

УДК 624.131.414.1

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ КОАГУЛЯЦИИ ГЛИНИСТЫХ ЧАСТИЦ

Середин В.В., Каченов В.И., Ситева О.С., Паглазова Д.Н.

*Пермский государственный национальный исследовательский университет,
Пермь, e-mail: nedra@nedra.perm.ru*

На территории Пермского края находится крупнейшее месторождение калийно-магниевых солей. Технология его разработки предполагает складирование на земной поверхности соляных отходов в виде солевых отвалов и шламохранилищ. В результате воздействия на солевые отвалы ветра и дождевых вод происходит засоление грунтов, поверхностных и подземных вод, прилегающих к отвалам территорий. Процесс засоления усугубляется фильтрацией из шламохранилищ флотационных отходов. Площадь техногенной нагрузки на геологическую среду составляет сотни квадратных километров, что приводит к негативным последствиям как для природной среды, так и для человека. Опыт показывает, что устойчивость сооружений, в основании которых находятся засоленные грунты, в ряде случаев не отвечает требованиям действующих нормативных документов. Это обусловлено тем, что при попадании солей в грунты происходит изменение их физико-механических свойств. Поэтому несущая способность фундаментов, которые рассчитывались по данным незасоленных грунтов, значительно отличается от несущей способности для засоленных грунтов. В данной работе приводятся материалы экспериментальных исследований порогов коагуляции гидрослюдистых глин, засоленных $MgCl_2$, $CaCl_2$, KCl и $NaCl$.

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

REGULARITIES INVESTIGATION OF CLAY PARTICLES COAGULATION

Seredin V.V., Kachenov V.I., Sityova O.S., Paglazova D.N.

Perm State National Researching University, Perm, email: nedra@nedra.perm.ru

Perm Krai is the largest deposit of potassium and magnesium salts. Its technology development involves storage of salt on the surface in the form of salt waste dumps and slime storage. As a result of exposure to wind and salt dumps rain water salinization of soil, surface water and groundwater adjacent to the dump areas. Salinization exacerbated by filtration of flotation waste sludge depositories. Area of anthropogenic impact on the geological environment of hundreds of square kilometers, which leads to negative consequences for the environment and for human rights. Experience shows that the stability of structures, the basis of which are saline soils, in some cases, does not comply with all relevant regulations. This is due to the fact that when hit salts in soils is a change of their physical and mechanical erties. Therefore, load-bearing capacity of foundations, which were calculated according to the non-saline soils, significantly different from the carrying capacity for saline soils. This paper presents experimental research materials thresholds coagulation hydromicaceous clay saline $MgCl_2$, $CaCl_2$, KCl and $NaCl$.

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

На территории Пермского края находится крупнейшее месторождение калийно-магниевых солей. Технология его разработки предполагает складирование на земной поверхности соляных отходов в виде солевых отвалов и шламохранилищ.

В результате воздействия на солевые отвалы ветра и дождевых вод происходит засоление грунтов, поверхностных и подземных вод, прилегающих к отвалам территорий. Процесс засоления усугубляется фильтрацией из шламохранилищ флотационных отходов. Площадь техногенной нагрузки на геологическую среду составляет сотни квадратных километров, что приводит к негативным последствиям как для природной среды, так и для человека [4, 5, 6]. В зоне влияния калийного производства находится значительное количество действующих производственно-бытовых объектов. Кроме того, планируется возводить новые производственные сооружения. Для рационального размещения зданий следует производить районирование территории [7, 8, 9, 10].

Опыт показывает, что устойчивость сооружений, в основании которых находятся

засоленные грунты, в ряде случаев не отвечает требованиям действующих нормативных документов. Это обусловлено тем, что при попадании солей в грунты происходит изменение их физико-механических свойств. Поэтому несущая способность фундаментов, которые рассчитывались по данным незасоленных грунтов, значительно отличается от несущей способности для засоленных грунтов. 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. Исследованием формирования деформационных свойств засоленных грунтов занимались М.Ю. Абелев, А.А. Глазь, Р.С. Зиангиров; прочностных свойств – В.М. Безрук, Л.Н. Ломизе, С.Б. Ухов, А.Б. Лолаев, Б. Рахманов и др. В своих работах они отмечают, что механические свойства грунтов во многом определяются размером их структурных элементов. При засолении грунтов происходит коагуляция частиц. При этом каждый

электролит обладает своим порогом коагуляции. В работе В.В. Охотина приведены значения порогов коагуляции отдельных катионов по отношению к глинистым частицам. Однако вопросы коагуляции засоленных гидрослюдистых глин изучены слабо.

Целью работы является изучение закономерностей коагуляции глин при засолении.

Материалы и методы исследования

Методика работ:

- подготовка глины для определения гранулометрического состава по стандартной методике;
- определение плотности грунта и числа пластичности;
- определение минерального состава глинистых частиц рентгено-дифрактометрическим методом;
- определение скорости падения глинистых частиц в растворах солей разной концентрации при ареометрическом анализе;
- определение толщины диффузного слоя глинистой частицы в растворах солей $MgCl_2$, $CaCl_2$, KCl и $NaCl$.

В качестве критерия оценки коагуляции глинистых частиц принят показатель скорости их падения, поэтому более подробно остановимся на методике его определения.

Скорость падения глинистых частиц определялась по формуле:

$$V = \frac{H_R}{t}, \quad (1)$$

где H_R – путь падения частиц, см; t – время падения частиц, с. Время отсчета от начала анализа, т.е. от момента, когда зафиксировано полное уничтожение осадка на дне цилиндра и прекращено взбалтывание суспензии, устанавливалось по ареометру.

Величины H_R и t измеряются непосредственно по формуле

$$H_R = \left(\frac{N - R_n}{N} l \right) + a - b, \quad (2)$$

где H_R – путь падения частиц от поверхности суспензии до центра водоизмещения «луковицы» ареометра; N – число тысячных делений на шкале ареометра, $N = 30$; R_n – упрощенное показание ареометра с учетом поправки; l – длина шкалы ареометра от деления 1,030 до 1,000, см; a – расстояние от деления 1,030 до центра водоизмещения «луковицы», см; b вычисляется по формуле:

$$b = \frac{V}{2F}, \quad (3)$$

где V – объем «луковицы» ареометра, cm^3 ; F – площадь сечения цилиндра, cm^2 .

Для проведения испытаний были выбраны четыре соли: хлорид натрия $NaCl$; хлорид калия KCl ; хлорид кальция $CaCl_2$; хлорид магния $MgCl_2$. Опытным путем были подобраны концентрации для каждой соли. Так, для $NaCl$ были выбраны следующие концентрации: 0,001–0,07%; для KCl – 0,001–0,04%; для $CaCl_2$ – 0,001–0,01%; для $MgCl_2$ – 0,001–0,008%. Также учтена поправка на наличие грунта.

Скорость падения глинистых частиц в растворах солей проводится аналогично определению скорости падения глинистых частиц в дистиллированной воде.

Результаты исследований и их обсуждение

Объектом исследования являются глины, отобранные в Пермском крае (1-я партия образцов) и в Челябинской области (2-я партия образцов). Гранулометрический состав грунтов представлен в табл. 1. Минеральный состав представлен в табл. 2. Дифрактограмма минерального состава глинистых частиц представлена, рис. 1. Физические свойства приведены в табл. 3. Результаты измерений скорости падения глинистых частиц в растворах солей различной концентрации приведены в табл. 4.

В табл. 5 приведены результаты расчетов диффузного слоя глинистой частицы (2-я партия образцов).

Таблица 1
Гранулометрический состав

Диаметр частиц, мм	Содержание фракций, %	
	1-я партия образцов	2-я партия образцов
1–0,5	0	0
0,5–0,25	3	0
0,25–0,1	9	1
0,1–0,05	17	3
0,05–0,01	25	5
0,01–0,005	16	10
0,005–0,001	17	15
< 0,001	13	66

Таблица 2

Минеральный состав глинистых частиц

Минерал	Формула минерала	Содержание в 1 г грунта, %	
		1-я партия образцов	2-я партия образцов
Гидрослюда	$(K_3O)Al_2(OH)_2 \cdot [(Si, Al)_4O_{10}]_n nH_2O$	67	57
Монтмориллонит	$(Ca, Na)(Mg, Al, Fe)_2(OH)_2 \cdot [(Si, Al)_4O_{16}]^* nH_2O$	3	5
Кварц	SiO_2	20	7
Хлорит	$(Mg, Fe)_6(Al, Fe)_2Si_4O_{10}[OH]_8$	6	11
Гетит	$\alpha-FeOOH$	4	–
Каолинит	$Al_4[Si_4O_{10}]^*(OH)_8$	–	18
Кальцит	$CaCO_3$	–	1
КПШ	–	–	1

Таблица 3

Физические свойства глин

Показатель	1-я партия образцов	2-я партия образцов
Плотность частиц, г/см ³	2,67	2,78
Верхний предел, д.ед.	0,383	0,778
Нижний предел, д.ед.	0,194	0,321
Число пластичности, %	18,9	46

Таблица 4

Результаты определения скорости падения глинистых частиц

Концентрация раствора, %	Средняя скорость падения глинистых частиц диаметром < 0,001 мм в растворах солей, см/с							
	1-я партия образцов				2-я партия образцов			
	NaCl	KCl	CaCl ₂	MgCl ₂	NaCl	KCl	CaCl ₂	MgCl ₂
0,001	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,00020	0,00020	0,00020	0,00020
0,005	0,0002	0,0002	0,0002	0,0003	0,00020	0,00020	0,00021	0,00022
0,006	0,0002	0,0002	0,0002	0,0005	0,00020	0,00020	0,00021	0,00023
0,007	0,0002	0,0002	0,0002	0,0010	0,00020	0,00020	0,00022	0,00028
0,008	0,0002	0,0002	0,0002	0,0015	0,00020	0,00020	0,00023	0,00038
0,009	0,0002	0,0002	0,0002	–	0,00020	0,00020	0,00027	–
0,010	0,0002	0,0002	0,0016	–	0,00020	0,00020	0,00038	–
0,020	0,0002	0,0002	–	–	0,00020	0,00021	–	–
0,030	0,0002	0,0008	–	–	0,00020	0,00023	–	–
0,040	0,0002	0,0016	–	–	0,00021	0,00031	–	–
0,050	0,0002	–	–	–	0,00023	–	–	–
0,060	0,0005	–	–	–	0,00025	–	–	–
0,070	0,0008	–	–	–	0,00031	–	–	–

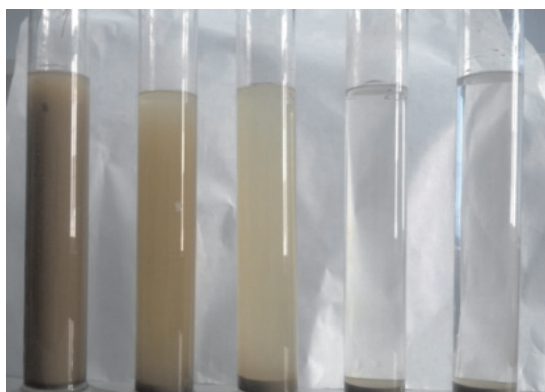


Рис. 1. Ареометрический анализ, замер через сутки после взбалтывания (в 1-м слева цилиндре дистиллированная вода, во 2-м – раствор NaCl, в 3-м – раствор KCl, в 4-м – раствор MgCl₂, в 5-м – раствор CaCl₂)

Анализ результатов исследований granulometric composition of soils (table 1) showed that soils, representing the 1st batch of samples, are 30% composed of clay particles, 41% of silt particles and 29% of sand particles, while the 2nd batch of samples is 81% represented

by clay particles, 15% by silt particles and 4% by sand particles. Thus, as the object of research we have a light silt soil (1st batch of samples) and a heavy silt soil (2nd batch of samples) – practically clean clay.

The analysis of the mineral composition of soils showed that hydrosol is a predominating clay mineral (57–67%), montmorillonite has a subordinate value (3–5%), and in samples of the 2nd batch it contains 18% kaolinite. Thus, in the 1st batch it contains 70%, and in the 2nd batch 80% of clay minerals.

The analysis of the change in the rate of settling of clay particles in solutions of salts of different concentrations showed that when held in solution of MgCl₂, more than 0,006%, CaCl₂, more than 0,010%, KCl more than 0,03% and NaCl more than 0,06% the rate of settling of clay particles sharply increases (fig. 2).

The change (sharp) in the rate of settling of clay particles can be explained by coagulation, therefore the above-mentioned concentrations of salts can be taken as the threshold of coagulation of clay particles (table 6).

Таблица 5

Результаты расчета толщины диффузного слоя глинистых частиц*

Показатель	Na	K	Ca	Mg
Концентрация раствора, %	0,06	0,03	0,008	0,006
Ионные радиусы, г, нм	0,098	0,132	0,100	0,071
Количество коллоидов	2,26*10 ¹²			
Количество катионов в растворе	4,10*10 ²¹	1,61*10 ²¹	3,15*10 ²⁰	2,16*10 ²⁰
Количество катионов на 1 коллоид	1,81*10 ⁹	7,12*10 ⁸	1,39*10 ⁸	9,56*10 ⁷
Площадь поверхности 1 коллоида, м ² **	3,14*10 ⁻¹²			
Площадь сечения катиона, м ²	3,02*10 ⁻²⁰	5,47*10 ⁻²⁰	3,14*10 ⁻²⁰	1,58*10 ⁻²⁰
Суммарная площадь катионов, м ²	5,47*10 ⁻¹¹	3,89*10 ⁻¹¹	4,36*10 ⁻¹²	1,51*10 ⁻¹²
Отношение суммарной площади катионов к площади коллоида, %	1742	1239	138	48
Площадь коллоида, не занятая катионами, %	0	0	0	52
Количество слоев катионов	18	13	2	1
Толщина диффузного слоя, нм	3,53	3,33	0,40	0,14

Примечания:

*– расчет диффузного слоя произведен для глин из 2-й партии образцов;

**– диаметр глинистых частиц меньше 0,001 мм.

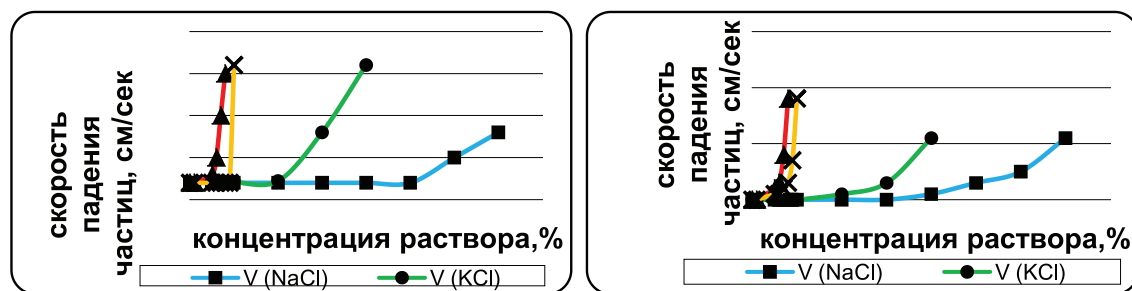


Рис. 2. График зависимости скорости падения глинистых частиц от концентрации соляных растворов, слева – для 1-й партии образцов гидрослюдистой глины, справа – для 2-й партии образцов гидрослюдистой глины

Таблица 6

Пороги коагуляции глинистых частиц

Раствор соли	Концентрации растворов, соответствующие порогам коагуляции, %		Толщина диффузного слоя, нм
	1-я партия образцов	2-я партия образцов	
NaCl	0,06	0,06	3,53
KCl	0,03	0,03	3,33
CaCl ₂	0,010	0,008	0,40
MgCl ₂	0,005	0,006	0,14

Из табл. 6 видно, что пороги коагуляции возрастают в следующей последовательности: MgCl₂, CaCl₂, KCl и NaCl. Данную закономерность можно объяснить следующим образом: коагуляция частиц глин основана на энергии их взаимодействия между собой. Энергия же на поверхности глини-

стой частицы в свою очередь определяется толщиной диффузного слоя.

Сопоставляя значения толщины диффузного слоя и порогов коагуляции глинистых частиц, наблюдаем, что чем больше толщина диффузного слоя, тем выше порог коагуляции глинистой частицы (табл. 6).

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. Лейбович Л.О., Середин В.В., Пушкарева М.В., Чиркова А.А., Копылов И.С. Экологическая оценка территорий месторождений углеводородного сырья для определения возможности размещения объектов нефтедобычи // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2012. – № 12. – С. 13–16.

3. Пушкарева М.В., Май И.В., Середин В.В., Лейбович Л.О., Чиркова А.А., Веквшнина 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., Бахарев А.О. Корректировка границ зон санитарной охраны (ЗСО) питьевого водозабора // Здоровье населения и среда обитания. – 2011. – № 8. – С. 10–12.

6. 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.

7. 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.

8. 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.

9. 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.

10. Середин В.В., Пушкарева М.В., Лейбович Л.О., Бахарев Н.С. Методика инженерно-геологического районирования на основе балльной оценки классификационного признака // Инженерная геология. – 2011. – № 3. – С. 20–25.

References

1. Galkin V.I., Seredin V.V., Lejbovich L.O., Kopylov I.S., Pushkareva M.V., Chirkova A.A., Ocenka jeffektivnosti tehnologij ochistki neftezagrjaznenny hgruntov. Zashhita okruzhasjshhej sredy v neftegazovom komplekse. 2012, no. 6, pp. 4–7.

2. Lejbovich L.O., Seredin V.V., Pushkareva M.V., Chirkova A.A., Kopylov I.S., Jekologicheskaja ocenka territorij mestorozhdenij uglevodородного syrja dlja opredelenija vozmozhnosti razmeshhenija objektov neftedobychi. Zashhita okruzhasjshhej sredy v neftegazovom komplekse. 2012, no. 12, pp. 13–16.

3. Pushkareva M.V., Maj I.V., Seredin V.V., Lejbovich L.O., Chirkova A.A., Vekovshchina S.A., Jekologicheskaja ocenka sredy obitanija i sostojanija zdorovj anaselenija na territorijah neftedobychi Permskogo kraja. Zashhita okruzhasjshhej sredy v neftegazovom komplekse. 2013, no. 2, pp. 40–45.

4. Pushkareva M.V., Seredin V.V., Lejbovich L.O., Chirkova A.A., Baharev A.O. Inzhenerno-jekologicheskaja ocenka territorii zapasov podzemnyh vod v svjazi s razrabotkoj nefljanym mestorozhdenij. Zashhita okruzhasjshhej sredy v neftegazovom komplekse. 2013, no. 2, pp. 9–13.

5. Pushkareva M.V., Seredin V.V., Lejbovich L.O., Chirkova A.A., Baharev A.O. Korrektirovka granic zon sanitarnoj ohrany (ZSO) pitevogo vodozabora. Zdorove naselenija I sreda obitanija. 2011, no. 8, pp. 10–12.

6. Pushkareva M.V., Seredin V.V., Lejbovich L.O., Chirkova A.A., Ocenka kompleksa prirodoohrannyh meroprijatij dlja objektov neftedobychi, nahodjashhihsja na territorii zony sanitarnoj ohrany (ZSO) poverhnostnogo vodozabora. Zashhita okruzhasjshhej sredy v neftegazovom komplekse. 2011, no. 8, pp. 27–30.

7. Seredin V.V., Galkin V.I., Pushkareva M.V., Lejbovich L.O., Smetanin S.N., Verojatnostno-statisticheskaja ocenka inzhenerno-geologicheskikh uslovij dlja specialnogo rajonirovanija. Inzhenernaja geologija. 2011, no. 4, pp. 42–47.

8. Seredin V.V., Galkin V.I., Rastegaev A.V., Lejbovich L.O., Pushkareva M.V., Prognozirovanie karstovoj opasnosti pri inzhenerno-geologicheskom rajonirovanii territorii. Inzhenernaja geologija. 2012, no. 2, pp. 40–45.

9. Seredin V.V., Lejbovich L.O., Pushkareva M.V., Kopylov I.S., Hrulev A.S., K voprosu o formirovanii morfologii poverhnosti treshhiny razrushenija gornyh porod. Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznyh iskopaemyh. 2013, no. 3, pp. 85–90.

10. Seredin V.V., Pushkareva M.V., Lejbovich L.O., Bahareva N.S. Metodika inzhenerno-geologicheskogo rajonirovanija na osnove ballnoj ocenki klassifikacionnogo priznaka. Inzhenernaja geologija. 2011, no. 3, pp. 20–25.

Рецензенты:

Наумова О.Б., д.г.-м.н., зав. кафедрой поисков и разведки полезных ископаемых Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь;
 Ибламинов Р.Г., д.г.-м.н., заведующий кафедрой минералогии и петрографии Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь.
 Работа поступила в редакцию 29.11.2013.