

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЛЕКСА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ОЦЕНКИ ДЕФОРМИРУЕМОСТИ ЛЬДОНАСЫЩЕННЫХ КРУПНООБЛОМОЧНЫХ ГРУНТОВ

О. К. Воронков

*ОАО Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники им. Б. Е. Веденеева,
195220, С.-Петербург, ул. Гжатская, д. 21, Россия*

Оценка статического модуля общей деформации E_0 и статического модуля упругости E_c мерзлых грунтов по данным полевых геофизических методов, как правило, использует лишь одну из геофизических характеристик, что делает такую оценку весьма приблизительной. Предлагается способ, снижающий предельную ошибку оценки в 2—2,5 раза, использующий 3—5 характеристик, определяемых геофизическими методами в условиях естественного залегания пород: скорости V_p продольной и V_s поперечной волн, а также функционально связанный с ними динамический модуль упругости E_d , удельное электрическое сопротивление ρ , температура t° пород.

Мерзлые крупнообломочные грунты, деформируемость, упругие характеристики, удельное электрическое сопротивление, температура пород

COMPLEX OF GEOPHYSICAL PARAMETERS FOR ESTIMATION OF DEFORMABILITY OF ICE-SATURATED COARSE-CLASTIC SOILS

O. K. Voronkov

Vedeneev All-Russian Research Hydrotechnical Institute, 195220, St. Petersburg, Gzhatskaya st. 21, Russia

Evaluation of static moduli of total strain E_0 and of elasticity E_s obtained by geophysical methods usually uses only one of geophysical characteristics. This fact leads to a rather approximate assessment. The limiting error may be decreased 2—2,5 times if to apply a method based on 3—5 parameters which are determined by geophysical methods in situ: V_p and V_s — velocities of longitudinal and transversal elastic waves, E_d — dynamic modulus of elasticity, ρ — electric resistivity, and t° — temperature of soils.

Frozen coarse-clastic deposits, deformability, elastic parameters, electric resistivity, temperature of soils

Оценка деформационных свойств (статических модулей деформации E_0 и упругости E_c) мерзлых грунтов по данным полевых геофизических методов, как правило, использует лишь одну из геофизических характеристик, что делает такую оценку весьма грубой. Ниже предлагается способ, разработанный в лаборатории инженерной геологии и геокриологии ВНИИГ и основанный на использовании трех-пяти характеристик, определяемых геофизическими методами в условиях естественного залегания пород. При этом предельная погрешность оценки E_0 и E_c снижается приблизительно в 2—2,5 раза. Способ апробирован при исследованиях основания Усть-Среднеканской ГЭС на р. Колыма.

Наиболее информативными геофизическими характеристиками, связанными с деформируемостью мерзлых крупнообломочных грунтов, являются:

— значения скорости упругих волн (продольных V_p , поперечных V_s , релеевских V_R) и

функционально связанные с ними динамические характеристики упругости (модуль Юнга E_d , модуль сдвига G_d , коэффициент Пуассона μ_d);

— удельное электрическое сопротивление (ρ);

— температура пород (t° С).

В связи с тем, что при инженерно-геофизических изысканиях наиболее просто (методически и практически) оказывается получение значений V_p и ρ , для решения задачи оценки E_0 и E_c необходимо иметь репрезентативный материал определения V_p и ρ , характеризующий изучаемую среду; информация о температуре грунтов, как правило, получается на основе геотермических наблюдений в скважинах.

Для исследуемого основания следует составить его сейсмогеологическую, геоэлектрическую и геотермическую модели с выделением на них (в плане и в разрезе) элементов, квазиоднородных соответственно по значениям V_p , ρ и t° . Если величины этих характеристик распределя-

ются как случайные величины, то следует определить их средние значения (50 %-я обеспеченность) и пределы изменения (с 90 %-й обеспеченностью) для выделенных инженерно-геологических элементов (ИГЭ). Желательно также оценить анизотропию каждого ИГЭ. Если различие средних значений V_p и $\lg \rho$ по разным направлениям превышает 20 % (для мерзлых грунтов этот случай сравнительно редок), то

оценку деформационных характеристик необходимо выполнять с учетом направлений силовых воздействий в системе „основание—сооружение“.

Переход от значений геофизических параметров к характеристикам деформируемости рекомендуется выполнять, используя корреляционные связи, полученные для грунтов изучаемого объекта (наиболее обоснованные оценки) или для грунтов-аналогов (приближенные оценки). Примеры таких связей, полученные на основе обобщения большого объема данных экспериментальных исследований крупнообломочных грунтов в лабораторных и натурных условиях, приводятся ниже:

а) значений E_c и E_o с V_p (в диапазоне $V_p = 1,8-4,3$ км/с), рис. 1, а:

$$\lg E_c = 1,86 + 0,5V_p,$$

$$\lg E_o = 0,93V_p, \text{ причем } E_c \text{ и } E_o, \text{ МПа};$$

б) значений E_c и E_o с $\lg \rho$ (в диапазоне $\lg \rho = 0,6-4,3$, численные значения ρ , Ом·м), рис. 1, б:

$$\lg E_c = 2,5 + 0,24 \lg \rho,$$

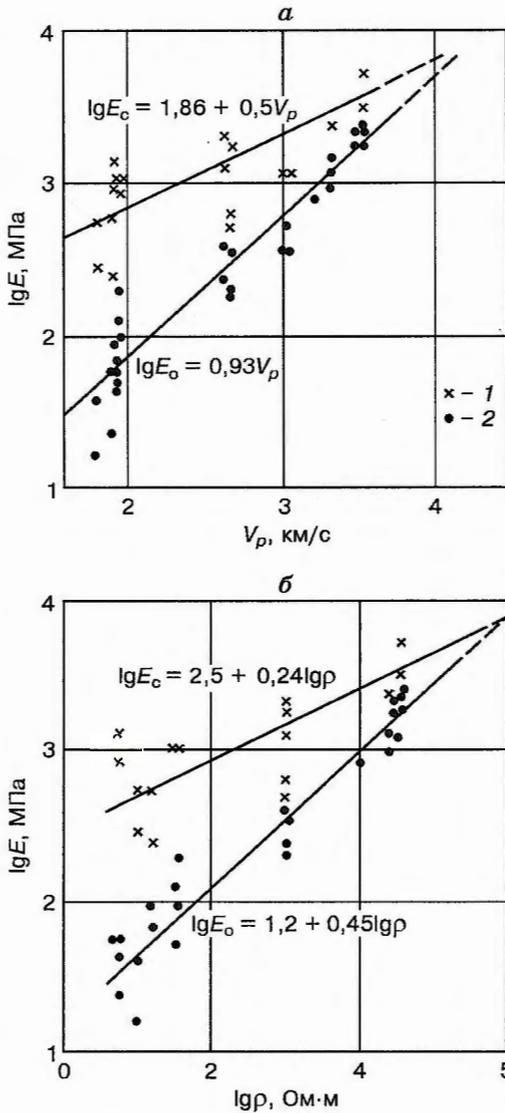


Рис. 1. Связь статических модулей упругости E_c и модуля деформации E_o мерзлых крупнообломочных грунтов (без глинистого заполнителя).

а — со скоростью продольных упругих волн (V_p); б — с удельным электрическим сопротивлением (ρ). 1 — E_c ; 2 — E_o . Грунт — преимущественно щебень гранодиорита + лед; концентрация порового раствора NaCl-K_{np} от 0 до 5,5 %; t^o — от -0,5 до -10 °С; τ — от 1 до 6 час.

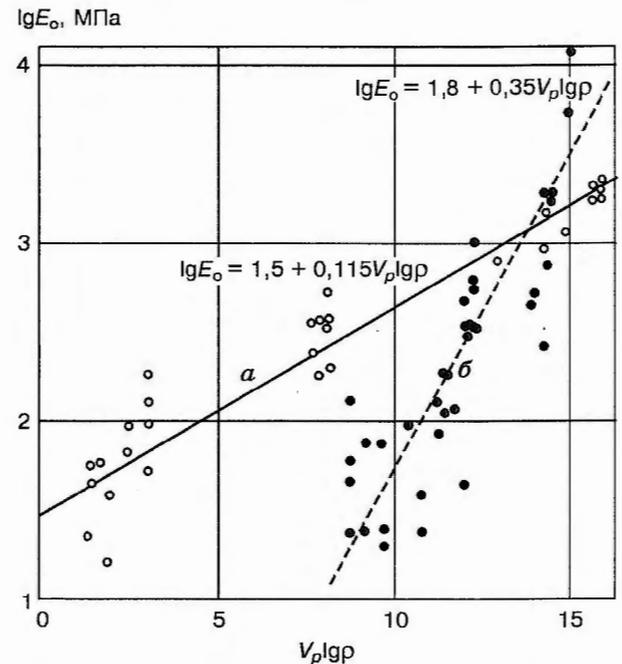


Рис. 2. Связь значений модуля деформации E_o крупнообломочных грунтов с произведением двух геофизических параметров $V_p \lg \rho$ (V_p , км/с; ρ , Ом·м).

Грунты: а — преимущественно щебень гранодиорита + лед; б — преимущественно щебень мергелистого известняка + лед. Значения K_{np} , t^o и τ см. на рис. 1.

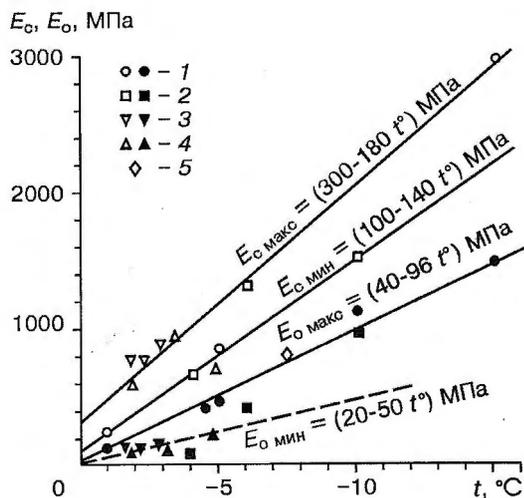


Рис. 3. Влияние температуры t° на величины статического модуля упругости E_c и модуля деформации E_o льдонасыщенных крупнообломочных грунтов с песчаным заполнителем (крупная фракция — гравий, галька и обломки осадочных пород).

1 — щебень алевролита + песок; 2 — щебень мергелистого известняка; 3 — песок средний и крупный; 4 — гравий, галька осадочных пород; 5 — гравий, галька, обломки осадочных пород. Светлые значки — значения E_c , черные — значения E_o .

$$\lg E_o = 1,2 + 0,45 \lg \rho;$$

в) значений E_o с произведением $V_p \lg \rho$ (V_p , км/с, ρ , Ом·м), см. рис. 2:

$$\lg E_o = 1,5 + 0,115 V_p \lg \rho,$$

$$\lg E_o = -1,8 + 0,35 V_p \lg \rho;$$

г) значений E_c и E_o с t° (в диапазоне $t^\circ = -1 - -10^\circ\text{C}$), рис. 3:

$$E_{c \text{ макс}} = (300 - 180t^\circ), \text{ МПа},$$

$$E_{c \text{ мин}} = (100 - 140t^\circ), \text{ МПа};$$

$$E_{o \text{ макс}} = (40 - 96t^\circ), \text{ МПа},$$

$$E_{o \text{ мин}} = (20 - 50t^\circ), \text{ МПа}.$$

Экспериментальные значения E_c и E_o , показанные на рис. 3, получены автором при исследовании образцов грунта (1, 2), а также сотрудиниками ВНИИ-1 и Ленгидропроекта для естественных условий залегания пород на глубинах до 10 м при статических и сейсмоакустических исследованиях оснований Усть-Среднеканской (3, 4) и Адычанской (5) ГЭС [Михайловский и др., 1985];

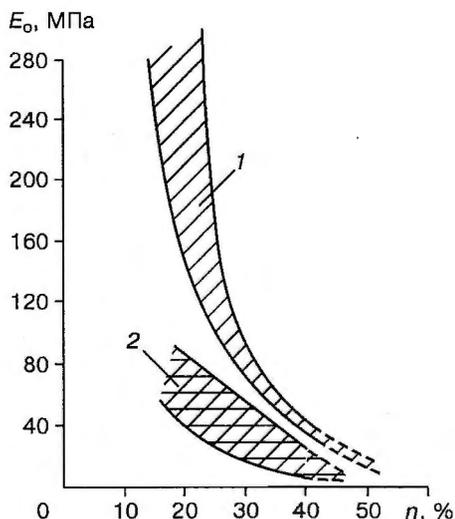


Рис. 4. Осредненные связи значений модуля общей деформации E_o с общей пористостью n для талых крупнообломочных грунтов с песчаным (1) и глинистым заполнителем (2) при $\sigma_{\text{макс}} = 0,3 - 0,6$ МПа.

Заптрихованы области наиболее вероятных значений.

д) отношений E_d/E_c и E_d/E_o с температурой t° в соответствии с приводимой ниже таблицей

$t, ^\circ\text{C}$	-1	-2	-3	-4	-5	-10	-20
E_d/E_c	33	32	29	26	23	15	9
E_d/E_o	110	96	81	70	62	38	20

Примечание. Статические характеристики соответствуют следующим условиям опытов: максимальная нагрузка $\sigma_{\text{макс}}$ до 1 МПа, время нагружения $\tau = 6 - 8$ часов, разгрузки — 1—2 часа, максимальные деформации при нагружении $\sim 10^{-2}$, а при разгрузке $\sim 10^{-3}$;

е) значений E_o с пористостью n талых (или немерзлых) крупнообломочных грунтов (величина n может быть определена как прямыми геомеханическими методами, так и по геофизическим данным), см. рис. 4; полученную оценку E_o умножают на коэффициент 6,7 (средний коэффициент перехода от значения модуля деформации в талом льдонасыщенном состоянии к таковому в мерзлом льдонасыщенном состоянии для гравийно-галечниковых грунтов по данным штампových опытов в бассейне р. Колыма).

Полагая примерную равнозначность указанных выше связей, в качестве нормативных величин E_c и E_o каждого из выделенных квазиоднородных элементов модели рекомендуется принимать среднее арифметическое значение из по-

лученных оценок E_c и E_o по разным геофизическим параметрам.

Необходимо учитывать, что верхняя часть разреза мерзлых четвертичных отложений (а для ряда оснований эти отложения в целом) принадлежат слою сезонных колебаний температуры, геофизические (V_p , V_s , ρ и др.) и деформационные характеристики которого в общем случае являются функцией температуры. Поэтому априори можно полагать, что значения E_c и E_o мерзлых крупнообломочных отложений в слое сезонных колебаний температуры принимают

наиболее низкие значения в летне-осенний, а наиболее высокие — в зимне-весенний периоды года.

Литература

Михайловский Г. В., Кунцевич С. П. Изучение физико-механических свойств многолетнемерзлых галечников сейсмическими методами // Тр. Гидропроекта. М., 1985, № 110, с. 98—114.

*Поступила в редакцию
24 апреля 1998 г.*