

LOESS PROBLEM

V. N. SOKOLOV

The loess problem is discussed in this paper. The hypotheses of the loess origin and various theories of its collapsibility are considered. It is pointed out that loesses collapsibility in many cases can be explained by formation of a particular loess structure. The methods of the loess collapsibility control are described.

Рассмотрены гипотезы происхождения этих пород и различные теории возникновения в них просадочности. Отмечается, что просадочность лёссовых пород во многом объясняется формированием при определенных условиях особой лёссовой структуры. Описаны также способы борьбы с просадочностью лёссов.

ПРОБЛЕМА ЛЁССОВ

В. Н. СОКОЛОВ

Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова

ВВЕДЕНИЕ

Проблема лёссовых пород, или лёссов, уже более ста лет обсуждается геологами, почвоведом, географами, археологами, строителями, мелиораторами. Этот интерес обусловлен широким распространением лёссовых пород, неясностью их происхождения и такими неблагоприятными в строительном и гидро-мелиоративном отношении особенностями, как интенсивное размокание в воде и высокая просадочность (способность породы к сильному уплотнению при промачивании ее водой под действием собственного веса или внешней нагрузки). Кроме того, благодаря специфическим свойствам и наличию больших запасов питательных веществ, лёссовые породы являются хорошим субстратом для развития черноземов и сероземов, то есть почв, отличающихся высоким плодородием.

Уже в глубокой древности людям была хорошо известна странная порода светло-палевого цвета, часто выходящая на поверхность террасовых уступов речных долин, заполняющая многочисленные межгорные впадины или залегающая в виде мощных покровов на других отложениях. Местное население знало, что эти породы в сухом состоянии обладают высокой прочностью и способны держаться в вертикальных откосах (рис. 1). Однако при попадании на них воды в течение минуты происходило полное разрушение породы, казалось, что она растворяется на глазах. Такие явления многократно наблюдали и жители долины Рейна в Германии. По этой причине, как считает А.К. Ларионов (1984), данные породы были названы лёссами (от немецкого слова "lösen", растворяться). Существует и другое мнение. Так, Н.И. Кригер (1965) отмечал, что слово лёсс (löß) близко по значению немецкому слову "löcher" — "рыхлый", "зыбкий". Обе приведенные трактовки термина "лёсс" близки к истине, так как это действительно рыхлая и легко размокаемая порода.

В научную литературу термин "лёсс" впервые был введен в 1823 году К. Леонардом и с этого времени началась дискуссия по поводу его происхождения и природы специфических свойств и, прежде всего, просадочности. Первоначально под лёссом понимали любые породы, в которых более или менее выражены "лёссовые" признаки, такие как светло-палевый цвет, пылеватый состав, наличие макропор. Некоторые ученые, например, В.А. Обручев (1948), И.И. Трофимов (1950) и другие связывали термин "лёсс" с генезисом породы. Они относили к лёссу только те породы со специфическим

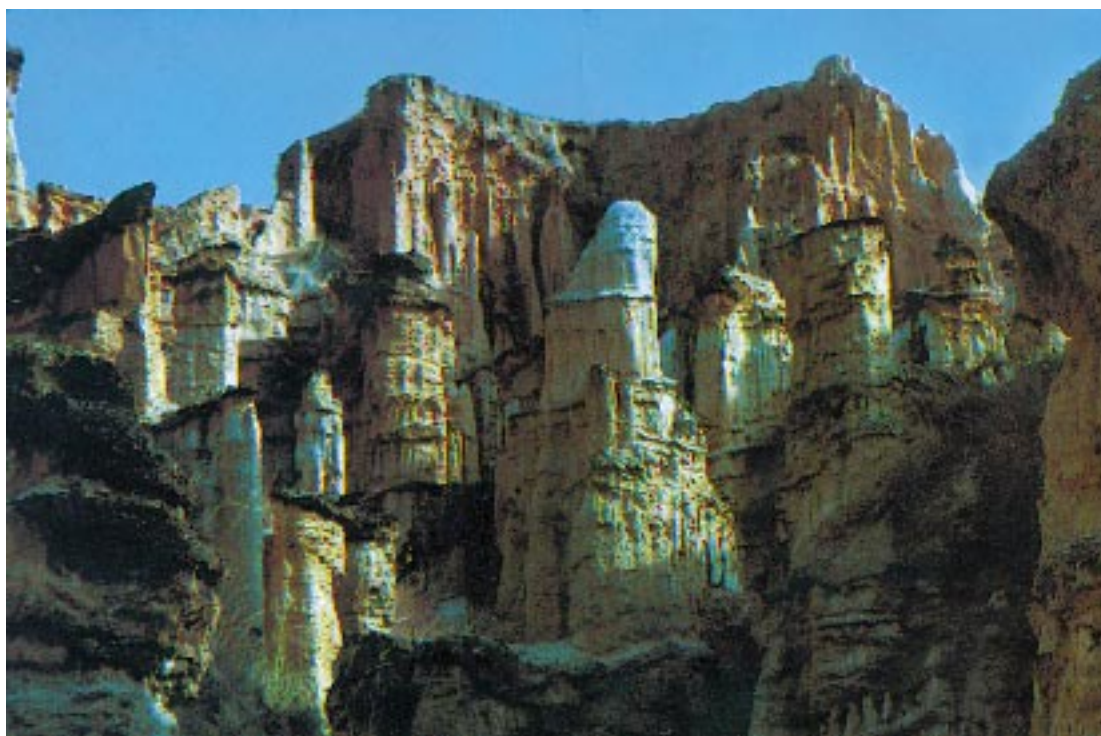


Рис. 1. Обнажение лёссовых пород на территории Китая в провинции Юньнань, образующих вертикальные стены и отдельные останцы, напоминающие стволы деревьев.

“лёссовым” обликом, которые имели эоловое происхождение, то есть были накоплены в результате переноса мелких минеральных частиц ветром. Другие похожие на лёссы породы, но с иным происхождением, они относили к лёссовидным. Многие исследователи (Н.Я. Денисов, 1953; Г.А. Мавлянов, 1958; С.С. Морозов, 1951; А.П. Павлов, 1899) понимали под лёссом породу, имеющую совокупность определенных литологических признаков (светло-палевый цвет, пылеватый состав, макропористость, отсутствие слоистости, наличие большого количества карбонатов) вне зависимости от ее происхождения. Некоторые авторы, например, Г.А. Мавлянов (1958), Е.М. Сергеев (1976) и другие считали, что основным диагностическим признаком лёсса является его просадочность. В некоторых случаях просадочные деформации в лёссовых породах могут достигать нескольких метров и приводить к катастрофическим последствиям. На рис. 2 показан один из типичных примеров подобного поведения лёссовых пород, залегающих в основании дорожного полотна шоссе, проложенного около г. Ашхабада в Туркмении. После увлажнения этих пород водами селевого потока произошло резкое снижение их прочности и последующее уплотнение (просадка) под действием собственного веса. Все это привело к полному разрушению участка дороги.

В настоящее время к лёссам относится однородная, неслоистая, сильно пылеватая (содержание фракций 0,005 – 0,05 мм более 50%), пористая (пористость более 42%), часто имеющая макропоры маловлажная порода, проявляющая просадку при замачивании (“Лёссовые породы СССР”, 1986). Лёсс подразделяется на просадочный, при природном давлении, и проявляющий просадочность при дополнительных нагрузках. Лёссовые породы, для которых не характерны перечисленные признаки, следует отнести к лёссовидным.

Как следует из всего сказанного, до сих пор нет единой точки зрения на точное определение термина “лёсс”, или “лёссовые породы”. Тем не менее широкое распространение, специфичность свойств и многочисленность проблем, связанных со строительством на этих породах заставляет исследователей продолжать работу над этим вопросом. В данной статье автор попытался рассмотреть проблему лёссов в основном с инженерно-геологических позиций, упор делается на объяснение читателям природы одного из основных специфических свойств лёссов – их просадочности.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЛЁССОВ

Лёссовые породы встречаются на всех континентах, но наиболее широко они распространены в Европе, Азии и Америке. По подсчетам К. Кейльгака,



Рис. 2. Разрушение дорожного полотна шоссе, проложенного на лёссовых породах около г. Ашхабада.

при средней мощности лёсса 10 м общая площадь, занятая лёссовыми породами на земном шаре, составляет 19 млн. км². Северная граница распространения лёссов опускается в Европе до 60° с. ш., в Азии она проходит гораздо севернее, а южная гра-

ница достигает 28° с. ш. В тропических и субтропических областях лёссы не встречаются. На территории стран СНГ площадь, покрытая лёссовыми породами, составляет около 34% континентальной части СНГ. Лёссы лежат сплошным покровом на большей части Украины (до 80%) и юге европейской части России. Большие площади покрыты лёссовыми породами в Средней Азии, Казахстане, Восточной, Южной и Западной Сибири. Довольно часто они встречаются в Белоруссии, Поволжье, Якутии и других районах. На рис. 3 показана карта распространения лёссовых пород на территории СНГ, составленная В.С. Быковой и С.А. Пастушковой ("Лёссовые породы СССР", 1986).

Лёссы — это молодые отложения четвертичной системы, возникшие в недавнее геологическое время (не более 1,5 млн. лет тому назад), а в определенных физико-географических условиях они могут образовываться прямо на глазах человека, например, в результате пыльных бурь. По условиям залегания лёссы повсеместно располагаются в виде покровов (то есть не перекрыты другими отложениями). Мощности лёссовых пород колеблются от нескольких сантиметров до десятков и даже сотен метров.

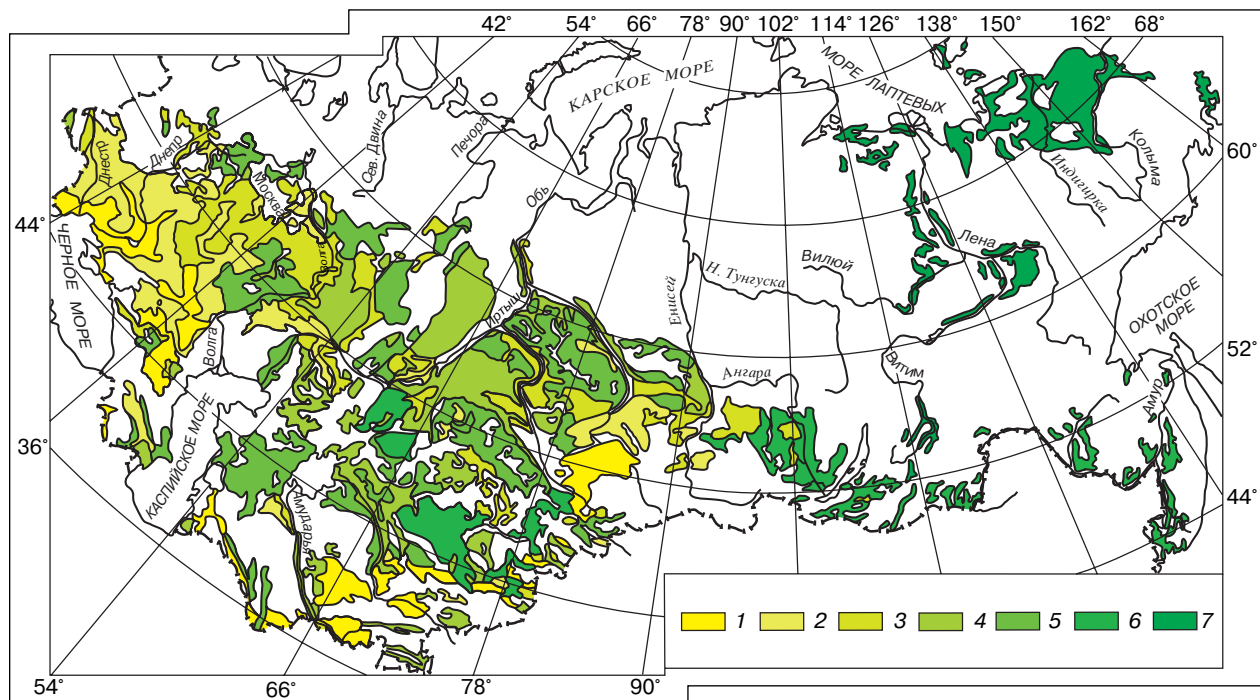


Рис. 3. Карта развития лёссовых пород на территории СНГ ("Лёссовые породы", 1986, т. 1):

1 — лёссы и лёссовые породы большой мощности (более 10 м), проявляющие просадку под собственным весом; 2 — лёссовые породы и лёссы мощные (более 5 м), проявляющие значительные просадочные деформации при дополнительных нагрузках; 3 — лёссовые породы средней мощности (5 — 10 м), проявляющие незначительные просадочные деформации при дополнительных нагрузках; 4 — лёссовые породы прерывистого распространения (3 — 5 м), непросадочные; 5 — лёссовые породы прерывистого и островного распространения изменчивой мощности, неоднородные по просадочности; 6 — лёссовидные и покровные глинистые породы островного и прерывистого распространения, маломощные, непросадочные; 7 — мерзлые покровные пылеватые глинистые породы, проявляющие термопросадки в результате оттаивания.

В северных районах, где лёссовые отложения развиты лишь на отдельных участках, их мощность составляет 5 — 10 м, а в районах сплошного распространения (на юге Украины, Северном Кавказе) она повышается до 30 — 50 м и более. Самые мощные разрезы лёссовых пород (до 100 — 200 м) обнаружены в межгорных впадинах на территории Средней Азии.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЛЁССОВ

Более чем за вековую историю изучения лёссов было предложено не менее двадцати различных гипотез их происхождения. Обобщение этих данных позволило объединить все гипотезы в несколько групп, объясняющих возникновение лёссов эоловым (ветровым) и водным путем.

Эоловая гипотеза. Ее основателем является Ф. Рихтгоффен (1877). Относя лёссы к эоловым отложениям, он не считал ветер единственным фактором образования лёссовых пород. После детального изучения лёссов Китая Ф. Рихтгоффен пришел к выводу, что лёссовый (пылеватый) материал переносился и откладывался в бессточных впадинах ветром и дождевой водой и удерживался там степной растительностью. Эоловая гипотеза нашла много последователей среди ученых России и других стран, которые развили и дополнили ее. Так, В.А. Обручев (1904) объяснял формирование сплошного лёссового покрова на высоких элементах рельефа за счет пыли, принесенной из отдаленных районов (экзотическая пыль). По мнению П.А. Тутковского (1899), ветры развеивали ледниковые отложения и уносили пыль далеко от ледникового покрова, где она и образовывала лёсс. Американские ученые Ф. Леверетт (1899), Т. Чемберлин и др. (1909) основное значение придавали образованию пылеватых толщ за счет развеивания речных и водно-ледниковых отложений близлежащих долин. Многие известные отечественные и зарубежные ученые, например, А.И. Москвитин, И.И. Трофимов, Н.И. Кригер были и до настоящего времени остаются горячими сторонниками эоловой гипотезы. Это связано с тем, что данная гипотеза хорошо объясняет покровное залегание лёссов на больших площадях и подкрепляется фактами быстрого накопления в засушливых областях дольно мощных слоев пылеватых осадков после прохождения сильных пыльных бурь.

Гипотезы водного происхождения. Среди сторонников, рассматривающих лёсс как породу, сформировавшуюся в водной среде, следует отметить выдающихся ученых П.А. Кропоткина (1876), В.В. Докучаева (1892), А.П. Павлова (1898), Ю.А. Скворцова (1948), Н.И. Толстихина (1928). По мнению этих исследователей, образование толщ пылеватых осадков происходило в результате смыва и последующего переотложения склоновых пород, переноса и накопления минерального материала в речных долинах и озерах, а также переноса и накопления лёссовых отложений водно-ледниковыми

потоками. Существовала также точка зрения, что лёсс — это принесенная пыль, но переотложенная водными потоками. Все эти гипотезы рассматривают лишь процесс накопления пылеватых отложений, но не отвечают на главный вопрос: как пылеватый осадок превращается в лёсс с характерным набором признаков и свойств.

Почвенно-элювиальные гипотезы. В соответствии с этими гипотезами пылеватые отложения могут накапливаться любым путем, а их превращение в лёсс со всеми специфическими признаками этой породы происходит в результате почвообразования и выветривания. К сторонникам этой гипотезы следует отнести Л.С. Берга (1916), Н.М. Симбирцева (1900), Б.Б. Полюнова (1934), И.П. Герасимова (1939). При рассмотрении данных гипотез, к сожалению, приходится констатировать, что они могут объяснить происхождения лишь отдельных лёссовых толщ.

Обобщение и анализ существующих в настоящее время гипотез происхождения лёссов позволяет сказать, что процесс формирования лёссовых пород состоит из двух этапов: 1) накопление минерального пылеватого осадка, которое может происходить различными путями, и 2) превращение накопленного осадка в типичный лёсс, то есть в просадочную породу. Безусловно, второй этап, характеризующийся появлением уникального явления — просадочности лёссов, имеет важнейшее значение. Ведь именно просадочность делает лёссы теми загадочными породами, над которыми уже более ста лет бьются ученые.

ПРИРОДА ПРОСАДОЧНОСТИ ЛЁССОВЫХ ПОРОД

До сих пор нет единого мнения о природе просадочности лёссовых пород. Различные исследователи выдвигали достаточно много предположений и гипотез по поводу возникновения этого специфического и неотъемлемого свойства лёссов. Анализ существующих мнений показывает, что все гипотезы, объясняющие просадочность лёссовых пород, можно разделить на две группы.

В первой группе просадочность лёссов рассматривается как их первичное свойство, то есть когда просадочность формируется непосредственно в ходе накопления и начальной стадии преобразования минерального пылеватого осадка. Одну из причин возникновения просадочности Н.Я. Денисов (1953) видел в формировании недоуплотненных лёссовых толщ вследствие захоронения рыхлой, сцементированной легкорастворимыми веществами, массы пылеватых частиц под постепенно накапливаемыми слоями вышележащих пород. Слабыми местами этой гипотезы было то, что она не могла объяснить сохранение просадочных свойств в течение длительного времени, не давала объяснений фактам увеличения просадочности под горизонтами погребенных

почв и скачкообразному изменению просадочности лёссовых пород по разрезу каждого накопленного слоя.

Гипотезы второй группы характеризуют просадочность как новообразованное свойство породы, то есть когда просадочность приобретает после накопления пылеватого осадка. Наибольшее распространение здесь получила гипотеза мерзлотного выветривания. По мнению Е.М. Сергеева и А.В. Минервина (1960), формирование просадочности происходит в результате циклического сезонного промерзания–оттаивания исходных пылеватых пород и удаления из них льда посредством сублимации (испарения льда минуя жидкое состояние). В ходе промерзания поровая вода превращается в лед, разуплотняет породу и способствует дроблению более крупных песчаных зерен до размера пылеватых частиц. Данная гипотеза формирования просадочности подтверждается лабораторным и натурным моделированием. Она хорошо объясняет распространение и характер залегания лёссов в пространстве и разрезе, скачкообразное изменение просадочности лёссовых пород по разрезу, увеличение просадочности под горизонтами погребенных почв, появление просадочности в условиях сурового климата плейстоценовой эпохи развития Земли (приблизительно от 10 до 800 тысяч лет тому назад) —

периода времени, когда наблюдалось наиболее интенсивное накопление лёссовых толщ.

СТРУКТУРА ЛЁССОВЫХ ПОРОД

Многолетний опыт исследований лёссов показывает, что одним из основных факторов, определяющих просадочность этих пород, является их специфическая структура, то есть размер и форма твердых (минеральных) структурных элементов, строение порового пространства и особый характер структурных связей (взаимодействий между частицами).

Как уже отмечалось, лёссы — это пылеватые породы, которые не менее чем на 50% состоят из пылеватых частиц с размерами 0,005 — 0,05 мм. Для большинства лёссов характерно высокое, иногда до 15 — 20%, содержание карбонатов, преимущественно кальцита (CaCO_3), и присутствие до 3 — 5% растворимых солей (сульфаты, хлориды). Важной особенностью структуры лёссовых пород является ее высокая агрегированность, когда пылеватые и глинистые частицы образуют изометричные агрегаты с размерами 0,01 — 0,25 мм. Фотография такого глинисто-пылеватого агрегата, полученная с помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ), показана на рис. 4а. Специфическое строение имеют песчаные и крупные пылеватые зерна, названные

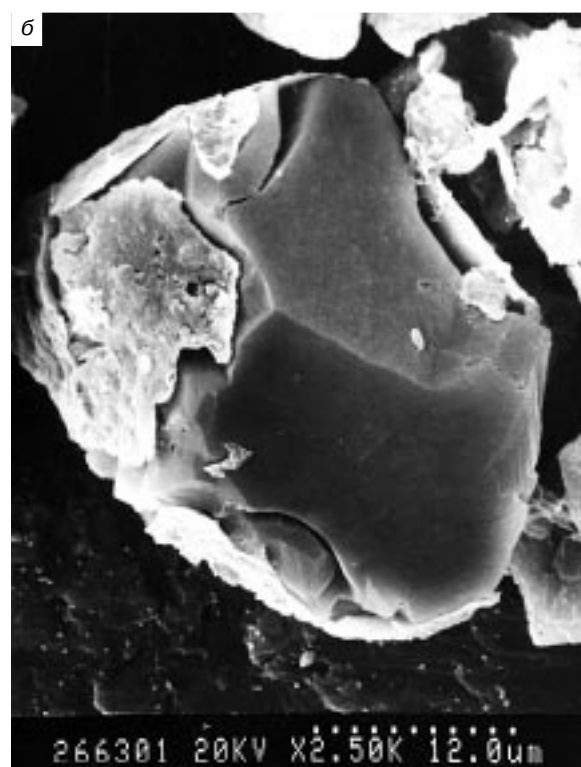
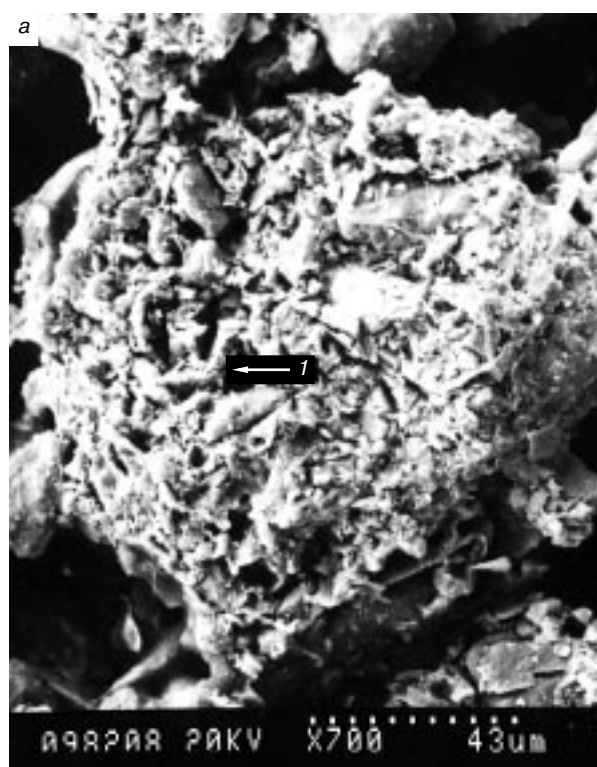


Рис. 4. Твердые структурные элементы в лёссах: а — глинисто-пылеватый агрегат, увеличение 700 раз; б — глобулярный агрегат, увеличение 2500 раз.

глобулами. Как показали наблюдения в РЭМ, в центре глобулы размещается ядро, состоящее из отдельных кварцевых микроблоков. Поверх ядра располагается дырчатая оболочка кальцита, которая в свою очередь перекрывается глинистой “рубашкой” (непрерывной пленкой частиц глинистых минералов), пропитанной оксидами железа и аморфным кремнеземом (SiO_2). Пример такой искусственно разрушенной глобулы показан на рис. 4б, где в центре виден хорошо ограненный микрокристалл кварца со следами кальцитово́й оболочки на поверхности.

Специфический характер твердых структурных элементов в лёссах обуславливает формирование в них так называемых агрегативных, или зернистых, микроструктур. Пример агрегативной микроструктуры показан на рис. 5а, где А — глинисто-пылеватый агрегат изометричной формы.

Пористость просадочных лёссов обычно изменяется от 42 до 46%. При этом поровое пространство лёссовых пород характеризуется присутствием трех типов пор: макропор, межзерновых и межагрегатных микропор, внутриагрегатных микропор. Наиболее крупными являются макропоры, имеющие трубчатую форму с диаметром 0,05 — 0,5 мм (рис. 5а, 3). Они обычно хорошо видны невооруженным глазом и пронизывают лёссовую породу в вертикальном направлении. Макропоры являются

одним из важнейших диагностических признаков структуры просадочных лёссов. Некоторые ученые считают, что макропоры — следы корней растений. Однако сейчас существует мнение, что большая часть макропор представляет собой своеобразные магистральные каналы, образовавшиеся в результате преимущественно вертикальной миграции воды и газов. Об этом свидетельствует наличие значительных выделений солей на стенках макропор.

Наиболее важными в структуре лёссовых пород являются межагрегатные и межзерновые микропоры (рис. 5а, 2). Эти микропоры обычно имеют изометричную форму, а их размер изменяется от 0,008 до 0,05 мм. Электронномикроскопические исследования показывают, что подобные микропоры составляют основную часть порового пространства и относятся к категории так называемой активной пористости, которая и определяет величину просадочной деформации породы. Подчиненную роль в поровом пространстве играют более мелкие внутриагрегатные микропоры (рис. 4а; 5а, 1) с размером менее 0,008 мм. Специфический состав и условия формирования лёссовых пород приводят к образованию у них разнообразных по своей природе структурных связей, которые во многом определяют особенности деформирования этих пород при увлажнении.

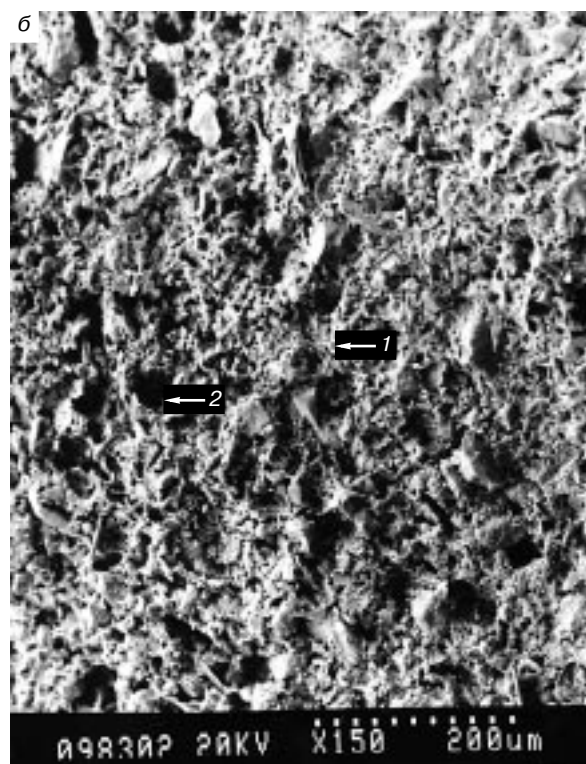
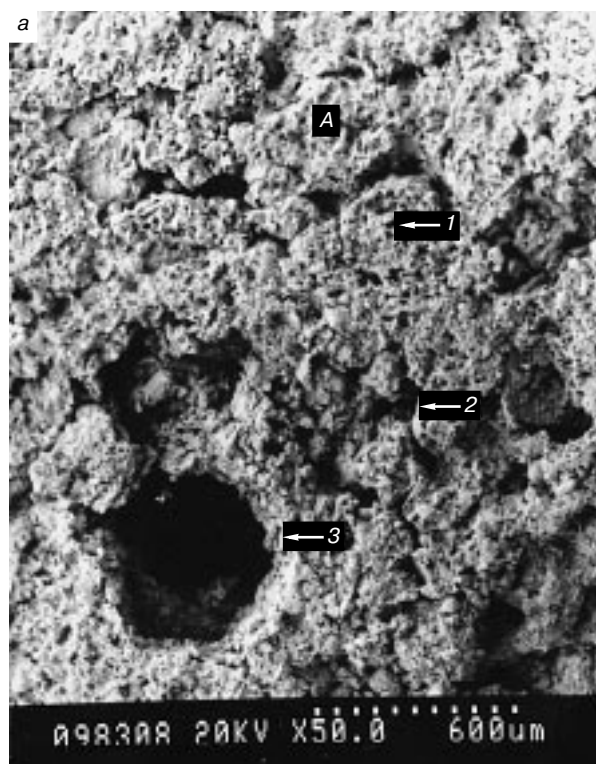


Рис. 5. Микроструктура лёсса: а — естественная агрегативная, увеличение 600 раз; б — после просадки, увеличение 150 раз.

Основную роль в структурном сцеплении (связности) лёссовых пород играют контакты между зернами и глинисто-пылеватыми агрегатами, осуществляемые через глинистые “рубашки” или глинистые “мостики”. В физико-химической механике дисперсных систем такие контакты называются переходными. Их прочность обусловлена ионно-электростатическими силами. Характерной особенностью переходных контактов является их обратимость по отношению к воде. При увлажнении они быстро теряют прочность и трансформируются в слабопрочные коагуляционные контакты. Помимо переходных, в просадочных лёссовых породах могут также существовать фазовые контакты цементационного типа, обусловленные выделением легко растворимых солей в приконтактных зонах при испарении поровой влаги.

Рассматривая механизм просадочности лёссов, можно сказать, что присутствие обратимых переходных контактов повышает просадочность благодаря их быстрому разрушению при увлажнении породы. Наличие же более прочных фазовых контактов цементационного типа может приводить к увеличению прочности всей структуры и, соответственно, снижению величины просадки. Для подобных пород характерны медленные послепросадочные деформации, которые во много раз могут превысить величину самой просадки при кратковременном увлажнении. И, наконец, при рассмотрении процесса просадочности лёссов нельзя не принять во внимание присутствие в этих породах сил поверхностного натяжения воды, так называемых капиллярных сил, о которых часто забывают многие ученые. Точные экспериментальные исследования показывают, что по мере заполнения пор водой, то есть при исчезновении капиллярных менисков, связывающих отдельные зерна и агрегаты, при увлажнении лёсса происходит слишком быстрое и резкое снижение его прочности, которое нельзя объяснить только разрушением переходных и цементационных контактов. Силы поверхностного натяжения воды вполне могут играть роль своеобразного спускового механизма, обуславливающего начало процесса просадки.

Подводя итог, можно сказать, что в основе просадки лежат два взаимосвязанных явления, развивающихся при увлажнении лёссов и воздействии внешней нагрузки. Во-первых, происходит резкое снижение энергии взаимодействия структурных элементов на контактах, потеря структурной прочности вследствие преобразования переходных контактов в коагуляционные и исчезновение сил поверхностного натяжения. Во-вторых, происходит распад глинисто-пылеватых агрегатов, сопровождаемый формированием своеобразных дефектов в микроструктуре лёссов, и возникают условия для взаимного смещения структурных элементов. Таким образом, в результате просадки происходит смыкание части макропор и большинства крупных

межагрегатных микропор и формируется более плотная и однородная микроструктура, аналогичная показанной на рис. 5б. Одновременно возрастает содержание мелких межагрегатных и внутриагрегатных микропор (рис. 5б, 2 и 1 соответственно).

СПОСОБЫ БОРЬБЫ С ПРОСАДОЧНОСТЬЮ ЛЁССОВЫХ ПОРОД

В связи с широким распространением лёссовых пород на территории России и стран СНГ проблема борьбы с просадочностью этих пород в основаниях инженерных сооружений становится весьма актуальной. Ведь при промачивании лёсса происходит просадка и резкое уменьшение прочности грунта (под грунтом понимают любую горную породу, являющуюся предметом инженерной деятельности человека). При этом наблюдается потеря устойчивости основания, его интенсивная осадка и часто выдавливание водонасыщенного лёссового грунта из под фундамента сооружения, что обычно приводит к полному или частичному разрушению зданий, плотин, дорог и т.д. По оценкам специалистов, до 45% стоимости работ по строительству гражданских и промышленных объектов на лёссовых грунтах тратится на комплекс мероприятий, предотвращающих деформацию сооружений из-за просадочности.

Познание природы просадочности лёссовых пород позволило разработать эффективные инженерные методы борьбы с этим грозным явлением. В основном эти методы сводятся к воздействию на неустойчивую специфическую структуру лёсса и трансформации ее в устойчивое недеформируемое состояние. При этом, исходя из описанного механизма просадки, стремятся повысить плотность лёссового грунта (снизить его активную пористость) и увеличить прочность контактов между минеральными частицами (перевести менее прочные, обратимые по отношению к воде, переходные контакты в более прочные — фазовые).

Существует несколько способов борьбы с просадкой лёссов. Наиболее распространенным является механическое уплотнение лёссовых грунтов тяжелыми трамбовками, вес которых может достигать 10 т, а иногда и более. Обычно трамбовки многократно (до 10 — 16 раз) сбрасываются на уплотняемый участок грунта с высоты 4 — 8 м. Данный метод позволяет уплотнить толщу лёссового грунта на глубину до 3,5 м.

Если необходимо ликвидировать просадочные свойства лёссовых грунтов на глубину до 25 м, то проводят их глубинное уплотнение грунтовыми набивными сваями или энергией взрыва. Иногда для ликвидации просадочных свойств производят предварительное промачивание лёссового массива. При этом происходит спровоцированная просадка грунта, после чего он уплотняется, теряет просадочность и переходит в стабильное состояние.

Одним из способов борьбы с просадочностью является термическое закрепление лёссовых грунтов, при котором через грунт с помощью специальных приспособлений пропускают раскаленный воздух или газы при температуре 300 — 800°C. Под действием высокой температуры происходит оплавление и спекание минералов на контактах между отдельными частицами и агрегатами частиц и формируются прочные фазовые контакты кристаллизационного типа, устойчивые по отношению к воздействию воды. В результате существенно повышается прочность лёссового грунта и он становится непросадочным. Просадочность многих типов лёссовых отложений может быть также существенно уменьшена с помощью метода силикатизации. При этом в грунт через перфорированные трубы с одной стороны нагнетают раствор силиката натрия (жидкого стекла), а с другой — раствор хлористого кальция. При соединении обоих растворов в порах просадочного грунта образуется водонерастворимый гель кремниевой кислоты, который цементирует грунт и делает его непросадочным. К сожалению, данный метод в некоторых случаях может приводить к сильному химическому загрязнению закрепляемых пород, и поэтому в настоящее время он применяется очень редко.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проблема лёссов, возникшая более ста лет назад, все еще существует и далека до полного разрешения. Тем не менее, сейчас можно говорить о различных условиях происхождения лёссов и о весьма сложной и многофакторной природе их просадочности. Во многом просадочность лёссов может объясняться формированием в них особой лёссовой

структуры. Последующее углубленное изучение тончайших особенностей структуры лёссовых пород, по-видимому, и является ключом к разгадке проблемы лёссов. Решение этой проблемы позволит достичь существенного прогресса в создании эффективных методов борьбы с просадочностью лёссовых пород, что повысит надежность строительства и исключит возможность разрушения возводимых на этих породах инженерных сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грунтоведение. Под ред. акад. Е.М. Сергеева М.: 1983.
2. Денисов Н.Я. Строительные свойства лёсса и лёссовидных суглинков. 2-е изд. М.: Стройиздат, 1953.
3. Кригер Н.И. Лёсс, его свойства и связь с географической средой. М.: Наука, 1965.
4. Кригер Н.И. Лёсс. Формирование просадочных свойств. М.: Наука, 1986.
5. Ларионов А.К. Инженерно-геологическое изучение структуры рыхлых пород. М.: Недра, 1986.
6. Лёссовые породы СССР. Под ред. Е.М. Сергеева, А.К. Ларионова, Н.Н. Комиссаровой. М.: Недра. 1986, Т. 1, 2.

* * *

Вячеслав Николаевич Соколов, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник кафедры инженерной геологии и охраны геологической среды Геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. Автор 197 научных работ, имеет 9 авторских свидетельств и 5 зарубежных патентов. Основные направления научных исследований — физико-химическая механика дисперсных грунтов, изучение микроструктуры горных пород.