

УДК. 624.159.1

Самедов А.М. д.т.н., проф., Ткач Д.В. асп., НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна

## ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСКАРБОНАТНЫХ И МАЛОКАРБОНАТНЫХ СЛАБЫХ ГОРНЫХ ПОРОД КАК ОСНОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

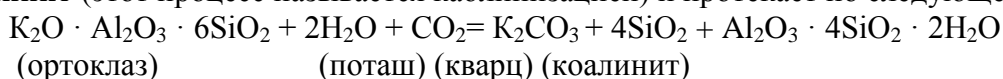
Введение:

Малокарбонатные и бескарбонатные, легкие и тяжелые гидрослюдистые супеси, суглинки и глины относятся к слабым горным породами, как основания подземных сооружений без укрепления не пригодны.

Цель работы: классифицировать по грунтам слабые горные породы исходя из физико-механических и гранулометрических свойств. Разработать способы укрепления их и подобрать соответствующие вяжущие для каждой группы.

Изложение результатов исследований:

Выветривание проявляется не только в виде физических процессов (механического разрушения), но и как результат взаимодействия составных частей горных пород с различными веществами, находящимися в атмосфере (химическое разрушение). Составными частями скальных горных пород являются **породообразующие минералы**. Так, **породообразующие минералы – полевые шпаты (например, калиевые полевые шпаты – ортоклаз)** под действием воды и углекислого газа  $\text{CO}_2$  разрушаются образуя минерал **каолинит** (этот процесс называется каолинизацией) и протекает по следующей реакции:



В результате химического разрушения полевошпатовых минералов образованный каолинит, смешиваясь с пылеватым песком и другими продуктами разрушения, остаются на месте, образуя **первичную глину** или пылеватый песок, смеси относятся к супесям и суглинкам или переносятся водой, ветром и откладываются в другом месте в более измельченном виде (**вторичная глина**).

Следует отметить, что среди большого разнообразия природных минералов только часть их участвует в образовании горных пород. К числу этих минералов, называемых **породообразующими**, относят **кварц, полевые шпаты (натриевые и калиевые), слюды, карбонаты, сульфаты и железисто – магнизиальные минералы**.

От минералогического состава горных пород в значительной степени зависят их строительные свойства, а также возможности укрепления их различными вяжущими. Одни минералы отличаются высокой прочностью, твердостью и химической стойкостью (например, **кварц –  $\text{SiO}_2$** , прочность при сжатии 2000 МПа, твердость 7 по 10-ти бальной шкале, удельный вес частицы  $26,5 \text{ кН/м}^3$ , достаточная химическая стойкость с щелочами); другие имеют незначительную прочность, недостаточную химическую стойкость, способность значительно поглощать воду (например, **гипс –  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$** ). Отдельные минералы обладают способностью легко расщепляться по плоскостям (например, **слюда**), понижая этим прочность породы, в состав которой они входят.

Следующим породообразующим минералом является **глинозем -  $\text{Al}_2\text{O}_3$**  - занимает в составе земной коры второе место после кремнезема (кварца). Свободный глинозем (корунд) является наиболее твердым минералом, занимающим 9-е место в шкале твердости, т.е. непосредственно перед алмазом. Глиноземом обычно находится в виде химических соединений с кремнеземом и другими окислами. В виде алюмосиликатов наиболее распространены в земной коре **полевые шпаты и слюды**.

К породообразующим минералам относятся **полевые шпаты: калиевые (ортоклаз и плагиоклаз) –  $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ , натриевые (альбит) –  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$**  и

**кальциевые (анортит) -  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$** . Удельный вес частицы  $\gamma_s=25,5\div 27,6$  кН/м<sup>3</sup>, твердость – 6 по 10-ти бальной шкале, предел прочности при сжатии 120 – 170 МПа. Стойкость по механическим и химическим выветриваниям незначительна, плавятся они при температуре 1170 – 1550 °С.

**Слюды** относятся к породообразующим минералам:

- представляют собой водные алюмосиликаты сложного состава. Они легко расщепляются на тонкие, гибкие и упругие листики и пластинки. Твердость слюд находится в пределах 2 – 3 по шкале твердости. Они бывают: **калиевые слюды – мусковит**, с удельным весом частицы  $\gamma_s= 26,1\div 31$  кН/м<sup>3</sup>; тугоплавкая, химически стойкая; **железисто – магнезиальная слюда – биотит**, с удельным весом  $28\div 32$  кН/м<sup>3</sup>, легко разрушается, окисляется, гидратирует и образует **вермикулит**, гидрослюда, при прокалывании теряют воду и увеличивается в объеме в 18 – 25 раз.

**Водный алюмосиликат – каолинит -  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$** - продукт выветривания изверженных (магматических) и метаморфических горных пород. Встречается каолинит в виде белых и окрашенных рыхлых землистых и плотных масс; удельный вес частицы каолинита  $\gamma_s = 26$  кН/м<sup>3</sup>, **самый легкий минерал**(по шкале твердости – 1), каолинит является основной частью глин и имеется в составе **слабых горных пород**, которые использовать, как основания подземных сооружений без инженерных мероприятий не рекомендуется.

**Железисто – магнезиальные силикаты** относятся к породообразующим минералам, имеют темную окраску, удельный вес частицы  $\gamma_s= 30\div 36$  кН/м<sup>3</sup>, твердость 5,5÷7,5 по шкале твердости, обладают значительной ударной вязкостью. Эти силикаты широко распространены в виде пироксена, амфиболы и оливни. **Пироксены** – глиноземистые – **авгиты, амфиболы – роговые обманки** из изверженных пород, **оливни** – малостойкие, под воздействием кислорода и двуокиси углерода и воды они увеличиваются в объеме, переходят в **змеевик** или **серпентин**. В выветренном виде они образуют супесь, суглинки и глины, которые без инженерных мероприятий использовать как основания подземных сооружений нельзя.

**Карбонаты** относятся к породообразующим минералам. В природе встречаются карбонаты в виде: кальцита –  $\text{CaCO}_3$ , или известкового шпата, **доломита –  $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$**  и **магнезита -  $\text{MgCO}_3$** .

**Кальцит** мало растворим в воде (всего 0,03г. в 1 л), но быстро реагирует с кислотами, например, в 10%-ном HCl кальцит «вскипает». Имеющееся  $\text{CO}_2$  в воде повышает растворимость кальцита в 100 раз. Твердость кальцита 3, удельный вес частицы  $\gamma_s=27$  кН/м<sup>3</sup>.

**Магнезит –  $\text{MgCO}_3$**  встречается в природе в виде землистых или плотных агрегатов, имеющих скрытокристаллическую структуру. Удельный вес частицы  $\gamma_s=28\div 29$  кН/м<sup>3</sup>, растворимость в воде меньше. Огнеупорность больше 2000°C, температура плавления периклаза 2800 °С.

**Доломит -  $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$** . Физические свойства аналогичны магнезиту. Огнеупорность 1780÷1800 °С.

**Сульфатные породообразующие минералы** встречаются в природе в осадочных горных породах в виде гипса и ангидрита. **Гипс двухводный –  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$**  – легко растворим в воде, растворимость 2,25 г/л. Наибольшая растворимость в воде при температуре 32 - 41°C. Твердость гипса 1,5÷2 по шкале твердости, удельный вес частицы  $\gamma_s=23$  кН/м<sup>3</sup>; **Ангидрит** (безводный гипс) -  $\text{CaSO}_4$ . При длительном воздействии воды способен перейти в гипс с незначительным увеличением объема. Твердость 3÷3,5 по шкале твердости, удельный вес частицы  $\gamma_s=28\div 30$  кН/м<sup>3</sup>.

После выветривания все выше перечисленные минералы образуют слабые породы.

К слабым горным породам, как используемые для оснований подземных сооружений, относятся в основном глинистые грунты, такие как супеси, суглинки, мелкодисперсные

глины, пылеватые запесоченные глины с различными включениями, карбонатных, слюдистых и гумусовых отложений. Укрепление этих грунтов как оснований подземных сооружений являются весьма сложной проблемой, так как не все вяжущие вещества взаимодействуют с этими грунтами.

Глины состоят из различных окислов, свободной и химически связанной воды, органических примесей и вышеперечисленных выветренных порообразующих минералов, которые, в основном, инертные и не вступают в химические реакции без активации. В перечень окислов, составляющих глины входят: глинозем  $Al_2O_3$ , кремнезем  $SiO_2$ , окись железа  $Fe_2O_3$ , окись кальция  $CaO$ , окись натрия  $Na_2O$ , окись магния  $MgO$ , окись калия  $K_2O$  и др.

Гранулометрический состав глины состоит из различных по крупности частицы: от 0,14 до 0,005 мм – пылевидные фракции и мельче 0,005 мм – глинистые частицы.

Глинистые грунты подразделяются на виды в зависимости от числа пластичности:  $I_p = W_L - W_P$ , где  $W_L$  – влажность на границе текучести, в долях единицы, может быть  $W_L = 0,1 \div 0,45$  и больше;  $W_P$  – влажность на границе раскатывания в долях единицы бывает  $W_P = 0,04 \div 0,265$  и более. При  $0,01 \leq I_p \leq 0,07$  – супесь,  $0,07 \leq I_p \leq 0,17$  – суглинок,  $I_p > 0,17$  – глина. Состояние глинистых грунтов характеризуется показателем консистенции:  $I_L = \frac{W - W_P}{W_L - W_P}$ , где  $W$  – природная влажность, может быть в глинистом грунте  $W = 0 \div 0,45$  доли единицы. При  $W \geq 0,22$  глинистые грунты могут быть в водонасыщенном состоянии, т.е.  $W = W_{sat}$ .

Показатель консистенции глинистых грунтов характеризует состояние грунтов. **Супеси:**  $I_L < 0$  – твердые,  $0 \leq I_L \leq 1,0$  – пластичные,  $I_L \geq 1,0$  – текучие. **Суглинки и глины:**  $I_L < 0$  – твердые,  $0 \leq I_L \leq 0,25$  – полутвердые,  $0,25 \leq I_L \leq 0,5$  – тугопластичные,  $0,50 \leq I_L \leq 0,75$  – мягкопластичные,  $0,75 \leq I_L \leq 1,0$  – текучепластичные;  $I_L > 1,0$  – текучие.

Для оценки возможности использования выветренных слабых горных пород как оснований сооружений испытывали образцы этих грунтов в компрессионном приборе (одометре) и определяли начальный коэффициент пористости:  $e_0 = \frac{\gamma_s}{\gamma} (1+W) - 1$ , где  $\gamma_s$  – удельный вес частицы,  $кН/м^3$ ;  $\gamma$  – удельный вес,  $кН/м^3$ ;  $W$  – природная влажность в долях единицы. Вычисляли изменение от давлений по формулам:  $e_{pi} = e_0 - \frac{\gamma_{pi}}{h_0} (1+e_0)$ , где  $\gamma_{pi}$  – деформации образца грунта в миллиметрах при нагрузке (давления)  $P_i$ , МПа;  $h_0$  – высота кольца компрессионного прибора ( $h_0 = 20 \div 25$  мм). При испытании принимали  $P_i = 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,30; 0,40$  МПа и по этим давлениям вычисляли величины  $e_{pi}$  строили компрессионные кривые. Из компрессионных кривых определяли коэффициент сжимаемости  $m_o = \frac{e_1 - e_2}{P_2 - P_1}$  и относительный коэффициент сжимаемости по формулам  $m_v = \frac{m_o}{1+e_0}$ , МПа<sup>-1</sup>. Затем определяли величины расчетного модуля деформации грунта в компрессионных условиях по формулам  $E_o = \frac{\beta \cdot m_k}{m_v}$ , МПа, где  $\beta$  – коэффициент, учитывающий невозможность бокового расширения грунта в компрессионном приборе, его следует принимать для песков  $\beta = 0,8$ ; для супесей  $\beta = 0,74$ ; для суглинков  $\beta = 0,62$ ; для глин  $\beta = 0,4$ ;  $m_k$  – корректировочный коэффициент для песчаных грунтов  $m_k = 1$ , а для глинистых грунтов можно принимать из табл. 1, в зависимости от  $e_0$ .

Для промежуточных значений  $e_0$  коэффициент  $m_k$  определяется интерполяцией.

Возможности использования слабых горных пород, как основания подземных сооружений можно оценить по величине условного расчетного давления грунта, которое зависит от величины  $e_0$ . Величина  $R_0$  для промежуточных значений  $I_L$  и  $e_0$  определяется интерполяцией, в начале по  $e_0$  для значений  $I_L = 0$  и  $I_L = 1,0$ , а затем по  $I_L$  между полученными значениями  $R_0$  для  $I_L = 0$  и  $I_L = 1,0$ , как показано в таблице 2. Условное расчетное давление для этих грунтов не превышает  $R_0 \leq 0,15$  МПа.

Слабые горные породы, состоящие из различных вышеперечисленных глинистых грунтов, не укрепляются цементными растворами, силикатными и полимерными суспензиями.

Таблица 1

Величина  $m_k$  для глинистых грунтов

Вид грунтов	Значения $m_k$ при коэффициенте пористости $e_0$ , равным						
	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05
супесь	4,0	4,0	3,5	3,0	2,0	-	-
суглинки	5,0	5,0	4,5	4,0	3,0	2,5	2,0
глины	-	-	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5

Таблица 2

Условное расчетное давление для глинистых грунтов.

Виды глинистых грунтов	коэффициент пористости $e_0$	$R_0$ , (МПа) при консистенции грунта	
		$I_L=0$	$I_L=1,0$
супеси	0,5	0,3	0,3
	0,7	0,25	0,2
суглинки	0,5	0,3	0,25
	0,7	0,25	0,18
	1,0	0,20	0,10
глины	0,5	0,6	0,4
	0,6	0,5	0,3
	0,8	0,3	0,2
	1,1	0,25	0,1

Рекомендуем найти специфические вяжущие для укрепления этих грунтов и разделить их по следующим группам:

**I-группа:** Супесь и суглинок легкий, бескарбонатный – содержащий значительное количество окислов железа и обменных катионов;  $H^+, Al^{+++}, Fe^{+++}$  число пластичности  $I_p = 0,03 \div 0,12$ , щелочность  $pH < 5$  водной вытяжки, содержание  $CaCO_2 + MgCO_3 < 2\%$ , содержание гумуса меньше 5%, содержащий в составе гидрослюды в большом количестве.

**II-группа:** Суглинок и тяжелая супесь, пылеватые пески, тощая глина – малокарбонатные, ожежененные, гидрослюдистые – имеющие в составе обменные катионы  $H^+, Al^{+++}, Fe^{+++}$  и в малом количестве  $Ca^{++}, Mg^{++}$ , число пластичности  $I_p = 0,12 \div 0,25$ , щелочность  $pH < 6,2$  водной вытяжки, содержание  $CaCO_2 + MgCO_3 < 3\%$ , содержание гумуса  $< 10\%$ , мало гидрослюды в составе.

**III-группа:** Карбонизированная супесь, суглинок и глина с незначительным содержанием окислов железа (менее 2%), в составе не более 20%, каолиновая глина. Состав обменных катионов  $Ca^{++}, Mg^{++}$  и в малом количестве  $H^+, Al^{+++}, Fe^{+++}$ . Число пластичности  $I_p = 0,05 \div 0,25$ , щелочность  $pH < 7,2$ , содержание гумуса 10%, отсутствует гидрослюда или имеется в малом количестве, содержание  $CaCO_3 + MgCO_3 < 4\%$ .

**IV-группа:** Карбонатная супесь, суглинок и глина, глина каолиновая, бентонитовая, монтмориллонитовая. Число пластичности  $I_p = 0,05 \div 0,25$ , щелочность  $pH > 4$ , содержание  $CaCO_3 + MgCO_3 > 4\%$ , содержание гумуса  $> 10\%$ . Состав обменных катионов  $Ca^{++}, Mg^{++}$ . Отсутствуют окиси железа, алюминия и гидрослюды.

Из этих 4-х групп глинистые грунты I-й и II-й группы хорошо взаимодействуют с фосфорсодержащими вяжущими. III-группа малопригодна для укрепления фосфорсодержащими вяжущими, IV – не пригодна для укрепления фосфорсодержащими вяжущими. Способы укрепления этих грунтов фосфорсодержащими вяжущими является специальной проблемой, которую следует изучать более углубленно.