

УДК 624.154.1

**М.А. Акбуляков, А.Б. Пономарев,  
Е.Н. Сычкина, А.Ю. Черепанов**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

**СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АРГИЛЛИТОВ  
ПРИ ВЫБОРЕ ПАРАМЕТРОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ  
В ПРОЕКТИРОВАНИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

Рассмотрена проблема выбора параметров механических свойств аргиллитов для проектирования в г. Перми. Основное внимание уделено результатам статического зондирования и лабораторных исследований. Проанализированы механические характеристики аргиллитов, полученных различными методами, даны рекомендации по проектированию.

**Ключевые слова:** аргиллит, модуль деформации, компрессионный модуль деформации, удельное сцепление, угол внутреннего трения.

*Актуальность исследования.* В связи с инвестиционной привлекательностью центральных районов г. Перми там активно ведется высотное строительство, при этом возрастают нагрузки на грунтовое основание и увеличивается глубина заложения фундаментов. В настоящее время существует целый ряд научных работ А.Б. Пономарева, А.В. Захарова [1], С.В. Калошиной, посвященных строительству в инженерно-геологических условиях г. Перми, однако вопросы выбора прочностных и деформационных характеристик при проектировании оснований, сложенных пермскими аргиллитами, по-прежнему освещены крайне слабо.

В рамках данного исследования рассматривались аргиллиты пермского возраста, которые в пределах г. Перми используются в качестве основания для фундаментов глубокого заложения. Аргиллит (от греч. *argillos* – глина и *lithos* – камень) – осадочная горная порода, образовавшаяся в результате уплотнения, обезвоживания и цементации глин; от последних отличается большей твердостью. Предметом исследования являлись их механические свойства: модуль общей деформации  $E$  (МПа), удельное сцепление  $c$  (МПа), угол внутреннего трения  $\varphi$  (град).

Цель исследований авторов – разработка рекомендаций по выбору параметров для расчета оснований зданий и сооружений г. Перми, сложенных аргиллитами, по первой и второй группе предельных состояний. Основой послужило сравнение результатов полевых и лабораторных испытаний данных грунтов. Для достижения поставленной цели в ходе исследования были решены следующие задачи:

- 1) дана инженерно-геологическая характеристика площадки исследований;
- 2) разработана методика определения механических свойств аргиллитов;
- 3) выполнена серия экспериментов по определению механических свойств аргиллитов в лабораторных и полевых условиях;
- 4) проанализированы полученные результаты;
- 5) разработаны рекомендации по оценке механических свойств аргиллитов.

#### *Характеристика площадки исследований*

В геоморфологическом отношении участок исследований расположен на делювиальном склоне IV левобережной надпойменной террасы долины р. Камы.

В административном отношении участок исследований расположен северо-восточнее пересечения ул. Нефтяников и Комбайнеров Индустриального района г. Перми. На исследуемом участке грунты шешминского горизонта уфимского яруса пермской системы перекрыты чехлом четвертичных аллювиальных глинистых грунтов. С поверхности повсеместно залегают техногенные насыпные грунты (рис. 1).

Мощность насыпных грунтов на площадке варьируется в пределах 5–10 м. С поверхности насыпной грунт представлен суглинками коричневого цвета, от текучепластичной до тугопластичной консистенции, со строительным мусором.

Четвертичные отложения представлены глинистыми грунтами. Мощности четвертичных аллювиальных отложений составляет от 1,3 до 6,9 м. На глубине от 8 до 9 м залегает глина черного цвета, заторфованная, текучепластичная. На глубине от 9 до 11,7 м залегает глина темно-серого цвета, текучая, с примесью органического вещества, встречается строительный мусор.

Аргиллиты залегают на глубинах 9,6–13,0 м. Породы сильнотрещиноватые, сильно и неравномерно выветрелые. Физические характеристики аргиллита приведены по данным ВерхнекамГИСИЗ [2] в табл. 1.

Сопоставление результатов экспериментальных исследований

Номер слоя п/п	Геологический индекс	Глубина залегания слоя, м		Мощность, м	Отметка подошвы слоя, м	Литологический разрез и номер ИГЭ	Глубина отбора проб грунта и воды, ее лабораторный номер	Описание грунта	Сведения о воде	
		от	до						Появление воды, м	Установ. уровень, м
1	tQ	0,00	5,50	5,50	135,96		▲ 3539 ▲ 3540	Насыпной грунт: суглинок коричневый, тяжелый пылеватый, тугопластичный, с глубины 3 м – мягкопластичный, с неравномерным включением строительного мусора (гравий, куски битого кирпича, опил, деревянные щепки, куски металла). Грунт несложившийся, отсыпан беспорядочно, до глубины 1,2 м мерзлый, возраст менее 1 года	3,00 15,12,11	3,00 16,12,11
2	aQ	5,50	7,50	2,00	133,96		■ 3541	Суглинок серовато-коричневый, легкий песчаный, мягкопластичный, с гнездами песка мелкого, насыщенного водой и с включением гравия кварцево-кремнистого состава до 10 %		
3	aQ	7,50	12,00	4,50	129,46		■ 3542 ■ 3543	Глина коричневая, легкая пылеватая, мягкопластичная, с единичным гравием		
4	Pss	12,00	30,00	вск. 18,00	111,46		■ 3544 ● 6 ■ 3545 ■ 3546 ■ 3547	Аргиллит красновато-коричневый, тонкослоистый, сильновыветренный и сильнотрещиноватый (рухляк), с тонкими прослойками песчаника серого, мелкозернистого, неравномерно выветрелого и сильнотрещиноватого. Грунт по трещинам обводнен		

Рис. 1. Геолого-литологическая колонка изучаемой площадки г. Перми

## Показатели физических свойств аргиллитов

№ п/п	Характеристики грунта	Среднее значение
1	Природная влажность, %	18,6
2	Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,05
3	Плотность частиц грунта, г/см <sup>3</sup>	2,75
4	Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	1,73
5	Пористость, %	37,22
6	Коэффициент пористости, д. ед.	0,596
7	Коэффициент водонасыщения, д. ед.	0,855

По архивным данным ВерхнекамГИСИз [2], на исследуемом участке зафиксированы подземные воды верховодки, трещинно-грунтовые воды в кровле аргиллитов и порово-грунтовые воды в четвертичных отложениях. Установившейся уровень грунтовых вод в июле – августе 2010 года находился в пределах 2,5–4,3 м, в декабре 2011 года – 2,1–4,5 м.

По данным изысканий, в августе 2012 года грунтовые воды встречены на глубине 1,7 м от поверхности земли.

*Методика полевых исследований*

Полевые испытания аргиллитов проводились методом статического зондирования. Статическое зондирование осуществлялось мобильной малогабаритной установкой LWC-100XS фирмы Geomil Equipment (рис. 2) с механической системой вдавливания зонда, в соответствии с ГОСТ 19912 [3].



Рис. 2. Установка статического зондирования LWC-100XS

Тип зонда II. Параметры зонда следующие: диаметр основания конуса – 35,7 мм, угол при вершине конуса – 60°, площадь конуса 10 см<sup>2</sup>, наружный диаметр штанг – 36 мм, длина штанги – 1 м. Вдавливание зонда производилось с одновременным измерением сопротивления грунта под наконечником зонда ( $q_c$ ) и сопротивления грунта на боковой поверхности зонда ( $f_c$ ) с автоматизированной фиксацией контролируемых параметров.

Результаты полевых испытаний были обработаны с использованием методов математической статистики согласно ГОСТ 20522 [4]. Расчет механических характеристик производился согласно выражениям, приведенным М.С. Захаровым [5] по следующим формулам:

– модуль общей деформации, МПа,

$$E_0 = 7q_c, \quad (1)$$

где  $q_c$  – сопротивление грунта под наконечником зонда (лобовое сопротивление конуса);

$\varphi$  – угол внутреннего трения, град,

$$\varphi = 18,571q_c^{0,207}; \quad (2)$$

$c$  – удельное сцепление, кПа,

$$c = 6q_c + 11c. \quad (3)$$

Результаты полевых испытаний были сопоставлены с результатами фондовых материалов ВерхнекамТИСИЗ [2].

### ***Методика лабораторных исследований***

*Компрессионный модуль деформации.* Данные лабораторных испытаний по определению деформационных характеристик приняты согласно фондовым данным ООО «ВерхнекамТИСИЗ» [2]. Испытания аргиллитов проводились в компрессионном приборе. Нагружение образцов производилось ступенями от 25 до 400 кПа согласно ГОСТ 12248–96 «Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости» [6].

Модуль деформации ( $E_k$ ) по данным компрессионных испытаний для глинистых грунтов рассчитан в интервале нагрузок 0,1–0,2 МПа, по формуле 5.28 ГОСТ 12248–96 [6]:

$$E_k = \frac{1 - e_i}{m_0} \beta, \quad (4)$$

где  $e_1$  – значение коэффициента пористости, соответствующее нагрузкам при 0,2; 0,4 МПа;  $m_0$  – коэффициент сжимаемости, соответствующий интервалам давления 0,2–0,4 МПа;  $\beta$  – коэффициент, учитывающий отсутствие поперечного расширения грунта в компрессионном приборе. При расчете компрессионного модуля деформации коэффициент  $\beta$  принимался равным 1.

*Удельное сцепление, угол внутреннего трения.* Данные лабораторных испытаний по определению прочностных характеристик приняты согласно фондовым данным ООО «ВерхнекамГИСИЗ» [2]. Испытания по определению прочностных свойств образцов аргиллита проводились методом одноплоскостного среза согласно ГОСТ 12248–96 [6]. Опыты проводились по неконсолидированно-недренированной схеме, в водонасыщенном состоянии. Значения нормальных давлений в опытах составляли 100, 150 и 200 кПа.

Угол внутреннего трения  $\varphi$  и удельное сцепление  $c$ , МПа, вычислялись по следующим формулам:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{n \sum \tau_i \sigma_i - \sum \tau_i \sum \sigma_i}{n \sum (\sigma_i)^2 - (\sum \sigma_i)^2}; \quad (5)$$

$$c = \frac{\sum \tau_i \sum \sigma_i^2 - \sum \sigma_i \sum \tau_i \sigma_i}{n \sum (\sigma_i)^2 - (\sum \sigma_i)^2}, \quad (6)$$

где  $\tau_i$  – опытные значения сопротивления срезу, кПа, определенные при различных значениях вертикального напряжения  $\sigma_i$ , кПа;  $n$  – число испытаний.

### ***Результаты полевых испытаний***

По данным статического зондирования были получены следующие результаты:

– значения модуля общей деформации изменялись от 9,73 до 78,11 МПа (табл. 2); среднее значение модуля общей деформации составило 39,36 МПа;

– значения угла внутреннего трения изменялись от 18,69 до 30,60° (см. табл. 2). Наименьшие значения также были зафиксированы для кровли аргиллитов, наибольшие – для нижней части разреза аргиллитов; среднее значение угла внутреннего трения составило 25,74°;

– значения удельного сцепления изменялись от 22,69 до 77,95 кПа (см. табл. 2); среднее значение удельного сцепления составило 45,38 кПа.

Таблица 2

Механические характеристики аргиллитов,  
полученные в результате статического зондирования

Глубина $h$ , м	Механические характеристики		
	$E_0$ , МПа	$\varphi$ , град	$c$ , кПа
10,4	65,36	29,49	67,02
10,6	66,62	29,61	68,10
10,8	78,11	30,60	77,95
11,0	38,36	26,41	43,88
11,2	22,99	23,75	30,70
11,4	41,13	26,41	46,26
11,6	40,26	26,32	45,51
11,8	29,00	24,91	35,86
12,0	41,55	26,78	46,62
12,2	31,38	25,33	37,90
12,4	23,39	23,30	31,05
12,6	29,29	24,88	36,11
12,8	13,64	21,32	22,69
13,0	9,73	18,69	25,31
13,2	14,88	20,12	29,06
13,4	40,37	24,23	48,50
13,6	42,90	27,03	47,78
13,8	28,48	24,83	35,41
14,0	39,55	26,58	44,90
14,2	49,25	27,81	53,21
14,4	65,71	29,52	67,33
14,6	54,06	28,35	57,33

Полевые испытания статическим зондированием показывают завышенные результаты по отношению к нормативным значениям  $E$ ,  $c$ ,  $\varphi$ , приведенным в СП 22.13330.2011 [7]. Расчетные значения характеристик глинистых грунтов в этом случае принимались при следующих значениях коэффициента надежности по грунту: в расчетах оснований по деформациям  $\gamma_g = 1,12$ ; в расчетах оснований по несущей способности для удельного сцепления  $\gamma_{g(c)} = 1,14$ , для угла внутреннего трения  $\gamma_{g(\varphi)} = 1,05$  (табл. 3).

### **Результаты лабораторных испытаний**

Среднее значение компрессионного модуля деформации в интервале давлений 0,2–0,4 МПа составило 13,7 МПа. Среднее значение угла внутреннего трения  $\varphi_n = 23^\circ$ , удельное сцепление  $c_n = 39$  кПа (см. табл. 3).

Нормативные значения удельного сцепления  $c_n$ , кПа, угла внутреннего трения  $\varphi_n$ , град, и модуля деформации  $E$ , МПа, элювиальных глинистых грунтов осадочных аргиллито-алевролитовых пород приняты согласно СП 22.13330.2011 [7] для коэффициента пористости  $e = 0,6$  и приведены в табл. 3. Расчетные значения характеристик глинистых грунтов в этом случае принимают при следующих значениях коэффициента надежности по грунту: в расчетах оснований по деформациям  $\gamma_g = 1$ ; в расчетах оснований по несущей способности для удельного сцепления  $\gamma_{g(c)} = 1,5$ , для угла внутреннего трения  $\gamma_{g(\varphi)} = 1,15$ .

Т а б л и ц а 3

Прочностные и деформационные свойства аргиллитов г. Перми  
(полученные на экспериментальной площадке)

Обозначение характеристик грунта	Результаты, полученные различными методами					Нормативные значения, согласно СП 22.13330.2011 [7]	
	Статическое зондирование		Лабораторные опыты				
	Нормативное значение	Расчетные значения при доверительной вероятности, $\alpha$		Нормативное значение	Расчетные значения при доверительной вероятности, $\alpha$		
0,85		0,95	0,85		0,95		
$c$ , кПа	45,38	42,01	39,91	39	23	13	44
$\varphi$ , град.	25,74	25,05	24,61	23	19	16	22,5
$E$ , МПа	39,36	35,24	32,67	13,7			19

Таким образом, результаты лабораторных испытаний пермских аргиллитов, полученные на экспериментальной площадке, оказались заниженными по отношению к результатам полевых испытаний и к нормативным значениям, приведенным в СП 22.13330.2011 [7].

### **Рекомендации по оценке механических свойств аргиллитов**

Использование характеристик, получаемых в результате полевых испытаний на экспериментальной площадке ( $E = 39,36$  МПа,  $c = 45,38$  кПа,  $\varphi = 25,74^\circ$  при значениях коэффициента надежности в расчетах оснований по деформациям  $\gamma_g = 1,12$ ; в расчетах оснований по несущей способности  $\gamma_{g(c)} = 1,5$  и  $\gamma_{g(\varphi)} = 1,15$ ).



шей способности  $\gamma_{g(c)} = 1,14$ ,  $\gamma_{g(\varphi)} = 1,05$ ), позволит принять более экономичные решения при проектировании фундаментов, однако в этом случае мы не учитываем возможную активизацию такого опасного геологического процесса, как подтопление подземными водами. Результаты исследований, проведенных в ПНИПУ Е.Н. Сычкиной, И.А. Ощепковой, М.А. Акбуляковым [8, 9], свидетельствуют о том, что аргиллиты крайне неустойчивы к воздействию воды и, согласно классификации ГОСТ 25100–95 [10], являются грунтами очень низкой прочности, обладающими высокой степенью размягчаемости в воде. Недостаточное знание или игнорирование специфики данных грунтов может привести к переоценке их механических характеристик, что может повлечь за собой запредельные деформации грунтового основания и нарушение конструкционной безопасности сооружений.

Использование в расчетах значений прочностных и деформационных характеристик грунтов, полученных в результате лабораторных опытов ( $E = 13,7$  МПа,  $c = 39$  кПа,  $\varphi = 23^\circ$ , с учетом коэффициента надежности по грунту: в расчетах оснований по деформациям  $\gamma_g = 1$ ; в расчетах оснований по несущей способности  $\gamma_{g(c)} = 1,5$ ,  $\gamma_{g(\varphi)} = 1,15$ ), позволит исключить непредвиденные осадки зданий и сооружений, опирающихся на данные грунты. Своевременный учет специфики поведения аргиллитов при водонасыщении на стадии инженерно-геологических изысканий, разработки проектной и рабочей документации позволит исключить затраты на специальные мероприятия по восстановлению прочностных и деформационных свойств оснований фундаментов. Однако в этом случае мы принимаем менее экономичные решения при проектировании фундаментов.

По мнению авторов, целесообразно увеличить объем инженерно-геологических изысканий, как полевых, так и лабораторных, для получения достоверных прочностных и деформационных характеристик пермских аргиллитов. Всесторонний анализ полученных опытных данных позволит разработать региональные нормативные документы для г. Перми и в дальнейшем принимать наиболее рациональные и экономически эффективные проектные решения при проектировании оснований, сложенных аргиллитами.

### Библиографический список

1. Пономарев А.Б., Захаров А.В., Сурсанов Д.Н. К вопросу использования верхнепермских отложений в качестве грунтовых оснований // Вестник ПГТУ. Урбанистика. – Пермь, 2011. – № 1. – С. 74–80.

2. Отчет об инженерно-геологических изысканиях на объекте «Жилой комплекс с помещениями общественного назначения, многофункциональным зданием по ул. Мира, 41 в Индустриальном районе г. Перми» (2 очередь). Дог. № 1108/1 / ВерхнекамГИСИЗ. – Пермь, 2012.

3. ГОСТ 19912–2001. Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием. – М., 2001.

4. ГОСТ 20522–96. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний. – М., 1996.

5. Захаров М.С. Статическое зондирование в инженерных изысканиях: учеб. пособие / СПб. гос. архит.-строит. ун-т. – СПб., 2007.

6. ГОСТ 12248–96. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. – М., 1996.

7. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01–83\*. – М., 2011.

8. Ощепкова И.А., Сычкина Е.Н. Анализ влияния степени водонасыщенности на деформационные характеристики полускальных грунтов // Вестник ПНИПУ. Урбанистика. – Пермь, 2012. – № 2. – С. 8–16.

9. Акбуляков М.А., Сычкина Е.Н., Пономарев А.Б. Методика определения предела прочности на одноосное сжатие полускальных грунтов (на примере аргиллитов г. Перми) // Механика грунтов в геотехнике и фундаментостроении: материалы всерос. науч.-техн. конф. / ЮРГТУ (НПИ). – Новочеркасск, 2012. – С. 250–256.

10. ГОСТ 25100–95. Грунты. Классификация. – М., 1995.

Получено 1.10.2012

**М.А. Akbulyakov, A.B. Ponomarev,  
E.N. Sychkina, A.Yu. Cherepanov**

**COMPARE OF THE RESULTS OF EXPERIMENTAL  
RESEARCHES OF MECHANICAL PROPERTIES  
OF CLAYSTONE FOR THE CHOICE OF PARAMETERS USED  
IN THE DESIGN OF BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS**

The article is dedicated to the problem of the choice parameters of mechanical properties of claystone for design in Perm. Much attention is given to the results of cone penetration tests and laboratory tests. The article represents an analysis of mechanical properties for claystone, obtained by various methods, offers recommendations for design.

**Keywords:** claystone, deformation module, odometric module, effective cohesion intercept, angle of internal friction.

### Сведения об авторах

**Акбуляков Михаил Алексеевич** (Пермь, Россия) – магистрант кафедры «Строительное производство и геотехника» ФГБОУ ВПО ПНИПУ (e-mail: spstf@pstu.ru).

**Пономарев Андрей Будимирович** (Пермь, Россия) – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительное производство и геотехника» ФГБОУ ВПО ПНИПУ (e-mail: spstf@pstu.ru).

**Сычкина Евгения Николаевна** (Пермь, Россия) – ассистент кафедры «Строительное производство и геотехника» ФГБОУ ВПО ПНИПУ (e-mail: spstf@pstu.ru).

**Черепанов Александр Юрьевич** (Пермь, Россия) – зам. генерального директора ОАО ПЗСП.

### About the authors

**Akbulyakov Mikhail Alekseevich** (Perm, Russia) – student, Department of Building production and geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (e-mail: spstf@pstu.ru).

**Ponomarev Andrey Budimirovich** (Perm, Russia) – Doctor of Technics, Professor, Head of Department of Building production and geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (e-mail: spstf@pstu.ru).

**Sychkina Evgeniya Nikolaevna** (Perm, Russia) – assistant lecturer, Department of Building production and geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (e-mail: spstf@pstu.ru).

**Cherepanov Aleksandr Jurievich** (Perm, Russia) – assistant general director Public corporation PZSP.