

Н. П. ЗАТЕНАЦКАЯ

**РОЛЬ АМОРФНОГО КРЕМНЕЗЕМА В ФОРМИРОВАНИИ
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД**

(Представлено академиком Н. М. Страховым 7 V 1970)

Физико-механические свойства глинистых пород зависят от многих факторов, важнейшим из которых, как указывал В. А. Приклонский⁽⁹⁾, надо считать их химико-минеральный состав.

Нами исследованы нижнечетвертичные озерные глины Армении, имеющие региональное распространение в пределах Араратской и Ленинанканской котловин. В Араратской котловине они залегают на глубинах 15—20 м и имеют мощность 20—70 м; в Ленинанканской котловине они вскрыты на глубине 5 м (г. Ленинанкан) и имеют мощность до 300 м. Монолиты озерных глин были отобраны в интервале глубин 21—111 м. В аналитических исследованиях принимали участие В. М. Громова и А. К. Копылова.

Нижнечетвертичные глины Араратской и Ленинанканской котловин образовались в пресноводных бассейнах озерного типа в области широкого развития вулканогенных пород — базальтов, андезитов, туфов и других. По литологическому, химико-минеральному, гранулометрическому составу, а также по физическому состоянию озерные глины указанных котловин сходны между собой. В свежем кернах они зеленовато-серые и темно-серые, с черными углистыми примазками и фауной *Dreissensia*, однородны по составу, пластичны.

Содержание карбонатов в глинах изменяется от 0,3 до 14,6%; во фракции < 1 м их 5—26% от общего количества в породе. Гипс — от следов до 0,3%. Аморфный кремнезем составляет 1—13%; во фракции < 1 м 30—50% от содержания в породе. Органического вещества 0,1—1,2%.

По минеральному составу (термический, рентгеноструктурный и электронномикроскопический анализы) глины гидрослюдисто-монтмориллонитовые с примесью палыгорскита, каолинита и хлорита.

Накопление в глинах аутигенного кремнезема происходит биогенным путем; различные стадии разрушения скелетов диатомей хорошо прослеживаются под электронным микроскопом во всех изученных образцах. Основным источником поступления свободного кремнезема в воды озерных бассейнов было выветривание свежих вулканических пород, приводящее на ранних своих стадиях в щелочных условиях к большому выносу из пород именно SiO_2 ⁽¹²⁾.

По гранулометрическому составу озерные глины в основном относятся к высокодисперсным породам с содержанием фракции < 1 м от 54 до 92%, реже встречаются пылеватые разности. По микроагрегатному составу — это смешанные и пылеватые породы, что свидетельствует о значительной агрегированности их в естественном состоянии за счет цементации глинистых частиц аморфным кремнеземом. Коэффициент агрегированности фракции < 1 м составляет 1,5—13, фракции < 5 м 1,2—2. По этим величинам озерные глины должны быть отнесены к породам с пластифицированным-коагуляционными структурами.

Таким образом, особенностью состава озерных глин является повышенное содержание в них аморфного кремнезема, обусловившего довольно

Таблица 1

Состав и физико-механические свойства озерных глин (IQ₁)

Глубина, м	Содержание, %			Влажность, %		Объемный вес скелета, г/см ³ (δ)	Пористость, % (n)	Кoeffиц. водонасыщ. (K _в)	Пластич. прочность, кг/см ² (P _m)
	Фр. < 5μ *, %	CaCO ₃ , %	SiO ₂ аморфн., %	естеств. (ω)	гигроскопич. (ω _г)				
Араратская котловина, опытная скважина в с. Харатлу									
21	—/51	0,8	2,7	68	5,6	0,95	65	0,99	8,7
22	34/31	0,5	2,9	61	4,6	1,01	63	0,99	Не опр.
24	—/27	0,3	3,1	68	5,5	0,94	66	0,97	6,9
25	52/48	0,5	4,1	64	5,1	0,97	64	0,96	Не опр.
27	42/42	0,4	2,2	70	5,7	0,94	66	0,99	5,9
28	45/46	0,5	3,8	72	4,5	0,92	66	1,00	4,3
29	44/38	0,5	2,7	78	4,4	0,88	68	1,00	3,1
Там же, скв. № 2 в с. Сабунчи									
87	57/51	Не опр.	3,2	46	5,0	1,21	54	0,99	10,9
96	56/46	» »	2,7	41	4,3	1,28	52	1,00	10,1
97	57/56	» »	Не опр.	48	4,2	1,17	57	0,99	Не опр.
98	58/42	8,0	6,7	62	4,0	0,99	63	0,98	6,9
99	69/55	Не опр.	4,5	61	4,2	1,02	62	1,00	9,1
100	57/50	» »	Не опр.	60	4,3	1,02	61	1,00	9,1
102	—/57	» »	3,2	62	5,5	1,03	61	1,00	6,5
104	75/58	» »	Не опр.	66	5,3	0,93	64	0,95	9,2
106	77/58	5,2	9,5	77	5,4	0,86	67	0,98	8,2
107	57/51	Не опр.	11,2	81	5,7	0,85	67	1,00	13,0
108	79/57	» »	12,8	84	5,6	0,82	67	1,00	13,4
112	76/51	3,9	8,7	79	5,2	0,87	67	1,00	12,5
Ленинаканская котловина, скв. № 35									
30	76/44	3,4	2,3	44	5,8	1,24	55	1,00	6,2
32	82/51	8,1	1,8	54	6,5	1,09	60	0,97	4,4
34	89/50	11,5	1,5	45	6,7	1,23	55	1,00	5,5
36	87/52	7,7	1,9	45	6,7	1,21	56	0,97	5,0
37	74/43	3,2	1,3	39	5,3	1,31	52	0,99	5,2
38	92/57	3,4	2,3	67	7,1	0,94	66	0,96	2,1
40	83/53	4,7	1,3	49	6,3	1,17	57	1,00	4,2
43	91/46	Сл.	3,1	67	6,9	0,94	65	0,97	3,8
47	89/48	Не опр.	6,7	79	6,3	0,84	68	0,98	8,9
49	85/46	» »	9,4	81	5,9	0,83	68	0,98	Не опр.
Там же, скв. № 36									
27	36/33	8,3	1,1	41	3,8	1,27	53	0,97	7,5
34	38/—	3,6	4,6	52	4,3	1,08	59	0,94	6,3
37	71/63	14,3	2,2	43	5,3	1,24	55	0,98	6,7
39	68/65	14,6	2,1	43	5,2	1,25	54	1,00	4,8
42	69/56	8,9	1,3	58	6,1	1,05	62	0,99	5,4
48	67/67	10,7	1,8	55	5,0	1,10	60	1,00	10,0
53	62/58	9,1	2,3	45	4,7	1,23	55	0,99	9,8
68	54/44	2,1	5,3	69	5,2	0,94	65	0,99	8,8
72	69/51	7,8	2,1	53	5,0	1,11	59	1,00	9,5
95	65/45	7,6	1,6	51	4,8	1,14	58	1,00	8,3
111	54/44	3,9	3,2	67	4,8	0,96	64	0,99	8,6

* Слева от черты — данные гранулометрического анализа, справа — микроагрегатного анализа.

высокую агрегацию глинистой фракции, и пылеватый состав их в естественном состоянии.

Характерный кремнистый состав нижнечетвертичных озерных глин определил их специфические физико-механические свойства: породы характеризуются слабой степенью уплотнения, высокой пористостью, высо-

кой водоудерживающей способностью и средней степенью литификации (табл. 1).

Как показали исследования, физико-механические свойства озерных глин контролируются прежде всего содержанием в них аморфного кремнезема: чем больше в породе содержится SiO_2 (аморфного), тем при прочих равных условиях (близкой дисперсности и гидрофильности) ниже ее плотность, выше пористость, водоудерживающая способность и прочность; можно сравнить, например, состав и свойства образцов, сходных между собой по гранулометрическому составу и гидрофильности, но различающихся содержанием аморфного кремнезема (скв. № 35, глубина 40 и 47 м, табл. 1).

Аморфный кремнезем играет решающую роль в создании естественных цементационных связей в породе, образуя коллоидные пленки на поверхности глинистых частиц, прочно склеивая их между собой и обеспечивая прочную цементацию их (¹⁹, ⁴⁴). Благодаря наличию кремневого цемента снижается уплотнение породы (³), сохраняется как бы «недоуплотненное» состояние ее с пониженной плотностью и высокой пористостью на значительных глубинах, что мы наблюдаем как в разрезах нижнечетвертичных глин Армении, так и в породах более древних — юрских глинистых алевролитах южного склона Воронежской синеклизы на глубинах порядка 300—500 м (⁷) и в северо-западной части Припятской впадины на глубинах 170—180 м. Высокое содержание аморфного кремнезема (10—20%) в юрских породах обеспечило сохранение в них высокой пористости (45—50%) и низкой плотности (объемный вес скелета 1,3—1,5 г/см³), повышенную влажность 34—40%, но высокую прочность (предел прочности достигает 54 кг/см²).

Диффузионная и осмотическая проницаемость озерных глин высокая: она приближается к таковой в изученных нами ранее каспийских илах (⁴) и послеледниковых глинах Карелии (⁸). Коэффициент диффузии Cl -иона 0,8 см² в сутки в опытах, где осмос проявлялся незначительно, и резко снижается до 0,2 см² в опытах с активным проявлением осмотического перемещения молекул воды, идущим в направлении, противоположном диффузионному потоку Cl -иона.

Повышенная диффузионная и осмотическая проницаемость озерных глин обусловлена их специфическим составом и физическим состоянием. Для исследуемых кремнистых слабоуплотненных и высокопористых глин, в связи с их пылеватым составом в естественном состоянии, характерна открытая, более грубая пористость и большая водоудерживающая способность. Невысокая гидрофильность при высокой водоудерживающей способности пород обеспечивает значительное содержание свободной воды в них ($w/w_r = 7-16$), а значит и лучшую проницаемость — как диффузионно-осмотическую под влиянием градиента концентрации солей, так и фильтрационную под влиянием силы тяжести.

Из изложенного видно, что основным фактором, обусловившим формирование физико-механических свойств исследуемых озерных глин Армении, является их химико-минеральный состав, и в частности высокое содержание в них аморфного кремнезема (до 13%).

По совокупности основных показателей, предложенных И. М. Горьковой (²), исследуемые озерные глины относятся к высокодисперсным породам со слабой степенью уплотнения, средней степенью литификации, что ставит их в промежуточный ряд между породами слабой степени уплотнения и литификации — послеледниковыми глинами Карелии (¹), илами Каспийского моря (⁶) — и породами со средней степенью уплотнения и литификации — четвертичными глинами района Аляты-моря и Нижней Волги (^{6, 5}). Иными словами, озерные глины Армении по плотности ($\delta = 0,8-1$ г/см³) и высокой влажности (до 84%) сходны с илами и послеледниковыми глинами, а по степени литификации (P_m до 13 кг/см²) — с четвертичными глинами района Аляты-моря в интервале глубин 19—247 м.

Таким образом, исследования показали, что высокое содержание аморфного кремнезема в глинистых породах обеспечивает им высокую прочность при слабой плотности, а значит слабую сжимаемость пород под действием геостатических нагрузок, с одной стороны, и высокую пористость и водоудерживающую способность — с другой. Такие породы при благоприятных геологических условиях могут стать хорошими ловушками для нефти и газа.

Производственный и научно-исследовательский
институт по инженерным изысканиям
в строительстве
Москва

Поступило
28 III 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ И. М. Горькова, Н. А. Душкина и др., В кн. Формирование инж.-геол. свойств глинистых пород в процессе литогенеза, Изд. АН СССР, 1963. ² И. М. Горькова, Структурные и деформационные особенности осадочных пород, «Наука», 1965. ³ Н. Я. Денисов, П. А. Ребиндер, ДАН, 54, № 6 (1946). ⁴ Н. П. Затевацкая, Тр. Геол. инст. АН СССР, в. 115 (1965). ⁵ Н. П. Затевацкая, И. А. Сафохина, Диффузионное выщелачивание глин и его влияние на инженерно-геологические свойства глинистых пород, «Наука», 1968. ⁶ И. Г. Коробанова, А. П. Ковалева и др., В кн. Инженерно-геологические свойства пород и вопросы литогенеза, «Наука», 1965. ⁷ И. Г. Коробанова, Формирование инженерно-геологических свойств терригенной формации (на примере мезозоя Русской платформы), «Наука», 1969. ⁸ Н. А. Окнина, В кн. Формирование инженерно-геологических свойств глинистых пород в процессе литогенеза, Изд. АН СССР, 1963. ⁹ В. А. Приклонский, Грунтоведение, ч. 1, М., 1955. ¹⁰ П. А. Ребиндер, Е. Е. Сегалова, Природа, № 12 (1952). ¹¹ П. А. Ребиндер, Тез. докл. тектонич. совещ. (Инст. физики Земли АН СССР), М., 1957. ¹² Н. М. Страхов, Основы теории литогенеза, 2, Изд. АН СССР, 1962.