

УДК 624.131

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА АГРЕГАЦИИ ЧАСТИЦ В ГЛИНИСТЫХ ГРУНТАХ ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ ИХ УГЛЕВОДОРОДАМИ**Середин В.В., Ядзинская М.Р.***Пермский государственный национальный исследовательский университет,
Пермь, e-mail: kafedra.ingeo@gmail.com*

При разработке и эксплуатации нефтяных месторождений достаточно часто на земную поверхность проливается нефть, которая распространяется как вглубь, так и по поверхности грунтового массива. В результате этого процесса в поровом растворе грунта появляется техногенная компонента – нефть. Наличие этой новой компоненты ведет к изменению свойств грунтов, которые в свою очередь определяют несущую способность грунтового основания существующих зданий и сооружений. Многие вопросы изменения прочностных свойств грунтов, загрязненных углеводородами, изучены не достаточно полно, а результаты иногда противоречивы. Так, одним из основных факторов, определяющих свойства грунтов, является размер структурных элементов. Однако вопросы агрегирования частиц глинистых грунтов, загрязненных углеводородами, изучены достаточно слабо. Поэтому целью данной работы является исследование закономерностей агрегации частиц в глинистых грунтах, поровым раствором которых являются углеводороды и вода.

Ключевые слова: грунты, физико-механические свойства, инженерная геология, микроагрегатный состав глин

STUDY OF PARTICLES AGGREGATION MECHANISM IN CLAY SOILS HYDROCARBON POLLUTED**Seredin V.V., Yadzinskaya M.R.***Perm State National Research University, Perm, e-mail: georif@yandex.ru*

The development and exploitation of oil fields often enough to the earth's surface oil spills, which applies to both inland and on the surface of the soil mass. As a result of this process in the soil pore solution appears a technological component – oil. The presence of this new component leads to a change in properties of soils, which in turn determine the bearing capacity of the subgrade of existing buildings and structures. Many questions changes in strength properties of soils contaminated with hydrocarbons, have not been studied adequately, and the results are sometimes contradictory. Thus, one of the main factors determining the properties of soils is the size of the structural elements. However, questions of particle aggregation clay soils contaminated with hydrocarbons studied quite poorly. The aim of this work is to study the laws of particle aggregation in clay soils, the pore solution which are hydrocarbons and water.

Keywords: soils, physical and mechanical properties, engineering geology, microaggregate composition of clays

При разработке и эксплуатации нефтяных месторождений достаточно часто на земную поверхность проливается нефть [3, 6], которая распространяется как по разрезу, так и по площади грунтового массива. В результате этого процесса в поровом растворе грунта появляется техногенная компонента – нефть. Наличие этой новой компоненты ведет к изменению свойств грунтов, которые в свою очередь определяют несущую способность грунтового основания существующих зданий и сооружений.

Исследованиями изменений физико-механических свойств грунтов при загрязнении их нефтью и нефтепродуктами занимались Н.Н. Бракоренко и Т.Я. Емельянова, А.П. Казёнников [2], Ю.Н. Копылов, Ю.А. Нефедьева [4], В.В. Середин, М.Р. Ядзинская [9], Л.В. Шевченко, И.В. Ширшова и другие.

Многие вопросы изменения прочностных свойств грунтов, загрязненных углеводородами, изучены не достаточно полно, а результаты иногда противоречивы. Так, одним из основных факторов, определя-

ющих свойства грунтов, является размер структурных элементов. Однако вопросы агрегирования частиц глинистых грунтов, загрязненных углеводородами, изучены достаточно слабо. Поэтому целью данной работы является исследование закономерностей агрегации частиц в глинистых грунтах, поровым раствором которых являются углеводороды и вода.

Материалы и методы исследований

Все лабораторные исследования грунтов проходили на базе лаборатории грунтоведения при Пермском государственном национальном исследовательском университете.

Объект исследований: глина каолинитовая, сулинки и супеси. Для проведения испытаний в качестве поровой жидкости были выбраны вода дистиллированная и масло машинное.

Подготовка образцов производилась следующим образом: в сухой порошкообразный грунт, добавлялась дистиллированная вода (20%) и масло моторное марки «ЛУКОЙЛ-МОТО 2Т» (МГД-14м) в концентрациях 1,5; 2,5; 4,5 и 10%. Затем полученная масса помещалась в эксикатор на 1 сутки. Далее определялся гранулометрический и микроагрегатный состав согласно методике ГОСТ 12536-79.

Масло моторное марки «ЛУКОЙЛ-МОТО 2Т» (МГД-14м) имеет следующие физико-химические характеристики:

- вязкость кинематическая при 100°С – 13,5–15,5 мм²/с;
- индекс вязкости – 90;

- температура вспышки в открытом тигле – 215°С;
- температура застывания – минус 15°С;
- общая щелочность – 2,0 мг КОН/1 г;
- массовая доля сульфатной золы – 0,25% масс;
- моющие свойства по ПЗВ – 0,5 баллов.

Результаты исследований приведены в табл. 1–3.

Таблица 1

Изменение микроагрегатного состава глины при загрязнении ее маслом моторным

Степень нефтяного загрязнения, %	Содержание микроагрегатов в каждой фракции, %								
	Песок				Итого песчаной фракции	Пыль		Итого пылеватой фракции	Глина < 0,005
	1–0,5	0,5–0,25	0,25–0,1	0,1–0,05		0,05–0,01	0,01–0,005		
0,0	0,05	0,50	1,40	0,01	1,96	39,22	9,81	49,02	49,02
1,5	0,05	0,20	1,50	0,02	1,77	49,12	9,82	58,95	39,28
2,5	0,05	0,30	2,00	0,40	2,75	58,59	29,30	87,89	9,36
4,5	0,10	0,45	1,65	0,00	2,20	19,56	39,12	58,68	39,12
10,0	0,10	0,40	1,50	0,02	2,02	29,40	19,60	49,00	48,98

Таблица 2

Изменение микроагрегатного состава суглинка при загрязнении его маслом моторным

Степень нефтяного загрязнения, %	Содержание микроагрегатов в каждой фракции, %								
	Песок				Итого песчаной фракции	Пыль		Итого пылеватой фракции	Глина < 0,005
	1–0,5	0,5–0,25	0,25–0,1	0,1–0,05		0,05–0,01	0,01–0,005		
0,0	1,13	4,76	11,53	0,01	17,44	16,51	43,03	49,54	33,02
1,5	2,43	6,80	5,76	0,01	15,04	22,66	22,66	45,32	39,64
2,5	2,66	11,06	16,13	0,03	29,90	42,08	40,00	42,08	28,02
4,5	1,56	5,63	6,83	0,01	14,04	40,12	11,46	51,58	34,38
10,0	2,90	6,40	6,23	0,01	15,54	39,42	5,63	45,05	39,41

Таблица 3

Изменение микроагрегатного состава супеси при загрязнении ее маслом моторным

Степень нефтяного загрязнения, %	Содержание микроагрегатов в каждой фракции, %								
	Песок				Итого песчаной фракции	Пыль		Итого пылеватой фракции	Глина < 0,005
	1–0,5	0,5–0,25	0,25–0,1	0,1–0,05		0,05–0,01	0,01–0,005		
0,0	0,675	9,825	24,05	0,01	34,56	52,36	6,54	58,90	6,54
1,5	0,675	7,5	19,325	0,02	27,52	47,13	18,13	65,25	7,23
2,5	16,875	9,4	21,125	0,01	47,41	21,04	23,67	44,71	7,88
4,5	25,95	0,45	9,4	0,00	35,80	6,42	54,57	60,99	3,21
10,0	11,05	7,275	13,9	0,02	32,25	44,05	16,94	61,00	6,76

Результаты исследований и их обсуждение

На рис. 1 приведен график изменения микроагрегатного состава глины при загрязнении ее маслом моторным. Из рис. 1 видно, что при увеличении в поровой жидкости грунта масла моторного (УВ) до 2,5% наблюдается уменьшение содержания глинистой фракции. Это можно объяснить коагуляцией глинистых частиц, при увеличении же содержания УВ в грунте более 2,5% содержание глинистой фракции увеличивается, что обусловлено, вероятно, процессом диспергации.

Изменение содержания в глинах пылеватой фракции не связано с процессами диспергации и агрегации, а обусловлено изменением содержания в грунтах глинистой фракции. Так, при концентрации УВ в глинах до 2,5% содержание глинистой фракции в грунте падает на 39,66% (от 49,02 до 9,36%), а пылеватой соответственно возрастает на 38,87% (от 49,02 до 87,89%). Содержание песчаной фракции не изменяется. Таким образом, при загрязнении глин углеводородами процессам диспергации и агрегации подвержена в основном глинистая фракция.

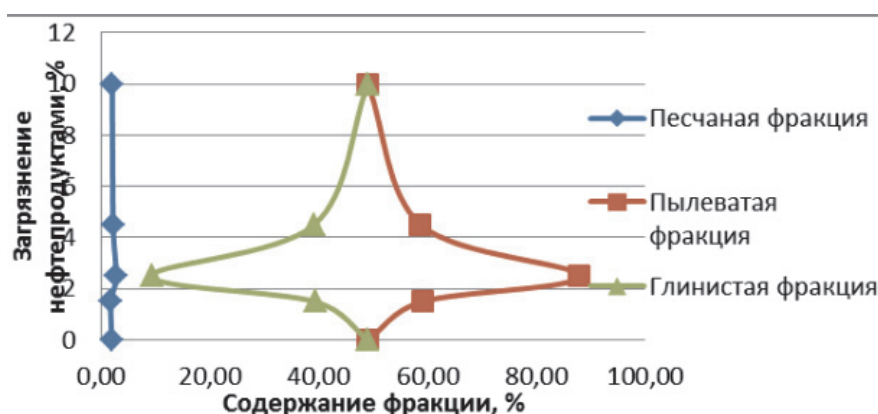


Рис. 1. Изменение микроагрегатного состава глин при загрязнении их маслом моторным.

На рис. 2 представлены данные по изменению микроагрегатного состава суглинка при загрязнении его маслом моторным. Из рис. 2 видно, что при увеличении масла моторного (УВ) до 2,5% в поровой жидкости грунта наблюдается

коагуляция частиц глинистой и пылеватой фракций, при увеличении же содержания УВ более 2,5%, наоборот, протекает процесс диспергации, о чем свидетельствует изменение содержания этих фракций в грунтах.

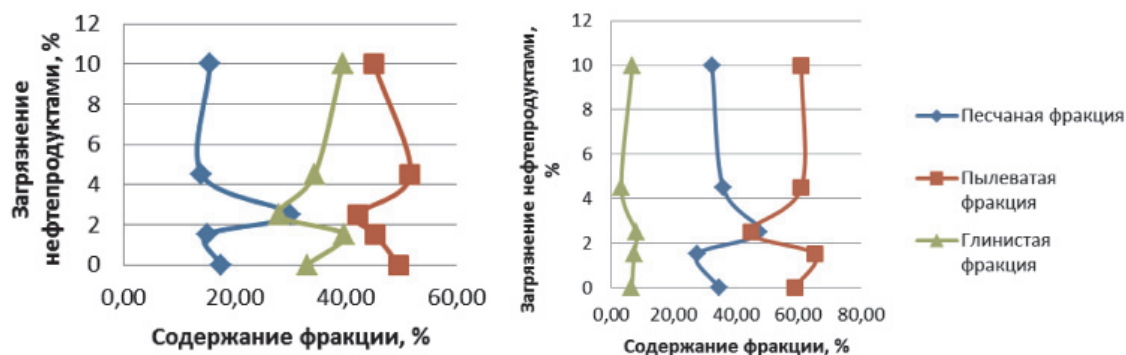


Рис. 2. Изменение микроагрегатного состава слева – сугилка, справа – супеси при загрязнении маслом моторным

Изменение содержания песчаной фракции обусловлено изменениями содержания глинистой и пылеватой фракций. Так, при концентрации УВ в суглинках до 2,5% со-

держание глинистой и пылеватой фракций в грунте снижается на 12,46%, а песчаной соответственно возрастает также на 12,46%. Таким образом, при загрязнении

суглинков углеводородами процессами диспергации и агрегации затронуты в основном глинистая и пылевая фракции.

Из рис. 2 видно, что при увеличении масла моторного (УВ) до 2,5% наблюдается коагуляция частиц пылевой фракции, при увеличении же содержания УВ более 2,5%, наоборот, протекает процесс диспергации, о чем свидетельствует изменение содержания этой фракции в грунтах.

Изменение содержания в супесях песчаной фракции обусловлено изменением содержания в грунтах пылевой фракции. Так при концентрации УВ в супесях до 2,5% содержание пылевой фракции падает на 14,20%, а песчаной соответственно возрастает на 12,85%. Содержание глини-

стой фракции изменяется незначительно, на 1,30%. Таким образом, при загрязнении супеси углеводородами процессам диспергации и агрегации подвержена в основном пылевая фракция.

В табл. 4 приведены данные по влиянию углеводородов на агрегированность частиц в грунтах. Из табл. 4 видно, что в глинах агрегированию подвержена в основном глинистая фракция, в суглинках глинистая и пылевая, а в супесях пылевая. При этом наиболее интенсивно процессы агрегации протекают в глинах. Это обусловлено, вероятно, величиной энергий на поверхности частиц, глины имеют наибольшую энергию по сравнению с суглинками и супесями.

Таблица 4

Степень агрегации частиц

Номенклатура грунта	Глина		Суглинок		Супесь	
	глинистая	пылевая	глинистая	пылевая	глинистая	пылевая
Степень агрегации, %	39,60	–	5,02	7,50	1,20	14,20

Изменение агрегатного состава грунтов влечет за собой изменение их свойств. Таким образом, при загрязнении грунтов углеводородами следует ожидать наибольшего изменения физико-механических свойств в глинах.

Механизм агрегации и диспергации частиц глинистых грунтов

Поровая жидкость – электролит и углеводороды. Механизм агрегации основан на электростатическом взаимодействии между частицами. Процесс агрегации протекает следующим образом. На поверхности глинистой частицы (коллоида) формируется некомпенсированный отрицательный заряд. При увлажнении глины до максимальной гигроскопической влажности вокруг частицы формируется слой прочносвязанной воды.

Этот слой компенсирует часть отрицательного заряда частицы, поэтому его поверхность также заряжена отрицательно. При добавлении в грунт углеводородов в поровом растворе породы активизируются природные (биогенные) поверхностно активные вещества (ПАВ) и техногенные (ПАВ масла машинного). Молекула ПАВ состоит из полярной (голова) и неполярной (хвост) частей. Полярная часть молекулы гидрофильная, а неполярная гидрофобная и представлена углеводородными соединениями. ПАВ, как и все вещества в зависимости от способности к диссоциации, делятся на электролиты (ионогенные ПАВ) и неэлектролиты (неионогенные ПАВ). Ионогенные ПАВ подразделяются на катионоактивные,

анионоактивные и амфотерные. Отсюда полярная часть молекулы может быть заряжена как положительно, так и отрицательно.

В водной среде молекула ПАВ ориентируется таким образом, что гидрофобная часть стремится расположиться вне водной фазы (в углеводородах), а полярные части (голова) обращены в сторону водной среды.

Таким образом, поверхность «капли» УВ со слоем ПАВ и минеральной глинистой частицы имеют некомпенсированные заряды как отрицательные, так и положительные. Поэтому при незначительном содержании УВ в грунтах (до пороговых, равных 2,5%), молекула ПАВ с положительно заряженной «головой» компенсирует заряд глинистой частицы, и при полной компенсации энергии происходит слипание частиц грунта, то есть грунт агрегирует (рис. 3).

При увеличении УВ в поровом растворе глин выше пороговых значений (больше 2,5%) включаются в работу ПАВ, имеющие отрицательный заряд «головы». Они нейтрализуют положительный заряд «голов» ПАВ, окружающих глинистую частицу. После чего на поверхности глинистой частицы вновь появляется отрицательный заряд, что влечет за собой диспергацию частиц.

Выводы

1. Экспериментально установлено, при загрязнении глинистых грунтов (глин, суглинка и супеси) маслом машинным до 2,5% в них протекают процессы коагуляции, а при увеличении загрязнения – диспергации.

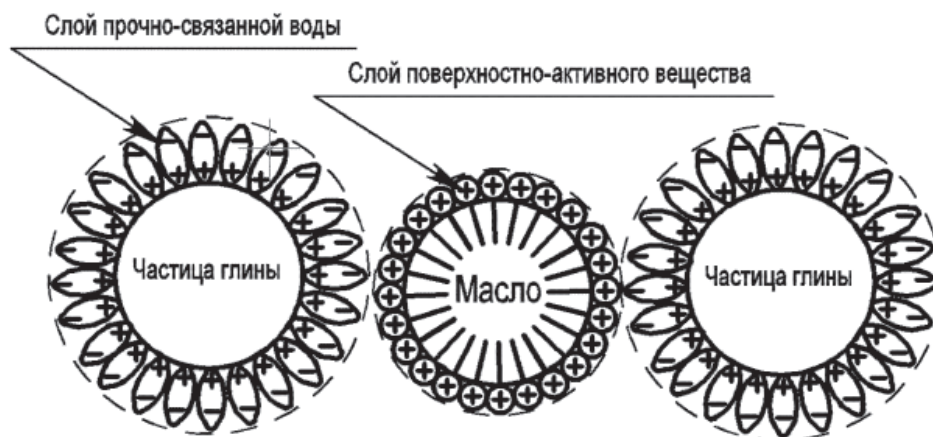


Рис. 3. Механизм коагуляции частиц в глинистых грунтах, поровым раствором которых являются углеводороды и вода.

2. Наиболее интенсивно процессы агрегации протекают в глинах, поэтому при загрязнении глин углеводородами следует ожидать в них значительных изменений физико-механических свойств.

3. В грунтах, загрязненных углеводородами, агрегация частиц связана, вероятно, с наличием поверхностно-активных веществ в поровом растворе, которые влияют на энергию поверхности частиц, а она (величина энергии) в свою очередь определяет процессы коагуляции и диспергации.

Список литературы

1. Бракоренко Н.Н., Емельянова Т.Я. Влияние нефтепродуктов на петрографический состав и физико-механические свойства песчано-глинистых грунтов (на примере г. Томска) // Вестник Томского государственного университета. – 2011. – № 342. – С. 197–200.
2. Казенников А.П. Исследование физико-механических свойств грунтов, загрязненных нефтепродуктами // Роль мелиорации в обеспечении продовольственной и экологической безопасности России: материалы Международной научно-практической конференции. – М.: МГУП, 2009.
3. 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.
4. Нефедьева Ю.А. Роль трансформации нефтяного загрязнения в изменении свойств грунтов слоев сезонного оттаивания и сезонного промерзания: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. – МГУ, 2010.
5. Осипов В.И., Соколов В.Н., Румянцева Н.А. Микроструктура глинистых пород – М.: Недра, 1989. – 211 с.
6. Середин В.В. Санация территорий, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. – 2000. – № 6. – С. 525.
7. Середин В.В., Андрианов А.В. К вопросу о методике определения прочностных характеристик грунтов // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – С. 946
8. Середин В.В., Каченов В.И., Ситева О.С., Паглазова Д.Н. Изучение закономерностей коагуляции глинистых частиц // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10–14. – С. 3189–3193.
9. Середин В.В., Ядзинская М.Р. Закономерности изменений прочностных свойств глинистых грунтов, загрязненных нефтепродуктами // Инженерная геология. – 2014. – № 2. – С. 26–33.
10. Середин В.В., Андрианов А.В. К вопросу о методике определения прочностных характеристик грунтов. Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – С. 946

References

1. Brakorenko N.N., Emelianova T.Ia. Vliianie nefteproduktov na petrograficheskiy sostav i fiziko-mehaniicheskie svoystva peschano-glinistykh gruntov (na primere g. Tomsk) // Vestnyk Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. 2011. no. 342. pp. 197–200.
2. Kazennikov A.P. Issledovanie fiziko-mehaniicheskiikh svoystv gruntov, zagriaznennykh nefteproduktami // Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Rol melioratsii v obespechenii prodovol'stvennoi i ekologicheskoi bezopasnosti Rossii». M.: MGUP, 2009.
3. Leibovich L.O., Seredin V.V., Pushkareva M.V., Chirkova A.A., Kopylov I.S. Ekologicheskaya ocenka territorii mestorozhdenii uglevodorodnogo syr'ya dlia opredeleniia vozmozhnosti razmeshcheniia obektov nefteдобычи. Zashchita okruzhaiushchei sredy v neftegazovom komplekse. 2012. no. 12. pp. 13–16.
4. Nefedeva Ju.A. Rol transformatsii nefyanogo zagriazneniia v izmenenii svoystv gruntov sloev sezonnogo ottaivaniia i sezonnogo promerzaniia: avtoreferat na soiskanie uchenoi stepeni k.g.-m.n. MGU, 2010.
5. Osipov V.I., Sokolov V.N., Rumiantseva N.A. Mikrostruktura glinistykh porod. M.: Nedra, 1989. 211 p.
6. Seredin V.V. Sanatsiia territorii, zagriaznennykh neftiu i nefteproduktami. Geoekologiya, inzhenernaia geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya. 2000. no. 6. pp. 525.
7. Seredin V.V., Andrianov A.V. K voprosu o metodike opredeleniia prochnostnykh harakteristik gruntov // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia. 2013. no. 6. pp. 946.
8. Seredin V.V., Kachenov V.I., Siteva O.S., Paglazova D.N. Izuchenie zakonornostei koaguliatsii glinistykh chastitc. // Fundamentalnye issledovaniia. 2013. no. 10–14. pp. 3189–3193.
9. Seredin V.V., Iadziinskaia M.R. Zakonomernosti izmenenii prochnostnykh svoystv glinistykh gruntov, zagriaznennykh nefteproduktami. Inzhenernaia geologiya. 2014. no. 2. pp. 26–33.
10. Seredin V.V., Andrianov A.V. K voprosu o metodike opredeleniia prochnostnykh harakteristik gruntov. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia. 2013. no. 6. pp. 946.

Рецензенты:

Ибламинов Р.Г., д.г.-м.н., заведующий кафедрой минералогии и петрографии Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь;

Осовецкий Б.М., д.г.-м.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры минералогии и петрографии Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь.

Работа поступила в редакцию 28.07.2014.