

УДК 624.1

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ЗАСОЛЕННЫХ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

Каченов В.И., Савченко А.О., Ситева О.С., Алванян А.К.

*Пермский государственный национальный исследовательский университет. 614990, Пермь, ул. Букирева, 15. E-mail: nedra@nedra.perm.ru*

Прочностные свойства грунтов во многом определяются размером их структурных элементов. Однако вопросы изменения прочности засоленных гидрослюдистых глин в зависимости от концентрации порового раствора изучены достаточно слабо. Условное расчетное сопротивление засоленного грунта может снижаться в 1,4-1,8 раза при выщелачивании. При этих же условиях дополнительная осадка фундамента может увеличиваться в 1,2-1,5 раза. При засолении глин  $\text{CaCl}_2$  и  $\text{NaCl}$  происходит коагуляция глинистых частиц, что влечет за собой изменения номенклатуры грунта, глина переходит в суглинок. При увеличении концентрации солей в поровом растворе глин их сцепление закономерно уменьшается, а угол внутреннего трения, наоборот, увеличивается. Разработаны математические модели, позволяющие прогнозировать изменения угла внутреннего трения и сцепления в зависимости от степени засоления глин хлоридом натрия.

Ключевые слова: пороги коагуляции, гидрослюдистые глины, скорость падения частиц, соли.

## INVESTIGATION OF STRENGTH PROPERTIES OF SALINIZED CLAY SOILS

Kachenov V.I., Savchenko A.O., Sityova O.S., Alvanyan A.K.

*Perm State National Research University. 614990, Perm, Bukirev st., 15 E-mail: nedra@nedra.perm.ru*

Mechanical properties of soils are largely determined by the size of their structural elements. However, issues of change in strength saline hydromicaceous clay depending on the concentration threshold Vågå solution studied quite poorly. Conditional design resistance of saline soil can be reduced 1.4-1.8 times during leaching. Under these conditions, additional foundation settlement can be increased by 1.2-1.5 times. Salination clay  $\text{CaCl}_2$  and  $\text{NaCl}$  coagulate clay particles, which entails changing the nomenclature of soil, clay loam becomes. With increasing salt concentration in the pore solution clays their grip naturally decreases, and the angle of internal friction, on the contrary, increased. The mathematical models for predicting changes Rowan angle of internal friction and cohesion depending on the degree of salinity of clay with sodium chloride.

Keywords: thresholds of coagulation, hydromicaceous clays, fall velocity of particles, salts.

Развитие промышленности является одним из ведущих факторов, оказывающих техногенное влияние на геологическую среду, что приводит к негативным последствиям, как для природной среды, так и для человека [1, 3, 4]. Для рационального размещения промышленных объектов следует производить районирование территории [6, 8].

Исследованием формирования деформационных свойств засоленных грунтов занимались М.Ю. Абелев, А.А. Глазь, Р.С. Зиангиров. По данным Б. Рахманова [8], условное расчетное сопротивление засоленного грунта может снижаться в 1,4-1,8 раза при выщелачивании. При этих же условиях дополнительная осадка фундамента может увеличиваться в 1,2-1,5 раза. Изучением прочностных свойств засоленных грунтов занимались В.М. Безрук, Л.Н. Ломизе, С.Б. Ухов [9], А.Б. Лолаев [2], В.В. Середин [7], Н.А. Цытович [10] и др.

В своих работах они отмечают, что прочностные свойства грунтов во многом определяются размером их структурных элементов. Однако вопросы изменения прочности засолен-

ных гидрослюдистых глин в зависимости от концентрации порового раствора изучены достаточно слабо.

Поэтому целью работы является изучение закономерностей формирования прочностных свойств глин при их засолении.

### **Методика исследований**

В основу методики исследований положена концепция о том, что при подготовке образцов к испытаниям на срез изменялись только состав и концентрация порового раствора глин, остальные показатели оставались постоянными.

Подготовка образцов для испытания их на сдвиг производилась следующим образом:

- в сухой грунт, массой 1200 г, добавлялся раствор  $\text{CaCl}_2$  и  $\text{NaCl}$  в концентрациях 0,05 %, 1 %, 10 %, 20 %, а также вода водопроводная. Объем раствора в каждой пробе составлял 300-330 мл;
- затем производилось уплотнение всех образцов грунта двумя ступенями нагрузки, первая ступень составляла  $P = 0,05$  МПа, вторая  $P = 0,1$  МПа;
- после чего проводились сдвиговые испытания образцов глин на приборе ГП-30;
- устанавливались взаимосвязи между показателями прочности глин и степенью их засоления;
- кроме того, определялись физические свойства глин, согласно ГОСТу 5180-85, гранулометрический – ГОСТ 12536-79 и минеральный состав.

### **Результаты экспериментальных исследований**

Объектом исследования являются глины, отобранные в Пермском крае. Гранулометрический состав грунтов представлен в табл. 1.

Таблица 1. Гранулометрический состав

<b>Диаметр частиц, мм</b>	<b>Содержание фракций, %</b>
1–0,5	0
0,5–0,25	3
0,25–0,1	9
0,1–0,05	17
0,05–0,01	25
0,01–0,005	16
0,005–0,001	17
<0,001	13

Минеральный состав представлен в табл. 2. Результаты исследований физико-механических свойств глин приведены в табл. 3.

Таблица 2. Минеральный состав глинистых частиц

<b>Минерал</b>	<b>Содержание</b>
----------------	-------------------

		в 1 г грунта, %
гидрослюда	$(\text{KH}_3\text{O})\text{Al}_2(\text{OH})_2 * [(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}]_n \text{H}_2\text{O}$	67
монтмориллонит	$(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Mg}, \text{Al}, \text{Fe})_2(\text{OH})_2 * [(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{16}] * n \text{H}_2\text{O}$	3
кварц	$\text{SiO}_2$	20
хлорит	$(\text{Mg}, \text{Fe})_6(\text{Al}, \text{Fe})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}[\text{OH}]_8$	6
гетит	$\alpha\text{-FeOOH}$	4
каолинит	$\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}] * (\text{OH})_8$	—
кальцит	$\text{CaCO}_3$	—
КПШ		—

Таблица 3. Результаты исследований физико-механических свойств глин

Состав порового раствора	Концентрация порового раствора, $K_p$ , %	Влажность, $W$ , %	Влажность на границе текучести, $W_L$ , %	Влажность на границе раскатывания $W_p$ , %	Число пластичности, $I_L$	Плотность, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Сцепление, $C$ , МПа	Угол внутреннего трения, $\phi$ , град.
H <sub>2</sub> O	0	30,75	39,06	19,49	19,57	1,81	25,00	15,38
CaCl <sub>2</sub>	0,05	31,70	39,65	20,43	19,22	1,81	18,75	19,29
CaCl <sub>2</sub>	1	31,56	37,61	23,04	14,57	1,82	16,25	21,18
CaCl <sub>2</sub>	10	30,25	34,58	20,37	14,21	1,85	13,75	21,49
CaCl <sub>2</sub>	20	30,00	32,52	21,55	10,97	1,85	16,00	20,40
NaCl	0.05	31,00	39,17	20,43	18,74	1,82	24,17	16,03
NaCl	1	31,02	37,69	23,51	14,18	1,81	22,50	16,70
NaCl	10	30,98	33,78	21,84	11,97	1,85	15,02	23,03
NaCl	20	29,77	31,19	21,68	9,51	1,85	16,67	24,23

### Обсуждение результатов экспериментов

Анализ исследований гранулометрического состава грунтов (табл. 1) показал, что грунты сложены на 30 % глинистыми частицами, на 41 % пылеватыми и на 29 % песчаными частицами. Таким образом, в качестве объекта исследований имеем глину песчано-пылеватую.

Исследования минерального состава грунтов показало, что гидрослюда является преобладающим глинистым минералом (67 %), монтмориллонит имеет подчиненное значение (3 %).

Анализ изменения влажности глин на пределе текучести ( $W_L$ ) в зависимости от концентрации порового раствора ( $K_p$ ) показал, что с увеличением  $K_p$  значения  $W_L$  уменьшаются. Между этими показателями установлена корреляционная связь, о чем свидетельствует значимое значение коэффициента корреляции  $r = -0,90$  для CaCl<sub>2</sub> и  $r = -0,91$  для NaCl. Наличие тесной корреляционной связи между  $W_L$  и  $K_p$  свидетельствует о том, что концентрация порового раствора определяет толщину диффузного слоя вокруг глинистой частицы, то есть контролирует объем рыхлосвязанной воды в грунте.

Зависимость влажности глин на пределе раскатывания ( $W_p$ ) от концентрации порового раствора ( $K_p$ ) установить не удалось,  $r = 0,14$  для  $CaCl_2$  и  $r = 0,22$  для  $NaCl$ . Это свидетельствует о том, что на формирование вторичноориентированной воды  $K_p$  влияния не оказывает.

На рис. 1 приведен график изменения числа пластичности ( $I_p$ ) от концентрации порового раствора. Из рис. 1 видно, что с увеличением концентрации порового раствора глин число пластичности уменьшается. Это свидетельствует о том, что засоление грунтов приводит к коагуляции глинистых частиц. При этом в начальной стадии засоления ( $K_p = 0,05-1,00\%$ ) процесс коагуляции протекает наиболее интенсивно. В результате коагуляции глина переходит в суглинок, то есть меняется первоначальная номенклатура грунта.

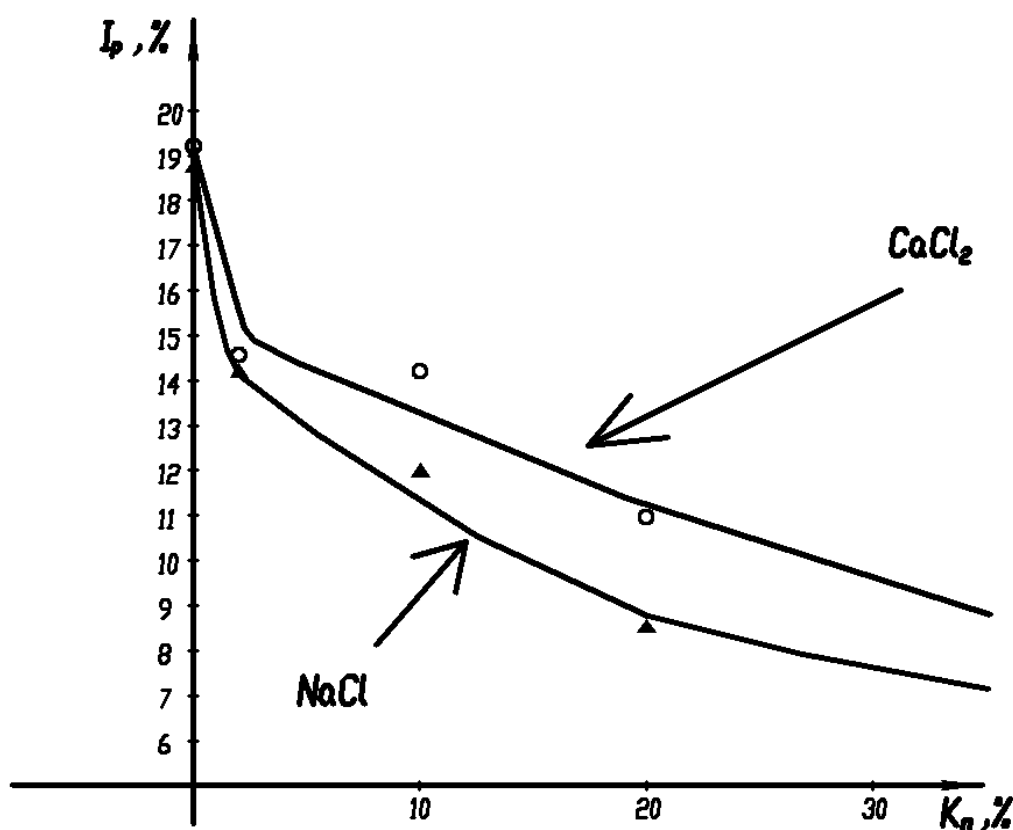


Рисунок 1. Изменение числа пластичности ( $I_p$ ) от концентрации порового раствора глин

Результаты сдвиговых испытаний засоленных глин оформлялись в виде паспортов прочности (рис. 2 и рис. 3), с которых снимались значения сцепления и угла внутреннего трения (табл. 3).

Из табл. 3 видно, что при увеличении концентрации порового раствора сцепление уменьшается, а угол внутреннего трения, наоборот, увеличивается. Наиболее значительное изменение  $c$  и  $\varphi$  наблюдается при изменении концентрации  $K_p$  до 0,05 %.

Проведенный корреляционный анализ установил, что между концентрацией солей натрия в поровом растворе глин и углом внутреннего трения наблюдаются статистическая связь  $r = 0,95$  при  $\alpha = 0,05$  (критическое  $r = 0,63$ ). Подобная же взаимосвязь характерна для  $K_{\pi}$  и  $C r = -0,85$  при  $\alpha = 0,05$ . Рассчитаны уравнения связи:

$$\varphi = 16,2719 + 0,4537 K_{\pi}$$

$$c = 23,5453 + 0,4491 K_{\pi}$$

Взаимосвязей между концентрации солей кальция хлора в поровом растворе глин и углом внутреннего трения и сцепления установить не удалось.

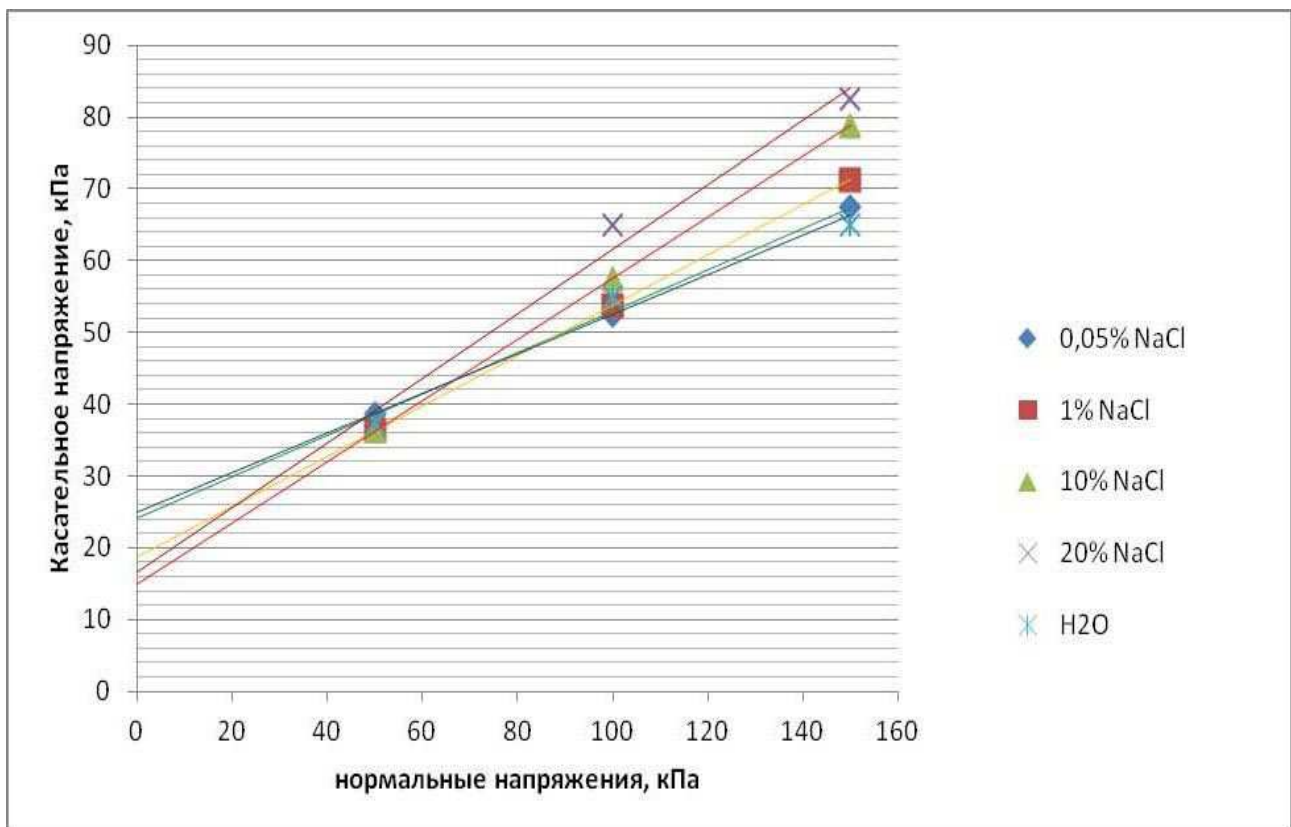


Рисунок 2. Паспорта прочности глин засоленных NaCl

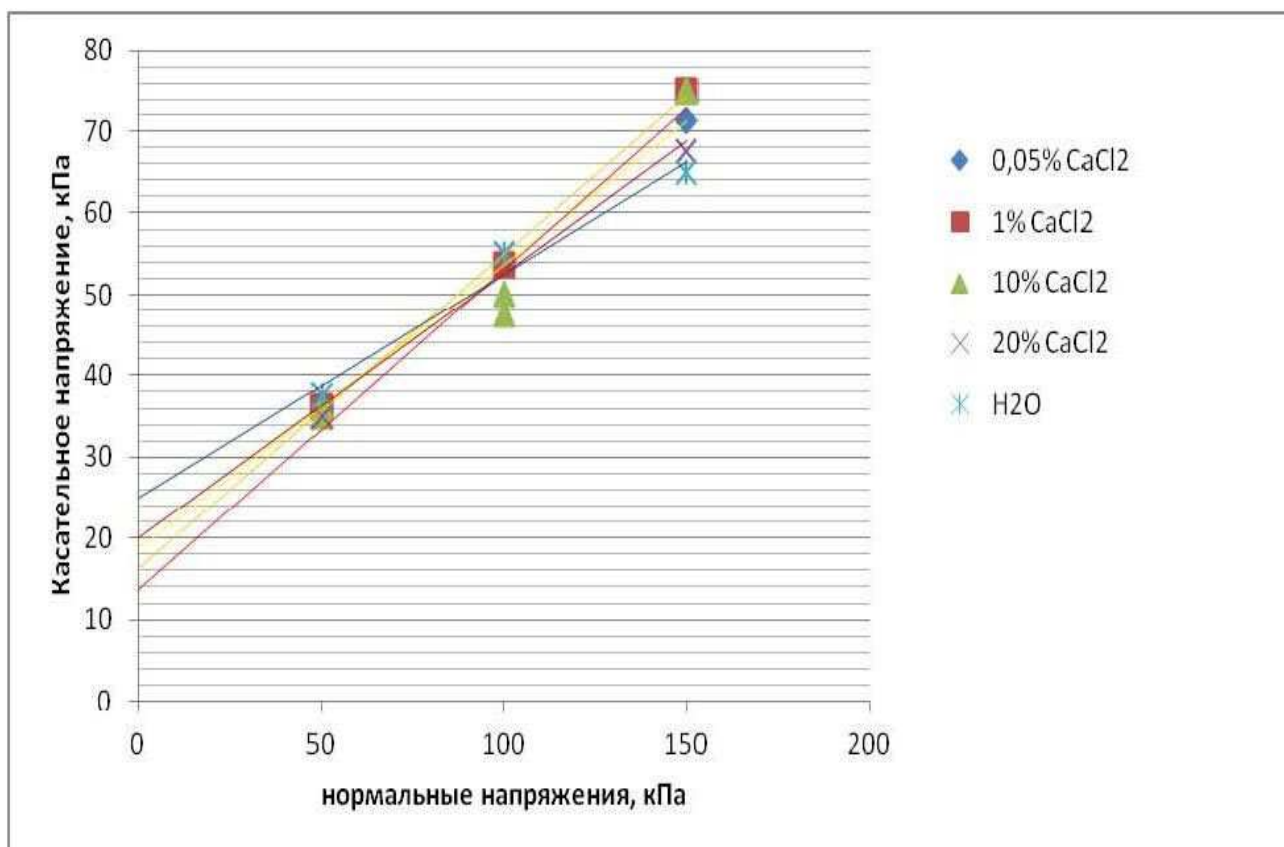


Рисунок 3. Паспорта прочности глин засоленных CaCl<sub>2</sub>

**Заключение.** На основании экспериментальных исследований установлено, что при засолении глин солями CaCl<sub>2</sub> и NaCl происходит коагуляция глинистых частиц, это влечет за собой изменение номенклатуры грунта, глина переходит в суглинок. При увеличении концентрации солей в поровом растворе глин, их сцепление закономерно уменьшается, а угол внутреннего трения, наоборот, увеличивается. Разработаны математические модели, позволяющие прогнозировать изменения угла внутреннего трения и сцепления в зависимости от степени засоления глин хлоритом натрия.

### Список литературы

1. Галкин В.И., Середин В.В., Лейбович Л.О., Копылов И.С., Пушкарева М.В., Чиркова А.А. Оценка эффективности технологий очистки нефтезагрязненных грунтов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2012. - № 6. – С. 4-7.
2. Лолаев А.Б. Влияние засоленности на физико-механические свойства мерзлых грунтов. / Сб. науч. трудов НИИ «Строительство. Механика». – Норильск, 1995. – 311 с.
3. Пушкарева М.В., Май И.В., Середин В.В., Лейбович Л.О., Чиркова А.А., Вековшина С.А. Экологическая оценка среды обитания и состояния здоровья населения на территориях

нефтедобычи Пермского края // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2013. - № 2. – С. 40-45.

4. Пушкарева М.В., Середин В.В., Лейбович Л.О., Чиркова А.А., Бахарев А.О. Инженерно-экологическая оценка территории запасов подземных вод в связи с разработкой нефтяных месторождений // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2013. - № 2. – С. 9-13.

5. Пушкарева М.В., Середин В.В., Лейбович Л.О., Чиркова А.А. Оценка комплекса природоохранных мероприятий для объектов нефтедобычи, находящихся на территории зоны санитарной охраны (ЗСО) поверхностного водозабора // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2011. - № 8. – С. 27-30.

6. Середин В.В., Галкин В.И., Пушкарева М.В., Лейбович Л.О., Сметанин С.Н. Вероятностно-статистическая оценка инженерно-геологических условий для специального районирования // Инженерная геология. – 2011. - № 4. – С. 42-47.

7. Середин В.В., Галкин В.И., Растегаев А.В., Лейбович Л.О., Пушкарева М.В. Прогнозирование карстовой опасности при инженерно-геологическом районировании территории // Инженерная геология. – 2012. - № 2. – С. 40-45.

8. Середин В.В., Лейбович Л.О., Пушкарева М.В., Копылов И.С., Хрулев А.С. К вопросу о формировании морфологии поверхности трещины разрушения горных пород. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2013. - № 3. – С. 85-90.

9. Ухов С.Б. Влияние искусственного засоления и рассоления связных грунтов на их физико-механические свойства // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1961. - № 3. – С. 7-11.

10. Цытович Н.А., Кроник Я.А., Маркин К.Ф. и др. Физические и механические свойства засоленных грунтов // Труды II Международной конференции по мерзлотоведению. Доклады и сообщения. Вып. 4. – Якутск: Якутское книжн. изд-во, 1973. – С. 18-22.

#### **Рецензенты:**

Наумова О.Б., д.г.-м.н., зав. кафедрой поисков и разведки полезных ископаемых Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь.

Середин В.В., д.г.-м.н., профессор, заведующий кафедрой инженерной геологии и охраны недр Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь.