

УДК 55:624.131.4

В.Т. Трофимов<sup>1</sup>, С.Д. Балыкова<sup>2</sup>, Т.В. Андреева<sup>3</sup>, А.В. Ершова<sup>4</sup>

## ИЗМЕНЕНИЕ ПРОСАДОЧНОСТИ ГРУНТОВ ПОГРЕБЕННЫХ ПОЧВ ПО РАЗРЕЗУ В ЦИКЛИТНО ПОСТРОЕННЫХ ТОЛЩАХ ЛЁССОВЫХ ПОРОД СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ

Охарактеризована просадочность грунтов погребенных почв циклитно построенных толщ лёссовых пород Северной Евразии. Выявлены два типа изменения относительной просадочности грунтов в разрезе погребенных почв, установлено соотношение величины этого показателя для грунтов погребенных почв, а также для перекрывающих и подстилающих их лёссовых грунтов.

*Ключевые слова:* просадочность, грунты, погребенные почвы, изменение просадочности по разрезу.

Subsidence of buried soils of cyclic loess soils sequences of the Northern Eurasia is characterized. Two types of alteration of relative subsidence of the buried soils section are described. The relation of that indicator of the buried soils with over and under laying loess soils is presented.

*Key words:* subsidence ability, soils, buried soils, alteration of subsidence according to the profile.

**Введение.** Погребенные почвы — неперемнная составляющая мощных, циклитно построенных толщ лёссовых пород [Лёссовые..., 1986; Лёссовый покров..., 2001; Лёссы..., 1972; Морозова, 1981]. Элементарный лёссовый циклит включает один или несколько слоев лёссовых пород разного состава (лёссы, лёссовидные супеси, суглинки и т.п.) мощностью от 1–2 до 7–10 м и венчающий их горизонт погребенных или современных почв разного генетического типа [Опорные..., 2008; Трофимов, 1999; Шаевич, 1987]. Такие элементарные циклиты, отвечающие определенному этапу формирования толщи лёссовых пород, прослеживаются на значительных площадях; они имеют самостоятельное стратиграфическое значение и характеризуются выдержанными по латерали инженерно-геологическими особенностями.

Просадочность лёссовых пород таких разрезов, выражающаяся в их способности в напряженном состоянии уменьшать объем при замачивании, и ее изменение по вертикали и латерали изучены достаточно хорошо. Это же свойство у погребенных почв, наоборот, изучено мало. Долгое время под влиянием публикации А.В. Минервина и Е.М. Сергеева [Минервин, Сергеев, 1964] считалось, что грунты, слагающие погребенные почвы, непросадочные. Однако целенаправленное изучение этого свойства грунтов погребенных почв, осуществленное при изучении опорных инженерно-геологических разрезов лёссовых

пород севера Евразии [Опорные..., 2008; Трофимов, Андреева, 2005; Трофимов, Балыкова, 2005; Трофимов, Ершова, 2004а, б], показало, что эта позиция требует коренного пересмотра.

В ходе указанных выше работ были изучены разрезы, в которых число лёссовых циклитов изменялось от 2 до 10 (и более). На этих участках пройдено 55 выработок (специальные скважины, шурфы, дудки), в которых отобраны образцы природного сложения и влажности. Интервал опробования погребенных почв составил в совокупности 2–65,5 м. На территорию Молдавии и Украины приходится 11 выработок, на европейскую часть России — 14, на Западную и Восточную Сибирь — 8 и на государства Центральной Азии — 22.

В процессе опробования отбирали образцы-монолиты из всех встреченных в разрезах погребенных почв, максимальное число которых в одном разрезе достигало 17. Всего отобран 351 образец-монолит, для их подавляющей части определена просадочность методом одной кривой при действии четырех различных нагрузок — природной; 0,1; 0,2; 0,3 МПа, — а также выполнено 323, 271, 296 и 323 определения соответственно. В подавляющей части этих разрезов грунты погребенных почв оказались просадочными.

В изученных разрезах среди погребенных почв описан практически полный ряд зональных типов

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, заведующий кафедрой инженерной и экологической геологии, проф., докт. геол.-минер. н.; *e-mail:* trofimov@rector.msu.ru

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра инженерной и экологической геологии, ст. науч. с., канд. геол.-минер. н.; *e-mail:* balykova@geol.msu.ru

<sup>3</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра инженерной и экологической геологии, доцент, канд. геол.-минер. н.; *e-mail:* andreeva@geol.msu.ru

<sup>4</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра инженерной и экологической геологии, ст. науч. с., канд. геол.-минер. н.; *e-mail:* ershova@geol.msu.ru

Величина относительной просадочности грунтов погребенных почв, по [Трофимов, Ершова, 2004а]

Номер погребенной почвы	Число изученных образцов-монолитов	Относительная просадочность					
		min	max	при разной нагрузке, МПа			
				природная	0,1	0,2	0,3
1	96	$\frac{0-0,075}{0,015}$	$\frac{0,001-0,168}{0,054}$	$\frac{0-0,075}{0,017}$	$\frac{0-0,131}{0,024}$	$\frac{0-0,128}{0,053}$	$\frac{0-0,168}{0,058}$
2	92	$\frac{0-0,96}{0,013}$	$\frac{0,002-0,127}{0,043}$	$\frac{0-0,113}{0,026}$	$\frac{0-0,064}{0,012}$	$\frac{0-0,107}{0,027}$	$\frac{0-0,127}{0,042}$
3	61	$\frac{0-0,079}{0,014}$	$\frac{0,002-0,104}{0,042}$	$\frac{0,001-0,122}{0,022}$	$\frac{0,001-0,079}{0,016}$	$\frac{0,001-0,123}{0,026}$	$\frac{0,002-0,146}{0,039}$
4	46	$\frac{0-0,025}{0,007}$	$\frac{0,002-0,129}{0,026}$	$\frac{0,002-0,129}{0,018}$	$\frac{0,001-0,067}{0,009}$	$\frac{0,001-0,092}{0,017}$	$\frac{0,002-0,111}{0,026}$
5	25	$\frac{0-0,02}{0,003}$	$\frac{0,001-0,115}{0,011}$	$\frac{0,001-0,096}{0,016}$	$\frac{0,001-0,006}{0,0054}$	$\frac{0,002-0,041}{0,011}$	$\frac{0-0,115}{0,010}$
6	14	$\frac{0-0,008}{0,003}$	$\frac{0,003-0,049}{0,015}$	$\frac{0,001-0,049}{0,012}$	$\frac{0,003-0,022}{0,009}$	$\frac{0,001-0,024}{0,007}$	$\frac{0,003-0,027}{0,011}$
7	2	$\frac{0,003-0,003}{0,003}$	$\frac{0,013-0,022}{0,0175}$	$\frac{0,013-0,022}{0,0175}$	$\frac{0,003-0,003}{0,003}$	$\frac{0,003-0,004}{0,0035}$	$\frac{0,006-0,008}{0,007}$
8	2	$\frac{0,004-0,007}{0,0055}$	$\frac{0,030-0,054}{0,042}$	$\frac{0,030-0,054}{0,042}$	$\frac{0,004-0,007}{0,055}$	$\frac{0,010-0,012}{0,022}$	$\frac{0,015-0,025}{0,040}$
9	1	0,004	0,034	0,034	0,004	0,014	0,020
10	1		0,003				0,003
11	1		0,003				0,003
12	2	0	$\frac{0,002-0,002}{0,002}$	$\frac{0,002-0,002}{0,002}$	0,001	0	$\frac{0-0,002}{0,001}$
13	2		$\frac{0,001-0,002}{0,0015}$				$\frac{0,001-0,002}{0,0015}$
14	2	—	$\frac{0,003-0,004}{0,0035}$				$\frac{0,003-0,004}{0,0035}$
15	2		$\frac{0,002-0,003}{0,0025}$				$\frac{0,002-0,003}{0,0025}$
16	1		0,003				0,003
17	2		$\frac{0,002-0,005}{0,0035}$				$\frac{0,002-0,005}{0,035}$

Примечания: номера погребенных почв приведены сверху вниз по разрезу; над чертой — минимальные и максимальные значения, под чертой — средние.

почв — от тундровых и дерново-мерзлотных до серо-бурых, сероземов и красно-бурых. Преобладают черноземные почвы, в разной степени карбонатные и измененные (выщелоченные, оподзоленные), а в разрезах Центральной Азии — сероокрашенные или красновато-коричневые почвы [Опорные..., 2008].

По гранулометрическому составу среди них преобладают лёссовидные супеси и суглинки и лёссы легко- и среднесуглинистые. Содержание пылеватых частиц в них изменяется в диапазоне 41–84% (чаще всего 50–60%), глинистых частиц — 2–44 (20–25%), органического вещества — 0,01–2% (0,4–0,9%), естественная влажность 3–34% (обычно менее 20%), пористость 32–66% (42–55%).

**Величина относительной просадочности грунтов погребенных почв.** Грунты, слагающие погребенные почвы в мощных и циклитно построенных толщах лёссовых пород, проявляют при замачивании различную по величине просадочность. Она фиксируется при действии и природной нагрузки, и дополнительных нагрузок (рис. 1; таблица). Широко распространены

разности, у которых величина этого показателя менее 0,01, но существенно выше нуля. Грунты с полным отсутствием просадочности в разрезе погребенных почв в изученных опорных разрезах также установлены, но они встречаются реже.

Наблюдается четкая связь величины просадочности грунтов погребенных почв с глубиной их залегания: просадочные разности распространены в разрезе циклитно построенных толщ до глубины 30 м, чаще всего они залегают в интервале 5–20 м. И только в опорных разрезах Отказное (Предкавказье), Адырный (Таджикистан), Орловка (Киргизия) грунты погребенных почв проявляли просадочность при действии природной нагрузки на большой глубине (до 50–65,5 м). Подобная картина распределения величины просадочности грунтов погребенных почв свойственна не только всей выборке изученных опорных разрезов, но и их выборкам для крупных отдельно взятых территорий — Молдавии и Украины, юга европейской части России, Центральной Азии [Трофимов, Андреева, 2005; Трофимов, Балыкова, 2005; Трофимов, Ершова, 2004б].

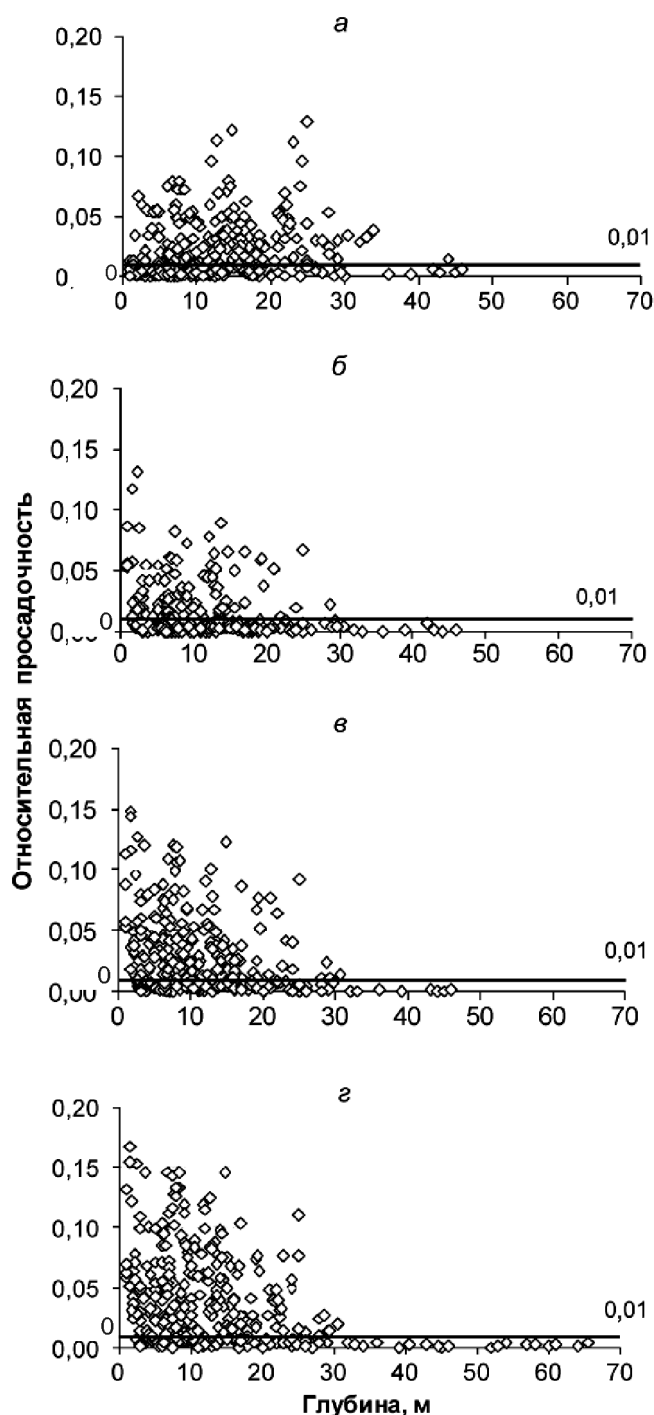


Рис. 1. Распределение величины относительной просадочности грунтов погребенных почв по глубине разрезов при действии: а — природной нагрузки; б–г — нагрузок 0,1; 0,2 и 0,3 МПа соответственно

Такое распределение величины просадочности грунтов погребенных почв по разрезу обуславливает тесную связь величины этого свойства с номером погребенной почвы (он увеличивается сверху вниз по разрезу — первая погребенная почва венчает второй лёссовый цикллит, вторая — третий и т.д.). Наибольшей величиной относительной просадочности характеризуются верхние 5 погребенных почв (рис. 2). Для залегающих ниже погребенных почв

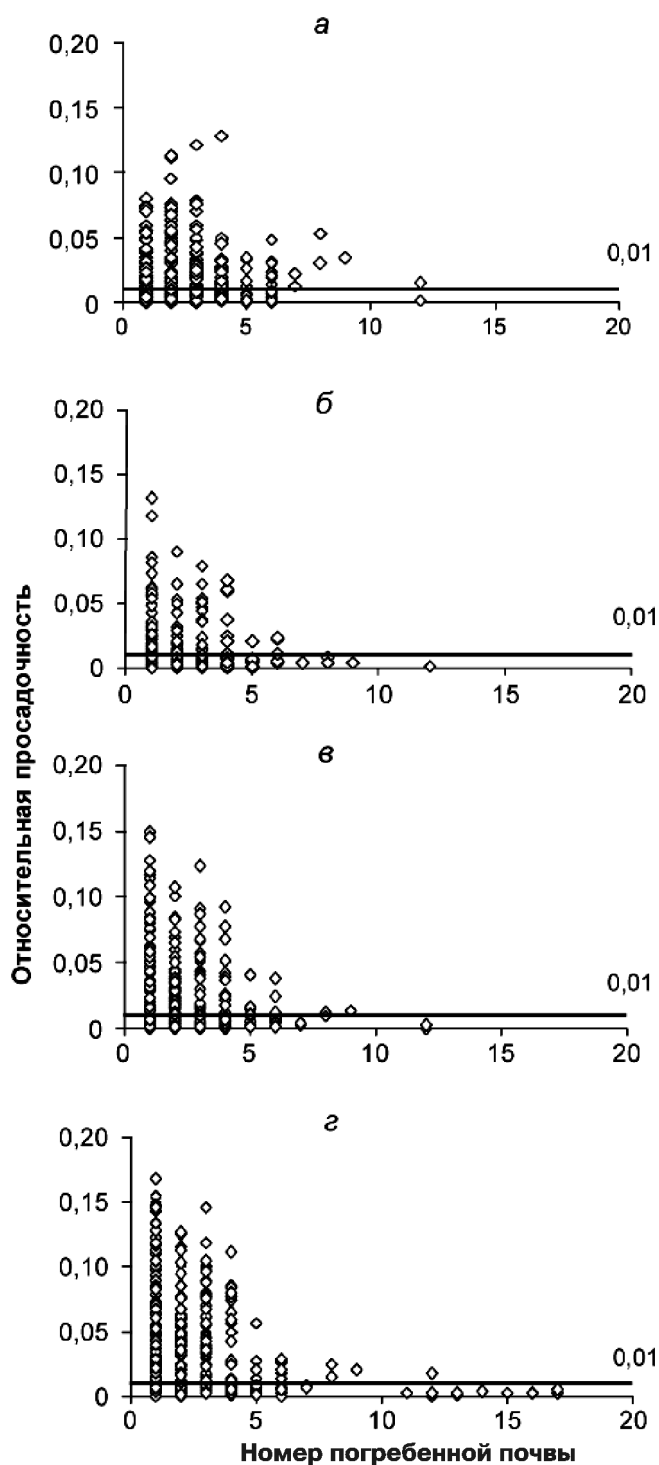


Рис. 2. Распределение величины относительной просадочности грунтов разных по нумерации погребенных почв при действии: а — природной нагрузки; б–г — нагрузки 0,1; 0,2 и 0,3 МПа соответственно

ее значения существенно снижаются; в этой части разреза встречаются как просадочные, так и непросадочные разности [Опорные..., 2008; Трофимов, Ершова, 2004а].

Отметим, что начальное давление просадочности — минимальное давление, при котором величина относительной просадочности равна 0,01 при полном водонасыщении грунта, — изменяется в изученных

разрезах от 0,04 до 0,75 МПа и прогрессивно увеличивается с глубиной. В верхних 30 м разреза для грунтов погребенных почв оно составляет чаще всего 0,1–0,2 МПа.

**Об изменении относительной просадочности грунтов в разрезе погребенных почв.** Изменение просадочности грунтов в разрезе погребенных почв прослежено только в тех из них, которые имели хорошо дифференцированные почвенные профили и были в достаточной мере опробованы. На основе этих пока еще немногочисленных данных можно выделить два основных типа распределения просадочности, почти равнозначных по частоте встречаемости: 1) просадочность изменяется по разрезу и увеличивается к подошве почвенного горизонта; 2) просадочность увеличивается к середине профиля почвы, а затем уменьшается к ее основанию (рис. 3). Кроме того, отмечен еще один тип — просадочность, практически не изменяющаяся по разрезу. Этот тип развит существенно меньше (рис. 3).

Снижение просадочности вниз по разрезу погребенной почвы в типе 2 связано, видимо, с повышением содержания карбонатов в иллювиальном горизонте (разрезы Волгодонск, Отказное, Кадырья, Орловка, Ашхабад). Данные о составе и свойствах грунтов по всему почвенному профилю не позволяют выявить причины увеличения просадочности грунтов в подошве почв (тип 1), необходимы дополнительные исследования таких взаимосвязей.

Соотношение выделенных типов изменения просадочности грунтов погребенных почв различно

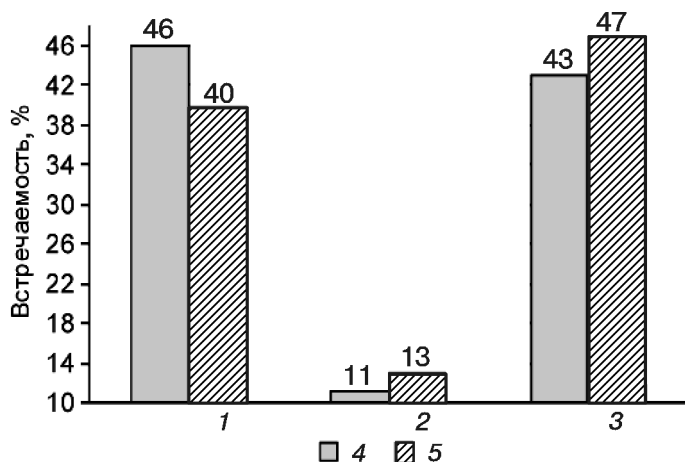


Рис. 3. Характер изменения просадочности грунтов в разрезе погребенных почв (по всей совокупности просадочных грунтов): 1 — просадочность к основанию горизонта, как правило, увеличивается; 2 — просадочность не изменяется по разрезу почв; 3 — просадочность уменьшается к основанию горизонта; 4 — просадочность при природной нагрузке; 5 — просадочность при нагрузке 0,3 МПа

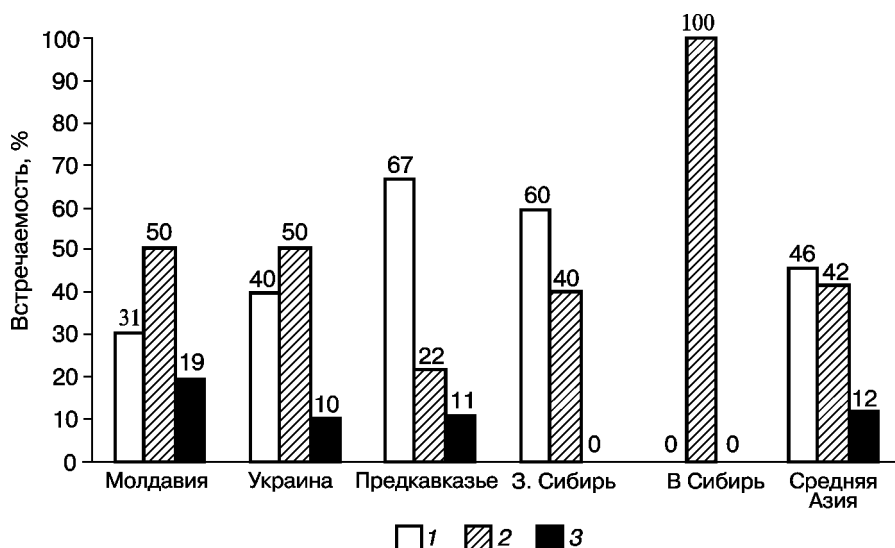


Рис. 4. Характер изменения просадочности (при природной нагрузке) грунтов в разрезе погребенных почв в различных регионах: 1 — просадочность к основанию горизонта увеличивается; 2 — то же уменьшается; 3 — просадочность не изменяется по разрезу почв

в разных регионах Северной Евразии (рис. 4). В ряде регионов (Предкавказье, юг Западной Сибири, Центральная Азия) шире развит тип 1, что связано, скорее всего, с аридностью обстановки в период формирования толщ и современного климата.

**О соотношении величины относительной просадочности грунтов погребенных почв, подстилающих и перекрывающих их лёссовых пород.** В большинстве разрезов всех регионов при переходе от вышележащего лёссового горизонта к погребенной почве просадочность грунтов при природной нагрузке в той или иной мере снижается (рис. 5, 6), причем нередко до нулевых значений. Однако во многих случаях отмечена и противоположная ситуация, широко распространенная в Центральной Азии. При дополнительных нагрузках такая тенденция сохраняется.

При переходе от грунтов погребенных почв в нижележащий лёссовый горизонт в большинстве случаев просадочность увеличивается (рис. 5, б; 6, б). В трети изученных ситуаций отмечено ее уменьшение, например в разрезах Предкавказья (опорные разрезы Волгодонск, Отказное, Новопокровское-1), Западной Сибири (Барнаул, Новосибирск) и Центральной Азии (Пскент, Янгиабад, Карьерный). Постоянство показателей просадочности грунтов погребенных почв и подстилающих их лёссов характерно для глубоких горизонтов разрезов.

**Задачи изучения просадочности грунтов погребенных почв циклично построенных толщ лёссовых пород.** Первая задача — исследование просадочности грунтов погребенных почв разных генетических типов в циклично построенных толщах лёссовых пород. Это потребует проведения детального опробования, специально ориентированного с учетом наличия генетических горизонтов в погребенном почвенном профиле. Эту проблему пока специально не ис-

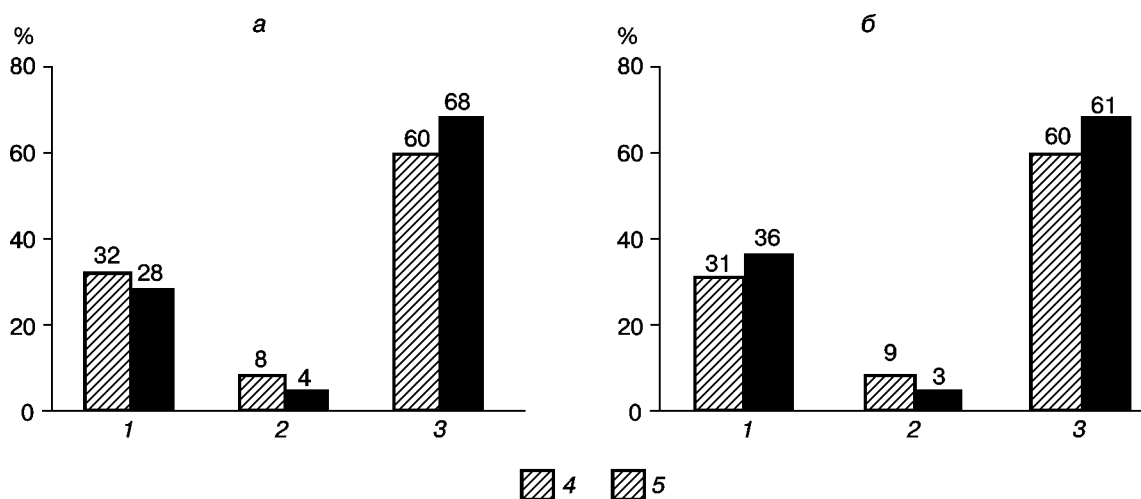


Рис. 5. Соотношение величины относительной просадочности грунтов погребенных почв ( $\varepsilon_{п}$ ) и перекрывающих (а) и подстилающих (б) их лёссовых пород ( $\varepsilon_{л}$ ) во всей совокупности изученных разрезов: 1 —  $\varepsilon_{п} > \varepsilon_{л}$ ; 2 —  $\varepsilon_{п} \approx \varepsilon_{л}$ ; 3 —  $\varepsilon_{п} < \varepsilon_{л}$ ; 4 — при природной нагрузке; 5 — при нагрузке 0,3 МПа

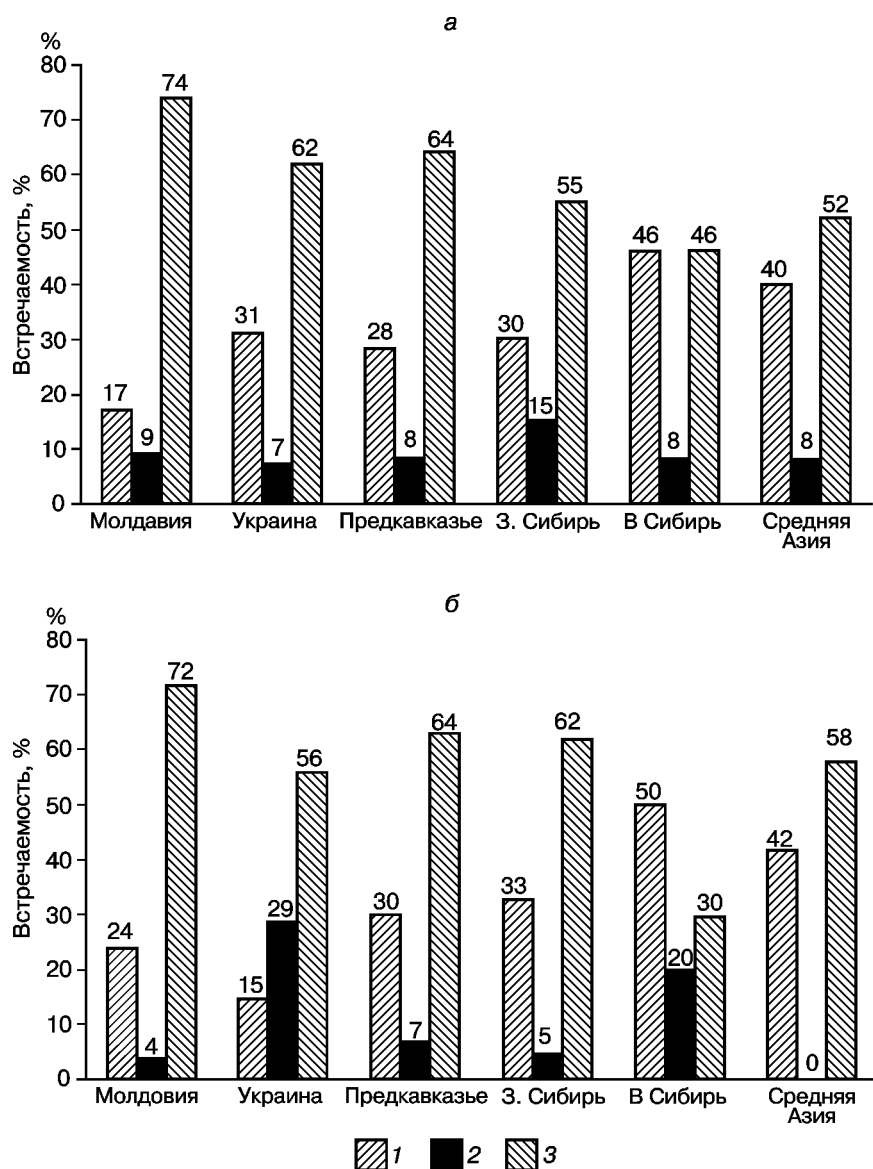


Рис. 6. Соотношение величины относительной просадочности (при природной нагрузке) грунтов погребенных почв ( $\varepsilon_{п}$ ) и перекрывающих (а) и подстилающих (б) их лёссовых пород ( $\varepsilon_{л}$ ) в разных регионах. Условные обозначения см. на рис. 5

следовали, хотя на основе имеющихся данных можно сделать заключение о наибольшей величине просадочности грунтов сероземных почв в циклично построенных массивах лёссовых пород.

Вторая задача (решение которой целесообразно совместить с первой) состоит в изучении соотношения просадочности грунтов погребенных почв и других элементов циклично построенных толщ лёссовых пород. Первые обобщения данных о просадочности грунтов погребенных почв в таких толщах привели к следующему выводу: «Старая точка зрения, согласно которой в разрезе погребенных почв развиты только непросадочные грунты, должна быть окончательно заменена совершенно иной, т.е. в разрезе погребенных почв присутствуют как непросадочные разности, так и просадочные, причем в южных районах территории бывш. СССР они преобладают. В то же время остается справедливым другое положение — величина относительной просадочности грунтов погребенных почв, несмотря на ее высокие значения во многих разрезах циклично построенных толщ лёссовых пород, в целом меньше, чем в выше- и нижезалегающих лёссовых породах. Это прежде всего объясняется особенностями состава погребенных почв — наличием в них органических веществ» [Трофимов, Ершова, 2004а, с. 79].

Однако последующие работы показали, что такое соотношение величин просадочности грунтов в названных элементах толщ лёссовых пород преобладает, но далеко не всегда. В трети случаев в рассмотренной выборке уста-

новлены иные соотношения. Это выдвигает в качестве одной из актуальных научных задач дальнейшее исследование соотношения просадочности грунтов погребенных почв, перекрывающих и подстилающих их в разрезе лёссовых пород, что потребует выполнения детального, специально ориентированного опробования разрезов лёссовых пород и объемного лабораторного изучения отобранного материала.

При проведении такого опробования необходимо осуществить отбор образцов-монолитов грунта из каждого генетического горизонта погребенных почв. При большой мощности таких горизонтов следует отбирать монолитные образцы через 20–25 см по вертикали и такие же образцы из выше- и нижележащих

лёссовых пород. Шаг опробования следует принять аналогичным, отбор образцов вести в интервале до 2 м вверх от кровли погребенной почвы и на такое же расстояние от ее подошвы.

Только такой подход позволит получить новый эмпирический материал о чрезвычайно интересном явлении — распределении просадочности по разрезу в циклично построенных массивах лёссовых пород, а затем использовать его для интерпретации генезиса просадочности. Эти же данные помогут оценить роль гипергенных процессов, которые воздействовали на почвообразующие лёссовые породы во время перерывов в осадконакоплении и при развитии процессов почвообразования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Лёссовые породы СССР. М.: Недра, 1986. Т. 1. 232 с.; Т. 2. 276 с.

Лёссовый покров Земли и его свойства / Под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001. 464 с.

Лёссы, погребенные почвы и криогенные явления на Русской равнине. М.: Наука, 1972. 156 с.

*Минервин А.В., Сергеев Е.М.* Новые данные к решению проблемы лёсса // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1964. № 5. С. 53–64.

*Морозова Т.Д.* Развитие почвенного покрова Европы в позднем плейстоцене. М.: Наука, 1981. 283 с.

Опорные инженерно-геологические разрезы лёссовых пород Северной Евразии / Под ред. В.Т. Трофимова. М.: КДУ, 2008. 608 с.

*Трофимов В.Т.* Генезис просадочности лёссовых пород. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1999. 271 с.

*Трофимов В.Т., Андреева Т.В.* О просадочности погребенных почв Предкавказья // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 2005. Т. 80, вып. 2. С. 93–99.

*Трофимов В.Т., Балыкова С.Д.* Просадочность погребенных почв циклично построенных толщ лёссовых пород Средней Азии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2005. № 4. С. 41–49.

*Трофимов В.Т., Ершова А.В.* Просадочность погребенных почв в циклично построенных толщах лёссовых пород // Там же. 2004а. № 2. С. 73–80.

*Трофимов В.Т., Ершова А.В.* Результаты изучения просадочности погребенных почв циклично построенных толщ лёссовых пород юга Молдовы и Украины (по данным опорных инженерно-геологических разрезов) // Там же. 2004б. № 6. С. 26–35.

*Шаевич Я.Е.* Цикличность в формировании лёссов (опыт системного подхода). М.: Наука, 1987. 104 с.

Поступила в редакцию  
21.02.2012