

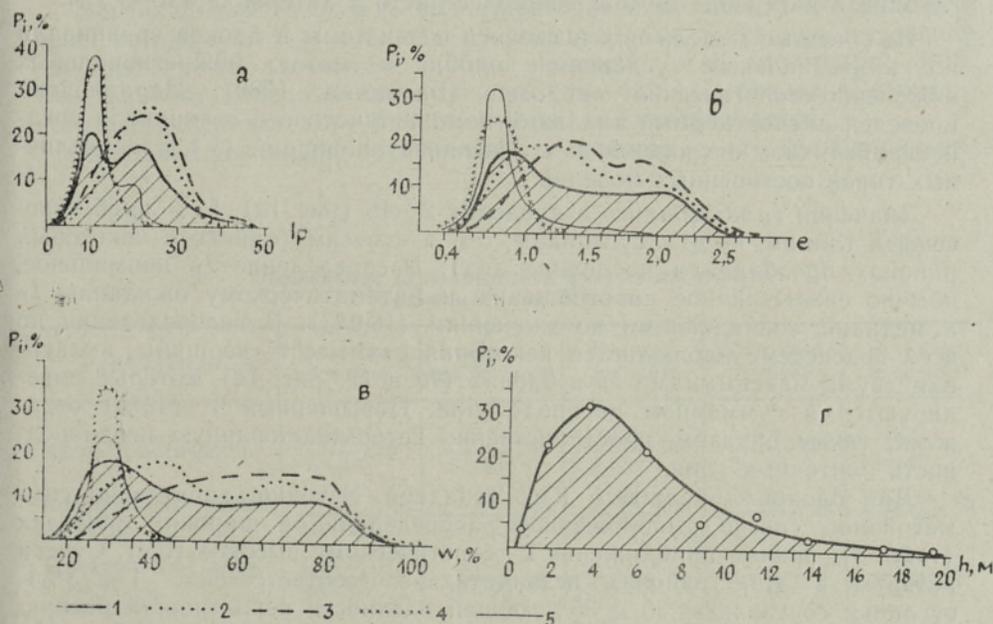
Ю. БАЛАНДИН, Лейли СААРСЕ, А. ВИЛО

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПОЛЕЙ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛЕНТОЧНЫХ ГЛИН ЭСТОНИИ

В настоящей статье с позиций системного анализа приведены результаты обработки физических свойств ленточных глин Эстонии. Работа проведена по аналогии с изучением свойств лёссов (Баландин, 1968, 1980), а также морских и континентальных отложений неогена Украины (Баландин и др., 1978) и является продолжением начатых ранее исследований по выявлению корреляционных зависимостей в ленточных глинах Эстонии (Саарсе, 1979; Vilo, 1962; Saarse, 1977; Võrk, Vilo, 1977).

При обработке фактического материала ленточные глины рассматривались в качестве грунтовой подсистемы, в которой блоками были приняты 4 главных региональных типа: 1) Западная Эстония (Хаапсалу, его окрестности, острова; 243 пробы); 2) Юго-Западная Эстония (Пярну и окрестность; 231 проба); 3) Южная Эстония (64 пробы); 4) Восточная Эстония (63 пробы). Выборки соответствовали условиям случайности и представительности.

Обобщающим показателем состава и свойств ленточных глин взято



Фиг. 1. Графики распределения плотности вероятностей (P_i), глинистости (по I_p), коэффициента пористости (e), естественной влажности (w) и глубин залегания (h) опробованных ленточных глин Эстонии. Условные обозначения: 1 — ленточные глины всей Эстонии; 2 — Западной; 3 — Юго-Западной; 4 — Южной; 5 — Восточной Эстонии.

число пластичности I_P , значения которого охватывают весь диапазон от легких супесей до тяжелых глин (рис. 1а). Дополнительно рассматривались коэффициент пористости e и естественная влажность w , имеющие весьма тесную корреляцию как между собой, так и с I_P . Она обусловлена тем, что состав, прежде всего содержание глинистой фракции (которое отражается I_P), определяется плотностью сложения ленточной глины, выражаемой как через e , так и через w (удельный вес колеблется в весьма узких пределах и в случае полного водонасыщения имеет место практически совершенная корреляция между e и w , если оба показателя определены по одной и той же пробе).

Для подсистемы в целом и для каждого блока построены и проанализированы распределения I_P , а также e и w . Кроме того, определена связь двух последних с I_P . Количество классовых интервалов при построении диаграмм функций распределения определялось по формуле Стерджесса. Оценку приближения фактического распределения к теоретическому (распределение Гаусса) производили методом моментов по Е. С. Вентцель (1969) и проверяли по критериям Пирсона и Линдберга. В корреляционном анализе выборки e и w дискретизировали по интервалам I_P , которые соответствовали классовым интервалам распределения плотностей вероятности I_P .

С целью определения влияния глубины залегания массив замеров I_P , e и w был дискретизован по 2-метровым интервалам. Для разных глубин h анализировали как средние поинтервальные значения свойств, так и параметры дисперсии в них, учитывая тот факт, что замеры глубины имели закономерный характер. Распределение плотности вероятностей h с высокой степенью приближения описывали нормальным распределением Релея (рис. 1б) при $\bar{h}=5,3$ м, моде 4,0 м, медиане 4,2 м, среднеквадратичном отклонении $\sigma=3,4$ м; в области $\bar{h}\pm\sigma$ находится 0,68 плотности вероятностей поля h (теоретическая плотность 0,683), вероятность моды 32%. Таким образом, в основном опробована глубина в интервале 2—9 м, наиболее часто в интервале 4,0—5,5 м.

Полученные модели полей свойств подсистемы и блоков сравнивали по критериальным условиям подобия — метод межрегиональных инженерно-геологических аналогий (Баландин, 1980). Параллельно проведен дисперсионный анализ, с помощью которого сравнивали среднеквадратичное отклонение и коэффициент вариации (V) для различных типов построенных моделей.

Значения I_P колебались в пределах 2—45 (рис. 1а), 57% проб отнесены к глинам, 40% к суглинкам, 3% к супесям (однако в некоторых районах преобладали последние два). Распределение I_P нормальное, обычно симметричное по отношению к математическому ожиданию I_P и медиане, совпадающим по значениям (18,6%). В распределении по всей подсистеме наблюдается некоторая размытость вершины, вызванная двумя максимумами I_P в блоках (10 и 22; рис. 1а), которые нивелируются в суммарном распределении. Повышенный V (43%) отражает, таким образом, пространственно детерминированную неоднородность ленточных глин.

Для блоков Западной и Юго-Западной Эстонии характерно симметричное, слегка выположенное распределение в широких пределах (табл. 1), причем приближение к теоретическому высокое (0,9). Супеси развиты в этих районах незначительно (соответственно 1 и 3%), суглинки составляют 30 и 35% общей плотности вероятностей распределения I_P .

Иная картина характерна для Южной и Восточной Эстонии, где легкие и средние суглинки составляют 78 и 86%. В распределении наблюдаются закономерные отклонения средних значений от модальных и левосторонняя асимметрия, что типично для диаграмм нормаль-

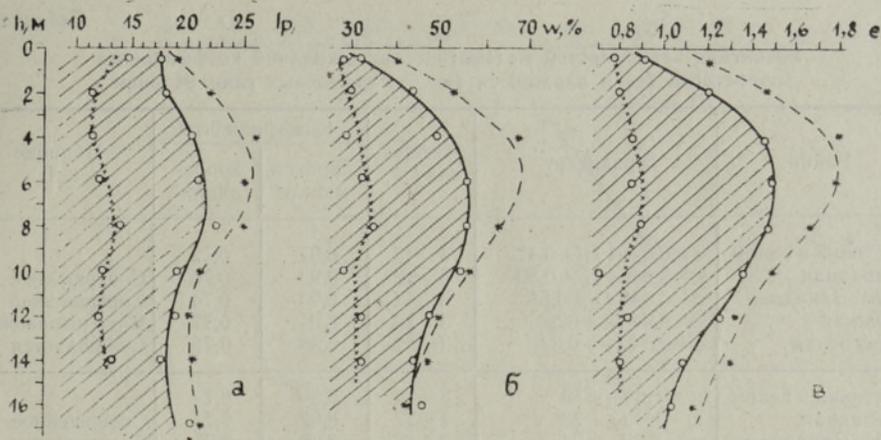


Рис. 2. Обобщенные значения числа пластичности (I_p), естественной влажности (w) и коэффициента пористости (e). Условные обозначения см. рис. 1.

ного распределения Релея. Плотность вероятностей «зон двух сигм» близка теоретической (сходимость 0,92—0,94).

Эти данные показывают, что дисперсия поля I_p в блоках почти на четверть ниже, чем в подсистеме в целом. Кроме того, находит свое подтверждение одно из основных положений теории вероятностей: «композиция нормальных распределений есть также нормальное распределение» (Вентцель, 1969). Нормальность распределения I_p позволяет применять к его полям метод малой выборки, а также указывает на возможность использования его в качестве факторального признака при построении корреляционных моделей зависимостей свойств от состава.

Вертикальный тренд в I_p виден при сравнении поля I_p по глубине h (рис. 2а). До 8—9 м наблюдается лишь слабая тенденция изменения обобщенных по элементам глубин значений I_p с амплитудой 3—5. Коэффициент вариации значительный (41—43%) и близок V суммарного распределения; с глубиной он несколько увеличивается.

Основное положение грунтоведения: свойства — это функция состава

Таблица 1

Обобщенные характеристики физических свойств ленточных глин Эстонии

| Показатель | Западная Эстония | Юго-Западная Эстония | Южная Эстония | Восточная Эстония | Эстония в целом |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Число пластичности | $\frac{20,5}{3-40}$ 36 | $\frac{22,5}{5-45}$ 30 | $\frac{11,6}{3-21}$ 38 | $\frac{10,8}{3-22}$ 31 | $\frac{18,6}{3-45}$ 45 |
| Коэффициент пористости | $\frac{1,45}{0,5-2,4}$ 35 | $\frac{1,58}{0,7-3,0}$ 29 | $\frac{0,84}{0,5-1,5}$ 28 | $\frac{0,77}{0,4-1,1}$ 26 | $\frac{1,34}{0,4-3,0}$ 39 |
| Естественная влажность, % | $\frac{52,5}{18-94}$ 36 | $\frac{59,0}{26-99}$ 29 | $\frac{28,4}{20-40}$ 13 | $\frac{27,6}{19-40}$ 19 | $\frac{49}{18-99}$ 39 |

Примечание. В числителе — математическое ожидание поля; в знаменателе — размах распределения; справа — коэффициент вариации, %.

Уравнения зависимостей математических ожиданий коэффициента пористости (e) и влажности (w , %) ленточных глин Эстонии

| Район | Уравнение | Интервал I_p | Коэффициенты | | Подобие к 1 |
|-------------------|---------------------|----------------|---------------|------------|---------------|
| | | | аппроксимации | корреляции | |
| 1 Эстония в целом | $e=0,0464 I_p+0,47$ | 3—45 | 0,97 | 0,72 | |
| 2 Западная | $e=0,0464 I_p+0,50$ | 3—42 | 0,93 | 0,76 | Совершенное |
| 3 Юго-Западная | $e=0,046 I_p+0,55$ | 3—42 | 0,93 | 0,74 | Совершенное |
| 4 Южная | $e=0,04 I_p+0,38$ | 3—22 | 0,91 | 0,77 | Явно выражено |
| 5 Восточная | $e=0,04 I_p+0,34$ | 3—22 | 0,88 | 0,75 | Соблюдается |
| 1 Эстония в целом | $w=1,6 I_p+19$ | 3—42 | 0,96 | 0,74 | |
| 2 Западная | $w=1,6 I_p+20$ | 3—37 | 0,97 | 0,77 | Совершенное |
| 3 Юго-Западная | $w=1,6 I_p+24$ | 3—42 | 0,92 | 0,71 | Совершенное |
| 4 Южная | $w=1,4 I_p+14$ | 3—22 | 0,90 | 0,66 | Соблюдается |
| 5 Восточная | $w=1,6 I_p+11$ | 3—22 | 0,96 | 0,74 | Явно выражено |

ва и структурно-текстурных особенностей, что проявляется на уровне стратиграфо-генетических комплексов. Составом в существенной мере определяется и строение ленточных глин, что отражается в параметрах пористости. Коэффициент пористости e имеет широкий диапазон (0,4—3,0). Почти половина его поля (рис. 1в) характеризует грунт как рыхлое структурное отложение; коэффициент вариации поля несколько выше теоретического. В интервале двух сигм ($\sigma=0,52$) сосредоточен 61% общей плотности вероятности поля; распределение нормальное, приближающееся к распределению Релея ($\sim 0,9$). Вершина распределения в подсистеме размыва из-за несовпадения вершин в блоках. Уплотненность ленточной глины в различных блоках резко различается (табл. 1). В Южной и Восточной Эстонии в грунтах более легкого состава существовали благоприятные условия дренирования, значительно усиленные расчлененностью рельефа, и процесс гравитационного уплотнения проходил энергичнее, чем на равнинах Западной Эстонии, где грунтовые воды находятся почти на поверхности земли и скорость диагенетической дегидратации невелика. С глубиной e закономерно изменяется, что в основном отражает изменения состава грунта (рис. 1а); в приповерхностном слое фиксируется также влияние процессов выветривания (образуется корка высухания, сопровождаемая усадкой). Коэффициент вариации с глубиной практически не изменяется.

Связь коэффициента пористости с числом пластичности почти линейная (рис. 3а). Регрессионные уравнения приведены в табл. 2. При разбивке поля e на интервалы по значениям I_p наблюдается закономерное уменьшение коэффициента вариации пористости (%) при росте глинистости. Это можно выразить линейной корреляцией $V_e=35-0,6 I_p$, а в подсистеме в целом коэффициент вариации значительно выше ($\sim 1/3$), чем в отдельных блоках.

Уже при первых обработках данных по ленточным глинам Пярну (Vilo, 1962) была выявлена чрезвычайно высокая информативность естественной влажности, подтвержденная позднее почти для всех ленточных глин, а также голоценовых слабых глинистых грунтов Эстонии. Влажность w при полном водонасыщении в первую очередь отражает пористость, формирование которой определяется составом и условиями диагенеза, и колеблется в широких пределах (от 18 до 99%); преобладают значения 30—70% (рис. 1б), математическое ожидание 49% и $V=39\%$. Так как максимальная молекулярная влагоемкость ленточ-

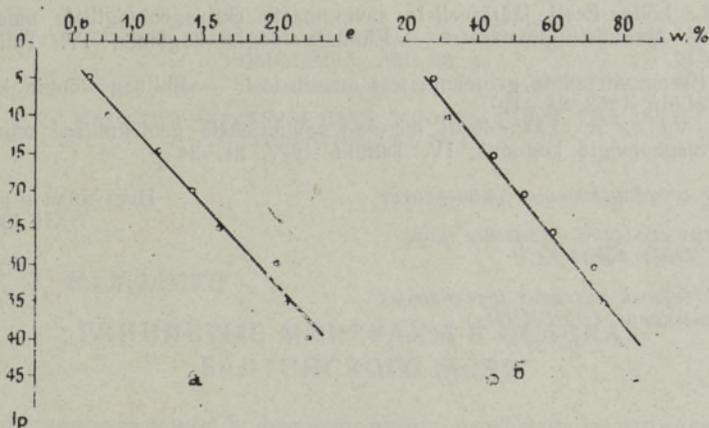


Рис. 3. Зависимость полей коэффициента пористости (e) и естественной влажности (w) от числа пластичности (I_p) ленточных глин Эстонии.

ных глин составляет 20—35%, то большая часть воды в грунте находится в свободном состоянии, особенно в грунтах Западной Эстонии. Распределение влажности в блоках нормальное, релеевское (I блок) или гауссового типа, распределение в подсистеме также нормальное. Вариации поля w (как и соотношение свободной и связанной воды) контролируются прежде всего пространственным положением грунта и практически совпадают с распределением коэффициента пористости по глубине, причем для подсистемы в целом V несколько больше, чем для отдельных блоков.

Наименьшая дисперсия, характерная для распределения w при дискретизации по I_p ($V=15-27\%$), свидетельствует о контролирующей роли состава грунта. Связь между w и I_p практически линейная (рис. 3б, табл. 2). Математическое подобие в отдельных блоках достаточно близко к таковой в подсистеме в целом.

Полученные данные подтверждают надежность применения системного анализа при проведении дальнейших обобщающих работ, особенно при детализации региональной инженерно-геологической обстановки в Эстонии. Рассмотренные ленточные глины представляют собой грунтовую подсистему с четкой спецификой, отличающейся от инженерно-геологической специфики других глинчатых грунтов, что выражается в определяющем значении состава и в подобии моделей связей для ленточных глин разных районов.

ЛИТЕРАТУРА

- Баландин Ю. Г. О взаимосвязях некоторых характеристик физико-механического состояния лёссовых пород. — Тр. междунар. симп. по литологии и генезису лёссовых пород, Ташкент, 1968, 2, 85—98.
- Баландин Ю. Г. Принципы теории подобия в математической формализации межрегиональных инженерно-геологических аналогий (на примере пород лёссовой формации). — В кн.: Теоретические и методические проблемы повышения качества и эффективности инженерно-геологических исследований. Тез. докл. Всес. конф. Ростов-на-Дону, 1980, 3, 50—54.
- Баландин Ю. Г., Костяной М. Г., Маркитан Ю. П. Межрегиональные инженерно-геологические аналогии на примере неогеновых глин Украины. — Докл. АН УССР. Сер. Б, 1978, 1, 3—7.
- Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М., 1969.
- Саарсе Л. Связь между естественной влажностью и физическими свойствами озерно-ледниковых глин Южной Эстонии. — Изв. АН ЭССР. Геол., 1979, 28, 119—122.

Saarse, L. Lõuna-Eesti jääjärveliste savipinnaste ehitusgeoloogiliste omaduste sõltuvus lasumistingimustest. — Ehitusgeoloogia kogumik, IV. Tallinn, 1977, 35—42.

Vilo, A. Pärnu viirsavide geotehnilistest omadustest. — Ehitusgeoloogia kogumik, I. Tallinn, 1962, 98—127.

Võrk, E., Vilo, A. Lääne-Eesti nõrkade savipinnaste geotehnilised omadused. — Ehitusgeoloogia kogumik, IV. Tallinn, 1977, 21—34.

Одесский государственный университет

Институт геологии Академии наук
Эстонской ССР

Государственный институт инженерных
изысканий (ЭстГНИИЗ)

Поступила в редакцию
7/XII 1981

J. BALANDIN, Leili SAARSE, A. VILO

EESTI VIIRSAVIDE FÜÜSIKALISTE OMADUSTE VÄLJADE SÜSTEEMSED ISEÄRASUSED

Artiklis on esitatud Eesti viirsavide füüsikalised näitajad koos olulisemate statistiliste karakteristikutega. On selgitatud, et viirsavide omadused muutuvad vertikaalsuunas, ja leitud poorsusteguri (e) ning veesisalduse (w) korrelatsioon plastsusarvuga (I_P).

Y. BALANDIN, Leili SAARSE, A. VILO

SYSTEM PECULIARITIES OF PHYSICAL PROPERTIES OF ESTONIAN VARVED CLAYS

The present paper deals with generalized physical properties of varved clays in different part of the territory of Estonia, as well as with their variability in depth and with the correlation of the plasticity index (I_P) with the void ratio (e) and water content (w).