принятыми методиками [ГОСТ 12536-14];
- исследование вещественного состава химическими [ГОСТ 34467-2018; ГОСТ 26423-85] и рентгеноструктурными методами [Рентгеновские методы..., 1965].

Минералогические исследования проводились по фракциям: 0.25; 0.05; 0.01; 0.005; 0.001 мм. Каждая фракция подвергалась рентгеноструктурному анализу на рентген-дифрактометре ДРОН-3. Для анализа готовились образцы естественных пород и ориентированные препараты, насыщенные глицерином и прокаленные при температуре 600 °С в течение 4 ч [Рентгеновские методы..., 1965]. Из каждой фракции снималось 5—6 рентгенограмм. Количественное определение минералов выполнялось «методом без стандартов». Для иллюстрации приводится описание характерных рентгенограмм плейстоценовых суглинков, отобранных на площадках крупных городов европейской части юга России.

Данные о составе и содержании водно-растворимых минералов, полученные авторами при исследовании водных и солянокислых вытяжек из грунтов, дополнены сведениями, обобщающими 300 анализов из материалов выполненных инженерно-геологических изысканий.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Нами проведено определение минералогического состава по нескольким разрезам лёссовых пород урбанизированных территорий. Представлен сравнительный анализ содержания кластогенных и глинистых минералов суглинков четвертичного возраста трех областей: северо-востока Причерноморской низменности; Азово-Кубанской низменности и Терско-Кумской низменности (рис. 1).

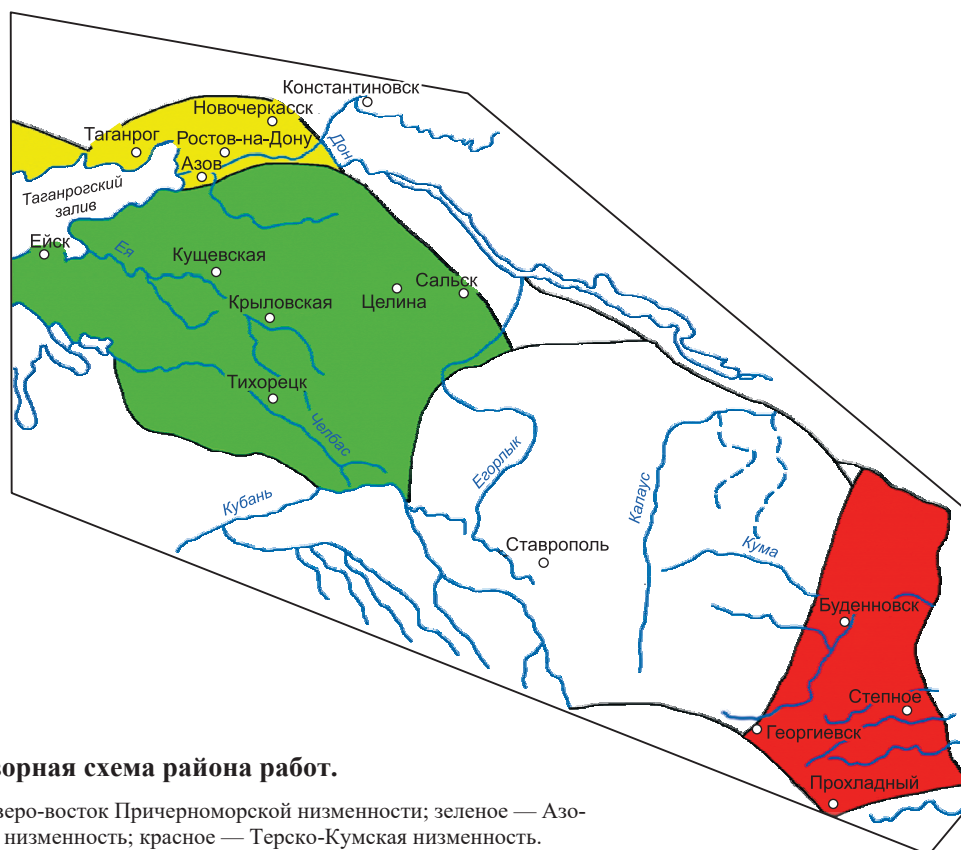


Рис. 1. Обзорная схема района работ.

Желтое — северо-восток Причерноморской низменности; зеленое — Азово-Кубанская низменность; красное — Терско-Кумская низменность.

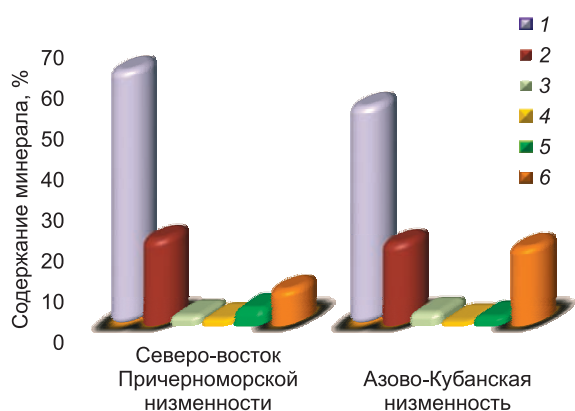


Рис. 2. Среднее содержание кластогенных минералов в породе.

1 — кварц, 2 — полевые шпаты, 3 — слюды, 4 — гипс, 5 — карбонаты, 6 — тяжелые минералы.

Ниже приводится краткая минералогическая характеристика пород, залегающих в пределах выделенных областей (преимущественно урбанизированных) юга России (см. рис. 1).

Лёссовые породы северо-востока Причерноморской низменности характеризуются наличием кварца, полевых шпатов, карбонатов, слюды, гипса, тяжелых минералов. В кластогенной части преобла-

дает кварц и полевые шпаты. Аутигенные минералы представлены гипсом, кальцитом и доломитом.

Нами установлено содержание кварца 63 %. Количественное соотношение других минералов кластогенной части показано на рис. 2.

Пылеватая и глинистые фракции пород представлены в основном монтмориллонитом, каолинином, гидрослюдой, кварцем, карбонатами, органическим веществом.

На рентгенограммах фракции 0.25 мм тяжелого лёссовидного суглинка отмечаются четкие пики кварца (4.25; 3.34; 2.13; 1.82 Å), кальцита (3.02 Å). Рефлексы полевых шпатов подавлены кварцем (рис. 3, а).

По данным авторов на рентгенограммах фракции 0.05 мм тяжелого лёссовидного суглинка отмечаются выраженные пики кварца (4.25; 3.34 Å), каолинита (7.14. Å) и монтмориллонита (14.2 Å) (см. рис. 3, б). Во фракции < 0.001 мм легкого суглинка присутствуют монтмориллонит (15.7 Å), гидрослюда (5 Å), каолинит (7.14; 3.56 Å), кварц (3.34; 4.26 Å). При сольватации глицерином происходит четкое смещение рефлекса монтмориллонита до 17.8 Å (рис. 4).

Количественное соотношение глинистых минералов во фракции < 0.001 мм приведено на рис. 5.

Содержание глинистых минералов в лёссовых породах выделенных областей приведено в табл. 1.

Водорастворимые минералы представлены гипсом, эпсомитом и тенардитом, из которых наиболее устойчивым является гипс. Он встречается в виде кристаллов, а также мелких и крупных друз. Для пород наиболее характерны сульфатно-натриево-кальциевый, сульфатно-кальцево-магниевый и сульфатно-кальцево-натриевый типы засоления. Менее распространены гидрокарбонатно-натриевый и гидрокарбонатно-кальциевый типы (табл. 2).

Лёссовые породы Азово-Кубанской низменности состоят из кварца, количество которого в среднем достигает 54 %, полевых шпатов 20 %, кальцита 2 %. Среди полевых шпатов наиболее распространен ортоклаз, кислые плагиоклазы и микроклин. Тяжелые минералы представлены силикатами, оксидами и гидроксидами. Их содержание изменяется от 1.5 до 2.0 %. Среди неустойчивых к выветриванию

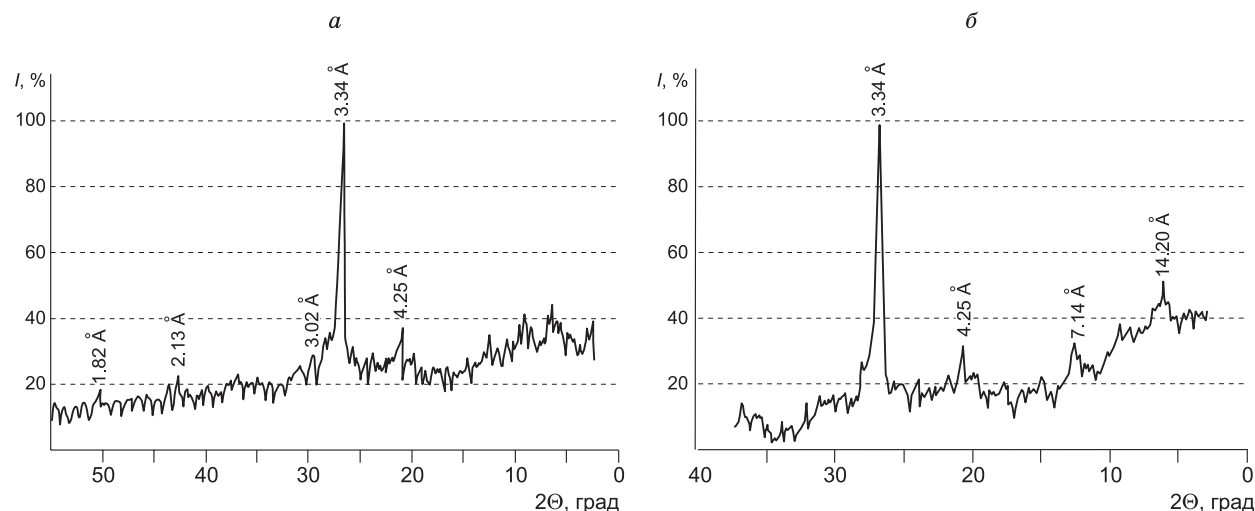


Рис. 3. Рентгенограммы фракции 0.25 мм (а) и 0.05 мм (б) тяжелого лёссовидного суглинка северо-восточной части Причерноморской низменности.

Рис. 4. Рентгенограммы фракции < 0.001 мм легкого лёссового суглинка северо-восточной части Причерноморской низменности.

1 — исходный образец; 2 — гликолированный образец.

определены эпидот, амфибол и пироксен. Преобладает обыкновенная роговая обманка. Кроме указанных минералов наблюдаются биотит, апатит, доломит. В составе устойчивых минералов зафиксированы гранат и циркон. Среди глинистых минералов преобладающими являются гидрослюда, монтмориллонит, каолинит. Они составляют 85–90 % глинистой фракции (см. табл. 1). На рентгенограмме фракции 0.005 мм тяжелого лёссовидного суглинка четко выражены рефлексы гидрослюда (10; 4.98 Å), каолинита (7.14; 3.56 Å), кварца (4.25; 3.34 Å), несколько слабее — монтмориллонитов (14,7 Å). Наблюдаются слабые пики полевых шпатов (2,55 Å) (рис. 6, а). Во фракции <0.001 мм легкого лёссового суглинка присутствуют гидрослюда (5.0; 10.0 Å), кварц (3.34 Å) (см. рис. 6, б).

Характерно присутствие в лёссовых породах региона большого количества карбонатных стяжений в виде так называемой «белоглазки». На рисунке 7 приведена полученная авторами рентгенограмма карбонатных стяжений «белоглазка», извлеченных из легкого лёссового суглинка на территории Азово-Кубанской низменности. На рентгенограмме отмечаются четкие, интенсивные пики мусковита (9.98 Å), кварца (4.26; 3.03; 1.82 Å), галита (3.23 Å), кальцита (3.86; 2.49; 2.28; 2.09; 1.91 Å).

На рисунках 2 и 5 представлены соотношения глинистых и кластогенных минералов в дисперсных породах северо-востока Причерноморской низменности и Азово-Кубанской.

На описываемой территории преимущественное развитие получили породы с сульфатно-кальциево-магниево-натриевым типом засоления. Менее развиты породы с сульфатно-натриевыми, еще реже встречаются гидрокарбонатно-кальциевый и хлоридно-натриевые типы (табл. 3).

Лёссовые породы Терско-Кумской низменности состоят в основном из кварца (30 %), полевых шпатов (25 %), карбонатов (5 %) и некоторых других минералов. Полевые шпаты представлены ортоклазом, кислыми плагиоклазами и микроклином. Минералы тяжелой фракции составляют незначительную часть породы, однако характерно большое разнообразие видов. Наиболее часто встречаются биотит, мусковит, хлорит, ильменит, циркон, магнетит, рутил, пироксены, амфиболы, эпидот и др. (см. табл. 1).

В глинистых и пылеватых фракциях наблюдаются гидрослюда, каолинит, бейделлит, органическое вещество, а из примесей — глауконит, монтмориллонит, гипс, кальцит и минералы полуторных оксидов. Преобладающими в породах являются гидрослюда и каолинит. На рентгенограммах фракции 0.05 мм тяжелого лёссовидного суглинка отмечаются пики кварца (4.24; 3.34; 2.26; 2.1 Å), каолинита (7.14; 3.56 Å), гидрослюда (10 Å). Рефлексы полевых шпатов выражены нечетко (рис. 8, а). На рентгенограммах фракции 0.01 мм тяжелых лёссовидных суглинков наблюдаются четкие, интенсивные пики кварца (4.25; 3.34 Å), каолинита (7.14; 3.56 Å), кальцита (3.04; 2.09 Å), гидрослюда (10.0; 4.98 Å). Несколько ниже отмечены интенсивные пики хлорита (1.99; 2.49 Å), монтмориллонита (предположительно бейделлита) (14.7 Å) (см. рис. 8, б).

Для данной области характерно самое высокое содержание карбонатов. В северо-западном направлении их количество снижается. Преимущественное развитие получили породы с сульфатно-кальциевым, сульфатно-кальциево-магниево-натриевым, сульфатно-натриево-кальциевым, гидрокарбонатно-натриевым, гидрокарбонатно-кальциевым типом засоления (см. табл. 3).

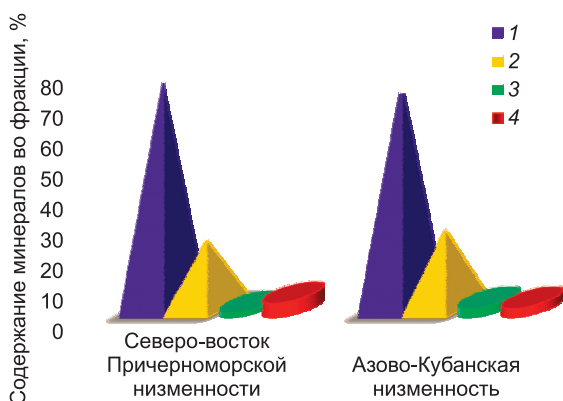


Рис. 5. Среднее содержание глинистых минералов во фракции < 0.001 мм.

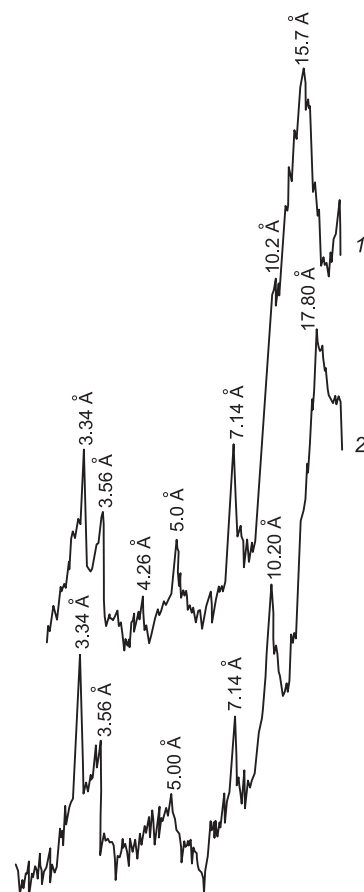


Таблица 1.

Содержание минералов в лёссовых породах областей (%)

Область		
Северо-восток Причерноморской низменности	Азово-Кубанская низменность	Терско-Кумская низменность
Общее содержание в породе		
Кварц 90—95*; 64—84 **; 63	Кварц 39—72*; 54	Кварц 20—40*; 30
Полевые шпаты 5—10*; 26—36**; 21	Полевые шпаты 10—20*: ортоклаз, кислые плагиоклазы, микроклин; 20	Полевые шпаты 20—25*: ортоклаз, кислые плагиоклазы и микроклин; 25
Карбонаты 9.6*; от 0 до 2—5 [Седаева, 2017]; 4	Карбонаты 0—25* (кальцит); 2	Карбонаты 10—20* (максимум); 5
Общее содержание тяжелых минералов 1.3*; 8.6	Общее содержание тяжелых минералов 1.5—2*; 19 Обыкновенная роговая обманка 7—22*; базальтическая роговая обманка 2—3*; магнетит 3—5*.	Незначительно, большое разнообразие видов: биотит, мусковит, хлорит, ильменит, циркон, магнетит, рутил, пироксены, амфиболы, эпидот
Гипс 0.3—1.7*; от 0 до 15—24**; 1.5	Гипс 3—5*; 1	Гипс 7—9*; 2
Слюда 0.5—3.0*; 2.3	Слюда 1—5*; 3	Слюда 0.5—2.0*; 2.5
Глинистая фракция		
Гидрослюда 15—65*; 72.6	Гидрослюда 31—72*; 69*	Гидрослюда 80*; 54
Монтмориллонит 20—75*; 21.6	Монтмориллонит 16—56*; 25	Бейделлит 10—60*; 26
Каолинит 1—10*; сл** 1.6	Каолинит 0—8*; 3	Каолинит 1—2*; 1.5
Хлорит 0.5—3.5*; 4.6	Хлорит ед*; 3	Хлорит 1—5*; 3.5
Прочие: кварц, ферриглаузит, гидрогетит, гётит, гидрогематит, кальцит, органическое вещество		Бейделлит, органическое вещество; примеси: глауконит, монтмориллонит, гипс, кальцит и минералы полуторных оксидов*.

Примечание. Полужирным шрифтом выделены данные по результатам проведенных авторами исследований.

* Данные В.П. Ананьева [Ананьев, Коробкин, 1980; Ананьев, Потапов, 2000].

** Данные К.М. Седаевой.

Таблица 2.

Распределение минералов в дисперсных породах по разрезу грунтовых толщ

Область/возраст пород	Северо-восток Причерноморской низменности	Азово-Кубанская низменность	Терско-Кумская низменность
Современные (Q ₄)	Монтмориллонит, гидрослюда	—	—
Верхний плейстоцен (Q ₃)	Гидрослюда, каолинит	Гидрослюдисто-монтмориллонитовый	Гидрослюдисто-бейделлитово-каолинитовый
Средний плейстоцен (Q ₃)	Монтмориллонит, гидрослюда	—	Гидрослюдисто-бейделлитово-монтмориллонитовый
Нижний плейстоцен (Q ₃)	Гидрослюда, каолинит	Монтмориллонито-гидрослюдистый	Гидрослюдисто-каолинитовый
Погребенные почвы	Монтмориллонит	—	—

Таблица 3.

Типы засоления лёссовых пород областей

Область		
Северо-восток Причерноморской низменности	Азово-Кубанская низменность	Терско-Кумская низменность
Сульфатно-кальциево-магниевый; сульфатно-натриевый; гидрокарбонатно-кальциевый, хлоридно-натриевый	Сульфатно-натриево-кальциевый, сульфатно-кальциево-магниевый, сульфатно-кальциево-натриевый; гидрокарбонатно-натриевый, гидрокарбонатно-кальциевый	Сульфатно-кальциевый, сульфатно-кальциево-магниевый, сульфатно-натриевый, сульфатно-натриево-кальциевый, гидрокарбонатно-натриевый, гидрокарбонатно-кальциевый

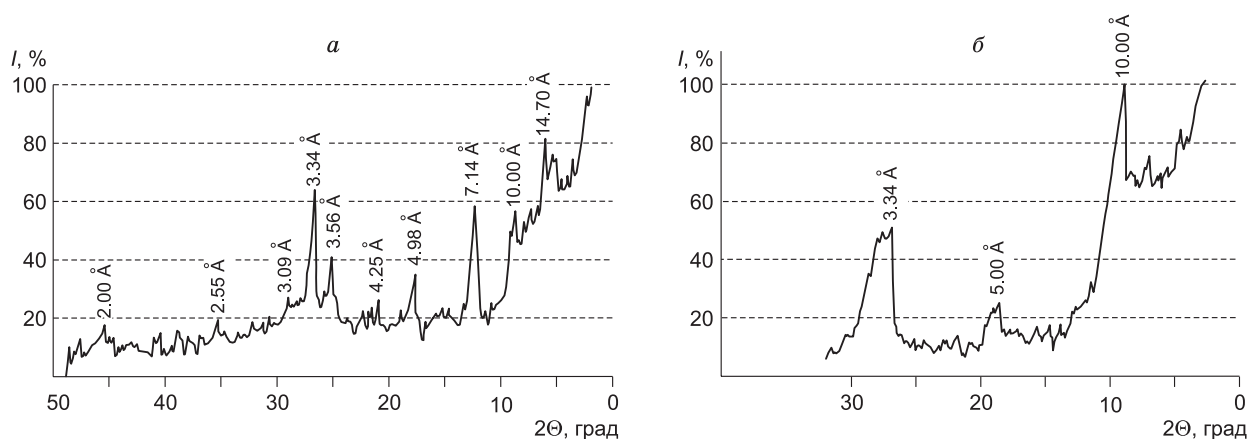


Рис. 6. Рентгенограммы фракций 0.005 мм (а) и < 0.001 мм (б) тяжелого лёссовидного суглинка Азово-Кубанской низменности.

В вертикальном отношении дисперсные породы отличаются изменчивостью состава. В современной почве северо-востока Причерноморской низменности преобладают монтмориллонит, гидрослюда; в верхнеплейстоценовых суглинках — гидрослюда, каолинит; в среднеплейстоценовых — монтмориллонит, гидрослюда; в нижнеплейстоценовых — гидрослюда, каолинит. Ископаемые почвы независимо от возраста содержат в основном монтмориллонит (см. табл. 2).

В разрезах лёссовых массивов Азово-Кубанской низменности верхне- и среднеплейстоценовые породы характеризуются гидрослюдисто-монтмориллонитовым составом; нижнеплейстоценовые — монтмориллонито-гидрослюдистым (см. табл. 2).

В вертикальном разрезе Терско-Кумской низменности выделяются породы гидрослюдисто-бейделлитово-каолинитового состава в верхнеплейстоценовых отложениях; гидрослюдисто-бейделлитово-монтмориллонитового — в среднеплейстоценовых и гидрослюдисто-каолинитового — в нижнеплейстоценовых отложениях (см. табл. 2).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В пределах юга европейской части России наибольшее распространение получил комплекс субаэральных дисперсных пород четвертичного возраста [Инженерная геология..., 2011]. Грунтовые толщи данного комплекса имеют значительную мощность, представлены дисперсными связными и несвязными породами различного литологического состава, состояния, структуры и свойств. Отличительной чертой геологии южного региона является наличие в разрезе 3—5 ярусов погребенных почв нижне-, средне- и верхнечетвертичного возраста.

Предыдущими исследованиями установлено, что в лёссовых породах юга России основными глинистыми минералами являются гидрослюда — трехслойные диоктаэдрические силикаты [Балаев, Царев, 1964; Ларионов, 1971; Ананьев, Коробкин, 1980]. Они представлены мусковитом, реже биотитом [Ананьев, Коробкин, 1980; Опорные..., 2008; Седаева, 2017]. Наряду с гидрослюдами присутствуют монтмориллонит, каолинит и хлорит. Кроме «типичного» монтмориллонита в дисперсных породах могут находиться нонтронит и бейделлит, а также смешанослойные образования различных типов [Ларионов, 1971; Ананьев, Коробкин, 1980; Опорные..., 2008; Седаева, 2017]. Поверхность минералов, входящих в состав дисперсных пород региона, изменена в результате выветривания, действия грунтовых вод и других факторов. Измененные по-

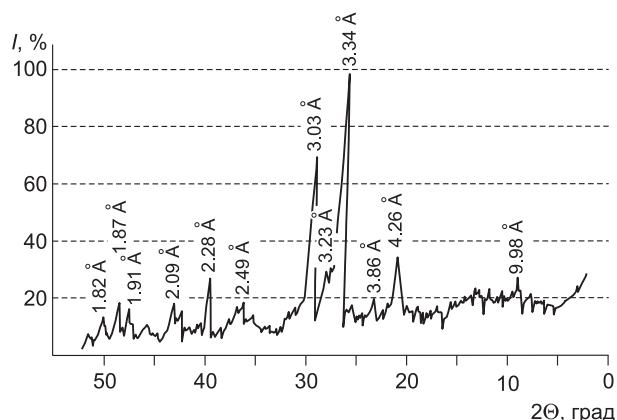


Рис. 7. Рентгенограмма «белоглазки» из легкого лёссового суглинка Азово-Кубанской низменности.

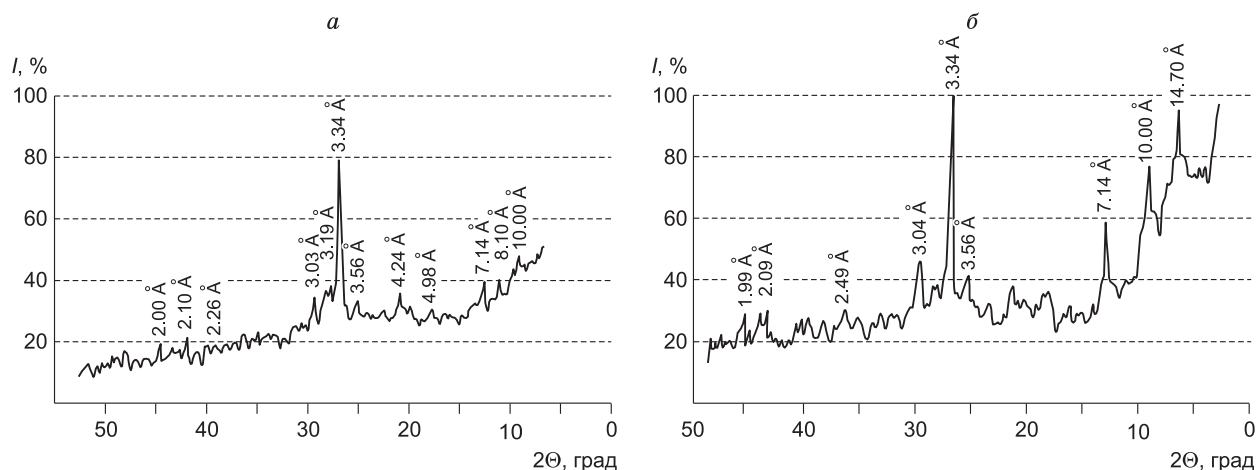


Рис. 8. Рентгенограммы фракций 0.05 мм (а) и 0.01 мм (б) тяжелого лёссовидного суглинка Терско-Кумской низменности.

верхности зерен кварца, полевых шпатов зачастую покрыты тонкими пленками из аллофанов, глинистых минералов, аморфного кремнезема, полуторных оксидов.

В лёссовых породах наблюдаются карбонаты [Балаев, Царев, 1964; Ларионов, 1971; Ананьев, Коробкин, 1980; Песочина, 2004; Маккев, 2012; Лессовые породы..., 1986; Седаева, 2017]. Большинство исследователей считают, что карбонаты являются вторичными образованиями. В.П. Ананьев в составе карбонатов выделял их кластогенные зерна и вторичные карбонаты [Ананьев, Коробкин, 1980]. Кластогенные карбонаты немногочисленные и встречаются во фракции > 0.25 мм в виде зерен со следами окатанности. Вторичные карбонаты присутствуют в виде бесформенных агрегатов, конкреций, инкрустаций макропор и трещин. Кроме того, карбонаты наблюдаются в виде тонкодисперсной массы. Для изучаемых пород характерны такие включения карбонатов, как «белоглазка». По данным В.П. Ананьева, наиболее значительная доля карбонатов концентрируется в составе пылеватых фракций (0.01—0.005 мм). Глинистая фракция (< 0.001 мм) содержит в среднем 0.1—10.4 % всех карбонатов породы [Ананьев, Коробкин, 1980]. Минералогический состав карбонатов следующий: кальцит, доломит, сидерит и арагонит. «Белоглазка» состоит из кальцита и доломита с примесью пелита и мелкозернистого материала в виде кварца, гипса, галита, коллоидного кремнезема.

Из легко- и среднерастворимых минералов-солей в лёссовых породах присутствуют гипс, эпсомит, бишофит, галит, тенардит, мирабилит. В.П. Ананьев указывает, что кроме перечисленных минералов в дисперсных породах фиксируются легкорастворимые в воде карбонаты и бикарбонаты, которые входят в основном в состав поровых растворов. Содержание гипса, эпсомита и тенардита может достигать 3—5 %, а в среднем составляет 0.5—2.0 %. Галит в породах не превышает 0.5 %. Из перечисленных минералов наиболее устойчивым является гипс, который встречается в кристаллах, иногда довольно крупных, друзах и наблюдается в стяжениях в виде дисперсной массы. Тенардит, мирабилит и эпсомит хорошо растворяются в воде и поэтому кристаллы отмечены только в засушливых районах [Ананьев, Коробкин, 1980]. В основном эти минералы распространены в виде дисперсной массы в маловлажных грунтах. Состав водно-растворимых соединений определяет степень засоления дисперсных пород.

Проведенные ранее исследования показали, что пылеватая и глинистая фракции пород представлены следующими ассоциациями: монтмориллонитом, каолинитом, ферриглаузитом, гидрослюдой, гидрогетитом, гётитом, гидрогематитом, кальцитом, кварцем, органическим веществом [Ананьев, Коробкин, 1980].

Из раздела «Результаты исследований» следует, что полученные авторами результаты минералогического изучения лёссовых пород не противоречат сведениям других исследователей. На территориях всех перечисленных областей минералами песчаной, пылеватой фракций и пород в целом являются кварц, полевые шпаты, карбонаты, гипс, слюды. Это подтверждается всеми проанализированными литературными источниками [Балаев, Царев, 1964; Ларионов, 1971; Ананьев, Коробкин, 1980; Опорные..., 2008; Седаева, 2017]. По данным В.П. Ананьева, из тяжелых минералов в незначительных количествах присутствуют роговая обманка, эпидот, гранат, циркон, турмалин, рутил [Ананьев, Коробкин, 1980; Ананьев, Потапов, 2000].

В лёссовых породах региона количество кварца уменьшается с северо-запада на юго-восток, а именно с 90—95 % в пределах северо-востока Причерноморской низменности до 39—72 % на Азово-

Кубанской низменности и 20—40 % на территории Терско-Кумской низменности [Ананьев, Коробкин, 1980; Ананьев, Потапов, 2000]. Результаты, полученные авторами настоящего сообщения, данную закономерность подтверждают, однако они отличаются в количественном соотношении (см. табл. 1).

В содержании полевых шпатов отмечается противоположная направленность. Оно увеличивается с северо-запада на юго-восток: с 5—10 % на Причерноморской низменности до 10—20 % (Азово-Кубанская низменность) и до 20—25 % (Терско-Кумская низменность) [Ананьев, Коробкин, 1980; Ананьев, Потапов, 2000]. Наши данные в целом согласуются с полученными ранее.

Известно, что количество карбонатов в дисперсных породах Терско-Кумской низменности может достигать 20 %, что составляет максимум для региона [Ананьев, Коробкин, 1980; Ананьев, Потапов, 2000]. В наших исследованиях содержание карбонатов почти в 2.5 раза превышает их количество на территории Азово-Кубанской низменности и выше, зафиксированных в пределах северо-востока Причерноморской низменности.

Следует отметить, что данные о количестве кварца, полевых шпатов и карбонатах, полученные авторами, в наибольшей степени согласуются с результатами К.М. Седаевой [2017].

По данным литературных источников, имеются различия в ассоциации тяжелых минералов Азово-Кубанской и Терско-Кумской низменностей. В дисперсных породах первой преобладают апатит, доломит, в достаточно большом количестве разновидности роговых обманок. Кроме того, наблюдаются гранат, дистен, ставролит, силлиманит. Перечисленные минералы отсутствуют в породах Терско-Кумской низменности или зафиксированы в крайне низком количестве. В породах Азово-Кубанской низменности отмечается отсутствие или ничтожное содержание мусковита, хлорита, рутила, характерных для Терско-Кумской низменности [Ананьев, Коробкин, 1980; Ананьев, Потапов, 2000]. Результаты, полученные нами, показали достаточно ровное содержание хлорита во всех областях. Данная закономерность характерна также для слюд и гипса, что подтверждается многими исследователями [Балаев, Царев, 1964; Ларионов, 1971; Ананьев, Коробкин, 1980; Опорные..., 2008]. Следует отметить, что по некоторым разрезам в пределах Северного Приазовья К.М. Седаевой получено содержание гипса 15 и 24 % [Седаева, 2017]. Общее содержание тяжелых минералов, по данным В.П. Ананьева, в 2 раза ниже в пределах северо-востока Причерноморской низменности по сравнению с Азово-Кубанской низменностью [Ананьев, Коробкин, 1980], что подтверждают и наши результаты.

По материалам всех проанализированных авторами работ, в пределах северо-востока Причерноморской и Азовской низменностей ведущими глинистыми минералами являются гидрослюда, каолинит и монтмориллонит [Балаев, Царев, 1964; Ларионов, 1971; Ананьев, Коробкин, 1980; Опорные... 2008; Седаева, 2017]. По данным В.П. Ананьева, Терско-Кумская низменность отличается отсутствием монтмориллонита и наличием бейделлита среди преобладающих глинистых минералов. Нами на рентгенограмме фракции 0.005 мм тяжелого лёссовидного суглинки были отмечены нечеткие пики (14.7 Å), которые свидетельствуют о наличии минералов группы монтмориллонита, а именно монтмориллонита, бейделлита и нонтронита. Известно, что нонтронит встречается довольно редко [Ананьев, Коробкин, 1980]. В минералогическом составе глинистой фракции пород Терско-Кумской низменности наблюдается небольшое преимущество в содержании гидрослюда и хлорита по сравнению с породами двух других областей при несущественном преобладании монтмориллонита в породах Причерноморской низменности. Нами выявлено двукратное превышение количества каолинита на территории Азово-Кубанской низменности по сравнению с другими областями, однако, по сведениям В.П. Ананьева, содержание данного минерала в пределах Причерноморской и Азово-Кубанской низменностей не имеет существенного различия при его значительном уменьшении в лёссовых толщах Терско-Кумской низменности [Ананьев, Коробкин, 1980].

Закономерность распределения карбонатов по ярусам дисперсных пород не установлена. Это связано с климатическими условиями региона, гидрогеологическим режимом грунтовых толщ, характером подстилающих пород. Закономерность распределения гипса не установлена. На всех территориях отмечаются подпочвенные горизонты с повышенным содержанием гипса, эпсомита и тенардита.

В отличие от предыдущих исследований [Балаев, Царев, 1964; Ларионов, 1971; Ананьев, Коробкин, 1980; Опорные..., 2008], в изученных разрезах наблюдается незначительное содержание хлорида натрия. Оно в среднем составляет 0.1—0.3 % и, как правило, не превышает 0.5 %.

Результаты анализов водных и соляно-кислых вытяжек из грунтов подтвердили неравномерное распределение легко- и среднерастворимых минералов по площади и разрезу. Водно-растворимые минералы встречаются в дисперсных породах независимо от их возраста. Закономерности в их распределении не установлены. Однако прослеживается тенденция к увеличению количества минералов с северо-запада на юго-восток.

Однообразие минералогического состава отмечается и по вертикальному разрезу дисперсных пород. С ростом дисперсности в породах уменьшается содержание кварца, полевых шпатов и увеличивается количество глинистых минералов. Каждая фракция имеет определенный комплекс минералов.

Типы засоления не привязываются к определенным литологическим разновидностям пород. Таким образом, дисперсным породам европейской части юга России свойственно многообразие химических условий среды.

ВЫВОДЫ

С использованием рентгеноструктурного метода изучен минералогический состав лёссовых пород, имеющих широкое распространение на водораздельных пространствах юго-восточной части Русской равнины, а именно юго-востока Причерноморской, Азово-Кубанской и Терско-Кумской низменностей. В отличие от работ, выполненных в шестидесятых–восемидесятых годах прошлого века и ограниченных в основном глубинами 5.0—12.0 м, настоящие исследования проведены преимущественно на урбанизированных территориях и охватывают всю мощность залегания лёссовых пород до глубин 5—30 м.

Установлено, что на всех перечисленных выше водоразделах лёссовые породы по всей мощности характеризуются полиминеральностью: песчаная, пылеватая фракции и породы в целом содержат кварц, полевые шпаты, карбонаты, гипс, эпсомит, тенардит, слюды. Редко встречается хлорид натрия. Из тяжелых минералов в незначительных количествах присутствуют роговая обманка, эпидот, гранат, циркон, турмалин, рутил. В пылевой и глинистой фракциях присутствуют гидрослюда, каолинит, бейделлит, нонтронит и монтмориллонит.

Сопоставление полученных результатов с литературными источниками прошлых лет [Балаев, Царев, 1964; Ларионов, 1971; Ананьев, Коробкин, 1980; Опорный..., 2008; Седаева, 2017] показало определенное совпадение по составу минералов. Отмечены различия в их количестве и распределении на разных территориях при общей сохраняющейся тенденции в уменьшении кварца с северо-запада на юго-восток и увеличении количества полевых шпатов в этих же направлениях. Из глинистых минералов зафиксировано более высокое содержание монтмориллонита в пределах Причерноморской и Азово-Кубанской низменностей. Во всех исследованиях наблюдается повышенное содержание карбонатов, гипса, эпсомита и тенардита особенно в горизонтах погребенных почв. Легко- и среднерастворимые минералы по площади и разрезу распределены неравномерно. Водно-растворимые минералы встречаются в породах независимо от их возраста. Закономерности в их распределении не установлены. Однако наблюдается увеличение количества минералов с северо-запада на юго-восток.

Общеизвестно, что минералогический состав дисперсных пород определяет их физико-химические, физико-механические свойства и, как следствие, устойчивость к внешним воздействиям. На сегодняшний день лёссовые породы региона изучены недостаточно, поэтому выполненные исследования дают дополнительную информацию об их составе и могут служить основой для создания банка данных по их минералогическому составу. Такая работа представляет научный интерес, поскольку большинство фактического материала по региону не сохранилось, за исключением опубликованных работ. Собранная информация, включая настоящие исследования, перспективна для разработки территориальных прогнозных инженерно-геологических, геофизических и геоэкологических карт региона.

ЛИТЕРАТУРА

Ананьев В.П., Коробкин В.И. Минералы лессовых пород. Ростов-на-Дону, Изд-во Рост. ун-та, 1980, 200 с.

Ананьев В.П., Потапов А.Д. Инженерная геология. М., Высш. шк., 2000, 511 с.

Балаев Л.Г., Царев П.В. Лессовые породы Центрального и Восточного Предкавказья. М., Наука, 1964, 248 с.

Галай Б.Ф. О гранулометрической классификации лёссовых пород (на примере Северного Кавказа) // Классификационные критерии разделения лёссовых пород. М., Наука, 1984, с. 23—25.

Гильман Я.Д. Основания и фундаменты на лёссовых просадочных грунтах. Ростов-на-Дону, СевкавНИПИагропром, 1991, 217 с.

ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения катионно-анионного состава водной вытяжки. Введ. 1986-01-01. М., Изд-во Стандартиформ, 2011, 8 с.

ГОСТ 12536-14. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) состава. Введ. 2015-07-01. М., Изд-во Стандартиформ, 2015, 18 с.

ГОСТ 34467-2018. Грунты. Методы лабораторного определения содержания карбонатов. Введ. 2019-09-01. М., Изд-во Стандартиформ, 2019, 12 с.

ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. Введ. 2016-04-01. М., Изд-во Стандартиформ, 2019, 23 с.

Денисов Н.Я. Строительные свойства лёсса и лёссовидных суглинков. М., Госстройиздат, 1953, 155 с.

- Инженерная геология России. Грунты России** / Под ред. В.Т. Трофимова, Е.А. Вознесенского, В.А. Королева. М., Изд-во КДУ, 2011, т. 1, 672 с.
- Кригер Н.И.** Лёсс. Формирование просадочных свойств. М., Наука, 1986, 131 с.
- Ларионов А.К.** Методы исследования структуры грунта. М., Недра, 1971, 200 с.
- Лёссовые породы СССР** / Ред. Е.М. Сергеев. М., Недра, 1986, т. 1, 2, 507 с.
- Лёссовый покров Земли и его свойства** / Ред. В.Т. Трофимов. М., Изд-во Моск. ун-та, 2001, 464 с.
- Маккев О.А., Добровольский В.Г.** Поверхностные палеопочвы лёссовых водоразделов Русской равнины. М., Изд-во Молнет, 2012, 258 с.
- Морозов С.С.** Классификация лёссовых пород // Труды совещания по инженерно-геологическим свойствам горных пород и методам их изучения М., Изд-во АН СССР, 1956, т. 1, с. 185—189.
- Опорные инженерно-геологические разрезы лёссовых пород Северной Евразии** / Ред. В.Т. Трофимова. М., Изд-во КДУ, 2008, 607 с.
- Песочина Л.С.** Развитие почв и природной среды Нижнего Дона во второй половине голоцена: Автореф.... к. б. н. М., МГУ, 2004, 24 с.
- Рентгеновские методы изучения и структура глинистых минералов** / Ред. В.А. Франк-Каменецкий. М., Мир, 1965, 599 с.
- Седаева К.М.** Минералогическая характеристика лёссовых образований юго-востока европейской части России (Приазовье, Нижнее Поволжье) // Международная конференция. Ломоносовские чтения – 2017, 17—26 апреля 2017, г. Москва. М., Изд-во Моск. ун-та, 2017, с. 25—28.
- Сергеев Е.М., Ларионова А.К., Комисарова Н.Н.** Лёссовые породы. М., Недра, 1986, т. 1, 232 с.
- Талпа Б.В., Котляр А.В.** Минерально-сырьевая база литифицированных глинистых пород юга России для производства строительной керамики // Строительные материалы. Ростов-на-Дону, Изд-во ЮФУ, 2015, № 7, с. 31—33.
- Трофимов В.Т.** Об инженерно-геологическом содержании термина «лёсс» и его производных // Инженерная геология, 1992, № 6, с. 14—25.
- Delage P., Cui Y.J., Antoine P.** Geotechnical problems related with loess deposits in Northern France // Proceedings of International Conference on Problematic Soils, 25—27 May 2005, Eastern Mediterranean University, Famagusta, N. Cyprus. 2005, p. 517—540.
- Howayek A.E., Huang P.T., Bisnett R., Santagata M.C.** Identification and behavior of collapsible soils. Publication FHWA/IN/JTRP-2011/12. Joint Transportation Research Program, Indiana Department of Transportation and Purdue University, West Lafayette, Indiana, 2011, 87 p.
- Principles of foundation engineering.** 7th edition by Braja M Das. Global Engineering, 2011, 816 p.
- Rezaei M., Ajalloeia R., Ghafoori M.** Geotechnical properties of problematic soils. Emphasis on collapsible cases // Int. J. Geosci., 2012, v. 3, p. 105—110.

*Поступила в редакцию 26 октября 2020 г.,
принята в печать 7 сентября 2021 г.*