

УДК 551.352:624.131.41(265.2)

В.А. Емельянов, С.Н. Довбыш

**НОВЫЕ ДАННЫЕ ОБ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ ДОННЫХ ОСАДКОВ
ГЛУБОКОВОДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ**

V.A. Emelyanov, S.N. Dovbysh

**SOME NEW INFORMATION ABOUT ENGINEERING-GEOLOGICAL PROPERTIES OF THE GROUND
PRECIPITATIONS BLACK SEA DEEP-WATER PART**

Наведені дані досліджень донних осадків глибоководної частини Чорного моря. Проаналізовані результати визначень фізико-механічних властивостей зразків різних речовинно-генетичних типів відкладів.

Ключові слова: донні осадки, фізико-механічні властивості, Чорне море.

In the papers the results of investigations of bottom sediments in the deep-water part of the Black Sea are presented. The results of determinations of physical-mechanical properties of standards of different materially-genetic types of deposits are analysed.

Key words: ground precipitations, physical-mechanical properties, Black sea.

ВВЕДЕНИЕ

Данные, положенные в основу настоящего сообщения, получены в результате работы экспедиции 30-го рейса НИС «Владимир Паршин» (01–10.07.2009). Среди задач, поставленных перед научным составом экспедиции, особое место занимало изучение инженерно-геологических свойств глубоководных осадков Черного моря в районах развития подводного грязевого вулканизма, активных газовыделений, а также на участках, перспективных для прокладки различных коммуникаций и разработки определенных видов полезного природного сырья в глубоководной зоне Черного моря. Таким образом, объектом исследования явилась подводная технолитосфера (геологическая среда). Под технолитосферой, согласно работе [2], понимается область развития донных осадков и горных пород, которые в перспективе могут оказаться под воздействием инженерных сооружений или инженерной деятельности.

МАТЕРИАЛЫ, МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Всего с инженерно-геологических позиций было изучено около 55 проб из колонок донных осадков, отобранных на 18 геологических станциях в глубоководной части Черного моря (см. рисунок). Для отбора колонок донных осадков использовались прямоточные тонкостенные грунтовые трубки диаметром 127 мм, с внутренним полиэтиленовым вкладышем и съёмным нижним запорным клапаном.

Определения инженерно-геологических свойств — естественной влажности, плотности, объемной массы, пористости, удельного сопротивления пенетрации, прочности на срез, а также их липкости в атмосферных условиях и под водой — осуществлялись с применением методов, изложенных в работе [1].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Необходимо отметить, что многие исследователи [3–5] указывают на неизбежность различных изменений в осадке при подъеме проб с больших глубин в приповерхностные термодинамические условия. При изъятии образца из естественной обстановки обжимающее давление снижается, состояние сжатия меняется от анизотропной системы в условиях *in situ* до изотропной системы лабораторного образца. Как правило, наблюдается нарушение структуры некоторых глубоководных типов осадков в результате газовыделения. Безусловно, все это сказывается на точности определения ряда свойств изучаемых осадков, однако пока нет возможности безошибочно установить степень лабораторной ошибки. Структура образцов изучаемых донных отложений считалась условно ненарушенной. Это было обусловлено тем, что они были практически полностью водонасыщены и поэтому даже объемная деформация образца, если она не приводила к физическому смешиванию осадка с морской водой или выходу поровой воды из объема осадка, предположительно не влияла в

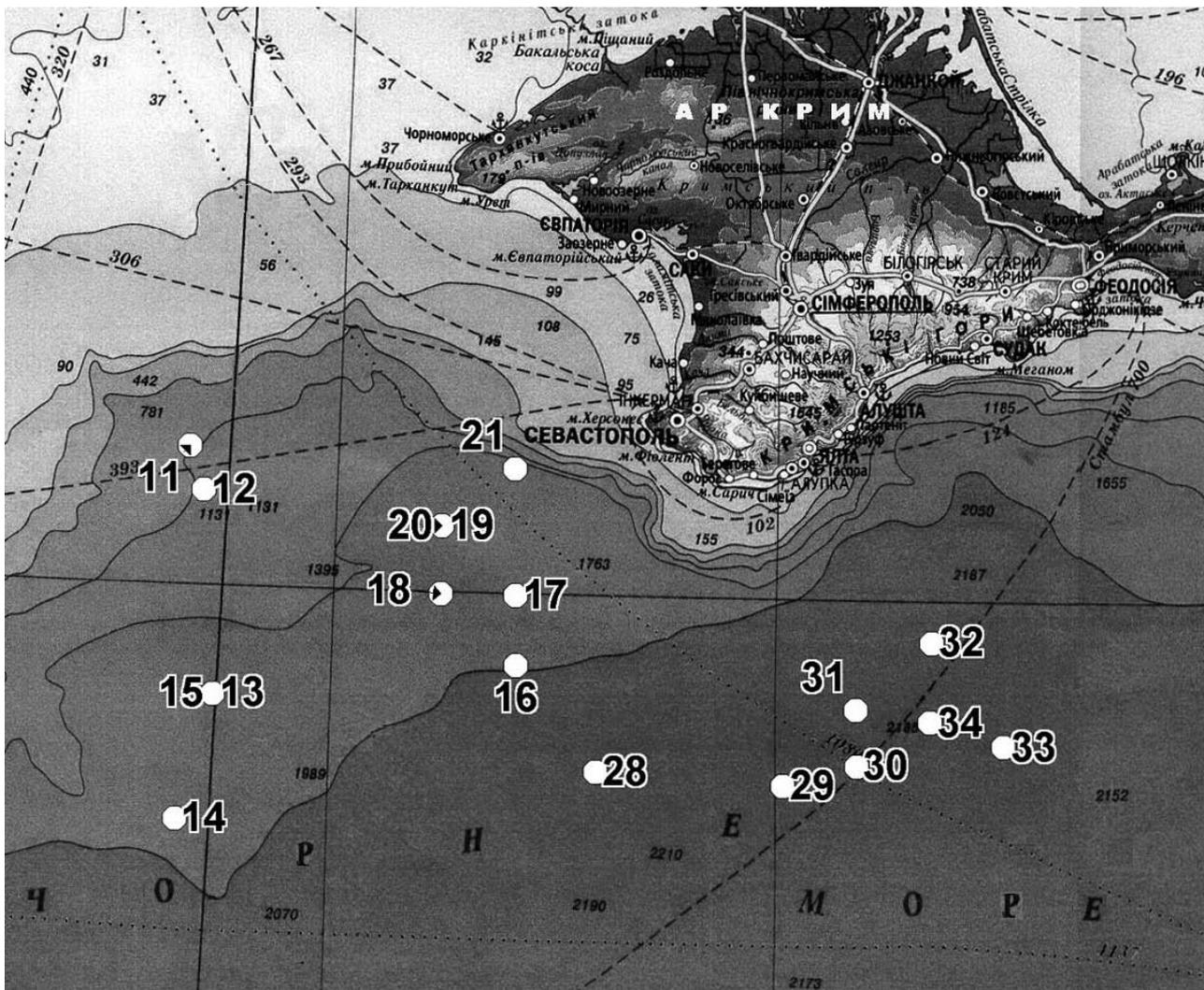


Схема расположения геологических станций НИС «Владимир Паршин» (01–10.07.2009)

пределах допустимых значений на характеристики грунта, которые нами определялись.

Изучение вещественного состава проб донных осадков, в частности содержания CaCO_3 и $\text{C}_{\text{орг}}$ как показателей их вещественно-генетической принадлежности, подтвердило, что исследуемые донные осадки в основном могут быть отнесены к терригенным, терригенно-биогенным, биогенно-терригенным и биогенным пелитовым вещественно-генетическим типам. Среди них наиболее распространены терригенные слабоизвестковые пелитовые (глинистые) илы, кокколитовые, сапропелевидные и сапропелевые илы, а также некоторые переходные разности. Результаты определений инженерно-геологических свойств этих донных осадков, а также содержания в них CaCO_3 и $\text{C}_{\text{орг}}$ представлены в таблице.

Анализ данных таблицы и материалов изучения физико-механических свойств более

300 образцов глубоководных осадков Черного моря, полученных в предыдущих экспедициях [1], позволил нам сделать некоторые обобщения, представленные ниже.

Плотность терригенных слабоизвестковых илов колеблется от 2,48 до 2,69 г/см³, составляя в среднем 2,62 г/см³. Объемная масса терригенных слабоизвестковых илов изменяется от 1,20 до 1,57 г/см³, среднее значение — 1,35 г/см³. Значения средней влажности илов (отобранных на глубоководной аккумулятивной равнине — 174%, на континентальном склоне — 177%) очень близки. Современные терригенные слабоизвестковые илы характеризуются средней влажностью 215%. Отложения ложа отличаются несколько повышенной средней влажностью (222%) от осадков континентального склона (210%). Пористость терригенных слабоизвестковых илов составляет в среднем 79%. Современные отложения характеризуются средней пористостью 83%.

Физико-механические свойства донных осадков глубоководной зоны Черного моря (30-й рейс НИС «Владимир Паршин, 2009 г.)

№ п/п	№ ст.	Интервал, м	Вещественно-генетические типы глубоководных осадков	Объемная масса, г/см ³	Влажность, %	Плотность, г/см ³	СаСО ₃ , %	С орг, %	Пористость, %	Пластичность, кПа	Прочность на срез, кПа	Липкость, кПа	
												в атмосфере	в воде
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	11	0,70	Ил терригенно-биогенный, сапропелевидный, зеленовато-серый, текучепластинчатый	1,22	276,4	2,35	23,6	3,6	79,1	1,5	1,2	1,7	1,3
2		0,90	Ил биогенный, сапропелевый, темно-бурый, упругопластинчатый	1,14	320,8	2,09	59,7	5,4	89,9	3,8	2,5	1,1	0,7
3		2,50	Ил терригенный, пелитовый, мягкопластинчатый, с прослоями гидротроилита, с признаками газовой делений	1,42	165,4	2,81	9,4	1,6	80,6	14,9	10,8	2,3	1,9
4	12	0,10	Ил биогенный сильноизвестковый, пелитовый, зеленовато-серый, тонкослоистый (кокколитовый), вязкотекучий	1,19	352,0	2,33	52,8	3,7	98,0	0,8	0,6	1,6	1,1
5		0,30	Ил биогенно-терригенный, пелитовый, сапропелевидный, бурый, текучепластинчатый.	1,26	254,2	2,41	17,4	3,2	96,8	1,0	0,7	1,5	1,2
6	13	0,20	Ил биогенный, сапропелевый, темно-бурый, упругопластинчатый	1,10	310,7	2,03	15,3	3,6	93,7	1,5	1,2	1,0	0,5
7		0,55	Ил терригенный, пелитовый, голубовато-серый, мягкопластинчатый	1,49	131,3	2,69	12,4	0,6	77,5	8,4	7,0	2,4	2,1
8	14	0,10	Ил биогенный, сильноизвестковый, пелитовый, зеленовато-серый, тонкослоистый (кокколитовый), вязкотекучий	1,18	326,4	2,33	54,6	3,5	91,2	0,9	0,7	1,0	0,7
9		0,45	Ил биогенный, сапропелевый, темно-бурый, слоистый, упруго-пластинчатый	1,08	381,8	1,87	36,9	5,6	92,9	1,8	1,5	1,2	0,8
10		0,60	Ил терригенный, пелитовый, мягкопластинчатый, зеленовато-серый	1,52	109,9	2,81	18,1	3,0	72,3	7,5	6,8	2,5	2,2
11	15	0,20	Ил биогенный, сильноизвестковый, пелитовый, зеленовато-серый, тонкослоистый (кокколитовый), текучепластинчатый	1,21	320,9	2,31	49,3	3,8	91,3	1,3	1,2	1,0	0,8
12		1,00	Ил терригенный, глинистый, мягкопластинчатый, голубовато-серый	1,28	223,1	2,49	42,2	3,0	92,2	8,6	7,7	2,3	2,0
13	16	0,25	Ил биогенный, сильноизвестковый, пелитовый, зеленовато-серый, тонкослоистый (кокколитовый), текучепластинчатый	1,20	317,5	2,34	58,1	3,4	97,2	1,4	1,1	1,2	1,0
14		0,45	Ил биогенно-терригенный, пелитовый, известковый, сапропелевидный, мягкопластинчатый	1,28	243,1	2,37	49,9	2,9	92,2	1,1	0,8	1,5	1,2
15	17	0,20	Ил биогенный, сильноизвестковый, пелитовый, зеленовато-серый, тонкослоистый (кокколитовый), вязкотекучий	1,15	335,3	2,30	56,0	3,4	95,5	1,3	1,0	1,0	0,7
16		0,55	Ил биогенно-терригенный, известковый, пелитовый, зеленовато-серый, мягкопластинчатый (брекчированный)	1,29	237,6	2,45	34,6	4,0	84,2	1,9	1,4	1,5	1,0

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
17	18	0,30	Ил биогенный, известковый, пелитовый, зеленовато-серый, тонкослоистый сапропелево-кокколитовый, текучепластичный	1,24	325,3	2,37	56,2	3,4	90,5	1,4	1,1	1,5
18		0,85	Ил биогенный, пелитовый, бурый, сапропелевый	1,18	298,6	2,14	57,7	3,0	97,5	2,6	2,2	1,2
19	19	1,60	Ил терригенный, пелитовый, темно-серый, мягкопластичный	1,28	243,1	2,67	4,9	2,9	92,2	8,9	7,3	2,4
20		0,30	Ил биогенно-терригенный, глинистый, с отдельными прослойками кокколитового, зеленовато-серый, текучепластичный	1,23	259,8	2,37	45,7	3,3	94,7	1,4	1,1	1,8
21	20	0,70	Ил терригенно-биогенный, известковый, пелитовый, зеленовато-серый, тонкослоистый (сапропелевидный), текучепластичный	1,22	276,4	2,36	50,6	3,5	92,2	1,2	1,0	1,4
22		0,30	Ил биогенный, сильноизвестковый, пелитовый, зеленовато-серый, тонкослоистый (кокколитовый), текучепластичный	1,23	271,6	2,32	61,3	3,9	96,1	1,3	1,0	1,5
23	21	1,00	Ил биогенный, сапропелевый, темно-бурый, слоистый, упруго-пластичный	1,10	380,5	1,91	66,9	4,9	96,5	1,5	1,7	1,0
24		0,30	Ил биогенный, сильноизвестковый, пелитовый, зеленовато-серый, тонкослоистый (кокколитовый), текучепластичный	1,23	273,2	2,30	63,2	4,0	94,8	1,3	1,1	1,8
25	28	1,00	Ил терригенный, глинистый, серый, мягкопластичный	1,41	139,6	2,71	8,7	1,35	77,3	7,1	6,4	2,5
26		1,50	Ил терригенно-биогенный, известковый, сапропелевидный, темно-серый с зеленоватым оттенком, загзованный, текучепластичный	1,21	280,2	2,47	52,1	4,31	85,7	3,5	2,4	2,3
27	29	2,00	Ил терригенный, пелитовый, слабоизвестковый, с включениями гидротроилита, серый, мягкопластичный, загзованный	1,49	169,0	2,78	23,8	1,64	79,6	25,0	36,5	2,6
28		0,20	Ил биогенный, сильноизвестковый, пелитовый, зеленовато-серый, тонкослоистый (кокколитовый), текучепластичный	1,26	254,2	2,43	47,4	3,2	93,8	1,1	1,0	1,4
29	30	1,65	Ил биогенный, сапропелевый, темно-бурый, слоистый, упруго-пластичный	1,16	309,7	2,12	58,2	4,2	89,6	4,7	3,8	1,1
30		2,50	Ил терригенный, глинистый, с прослойками гидротроилита, серый, мягкопластичный	1,45	148,8	2,81	25,1	1,3	78,1	14,2	12,3	2,4
31	30	0,35	Ил биогенный, сильноизвестковый, пелитовый, зеленовато-серый, тонкослоистый (кокколитовый), текучепластичный	1,22	276,4	2,31	49,6	3,6	97,2	1,3	1,1	1,8
32		0,95	Ил биогенный, пелитовый, сапропелевый, упруго-пластичный	1,21	278,5	2,13	50,6	3,6	95,2	2,7	2,2	1,2
33	30	1,50	Ил терригенный, глинистый, серый, мягкопластичный	1,45	148,8	2,81	20,1	1,3	78,1	9,4	8,9	2,4
34		0,25	Ил биогенный, сильноизвестковый, пелитовый, зеленовато-серый, тонкослоистый (кокколитовый), текучепластичный	1,24	265,3	2,31	50,0	3,4	95,5	1,0	0,7	1,2

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
35	30	0,90	Ил биогенный, пелитовый, глинисто-сапропелевый, мягкопластинчатый	1,22	276,4	2,14	36,3	3,6	96,2	3,7	5,3	0,9	0,5
36		1,90	Ил терригенный, глинистый, серый, гидротроилитовый, мягкопластинчатый	1,47	171,0	2,76	23,8	1,7	80,2	10,7	9,8	2,3	2,1
37	31	0,40	Переслаивание биогенно-терригенного пелитового, зеленовато-серого, кокколитового, микрослоистого, текучепластинчатого ила и терригенного пелитового, однородного, светло-серого, текучепластинчатого	1,45	148,8	2,81	21,6	1,3	78,1	4,5	3,8	24	22
38		1,20	Переслаивание ила терригенного, пелитового и биогенного, сапропелевого, бурого, упругопластинчатого	1,39	182,1	2,32	25,8	1,9	83,1	5,7	4,4	2,3	1,9
39	32	0,20	Ил биогенный, сильноизвестковый, пелитовый, зеленовато-серый, тонкослоистый (кокколитовый), текучепластинчатый	1,23	270,	2,32	55,7	4,1	97,0	0,9	0,6	0,7	0,5
40		0,90	Ил терригенный, глинистый, серый с оливковым оттенком, слабоизвестковый, пластичный, с прослойками биогенного сапропелево-кокколитового ила	1,48	152,1	2,76	15,8	1,8	83,7	6,7	6,2	2,4	2,1
41		1,40	Ил терригенный, глинистый, серый с оливковым оттенком, мягкопластинчатый	1,55	137,5	2,89	19,3	1,5	74,8	8,7	8,1	2,3	1,9
42	33	0,10	Ил биогенный, сильноизвестковый, пелитовый, зеленовато-серый, тонкослоистый (кокколитовый), вязкотекучий	1,20	289,9	2,31	50,3	3,2	96,3	1,0	0,9	0,6	0,4
43		1,00	Ил терригенный, глинистый, серый, мягкопластинчатый	1,39	132,1	2,93	19,2	1,0	75,6	4,9	4,3	2,3	2,0
44		1,50	Ил терригенный, глинистый, темно-серый, землистый, мягкопластинчатый	1,54	94,5	2,98	16,7	0,3	69,8	9,4	9,0	2,4	2,3
45	34	0,20	Ил биогенный, сильноизвестковый, пелитовый, зеленовато-серый, тонкослоистый (кокколитовый), текучепластинчатый	1,23	270,9	2,31	51,3	3,5	94,3	1,4	1,0	1,3	1,1
46		0,90	Ил терригенный, глинистый, голубовато-серый, мягкопластинчатый	1,48	132,1	2,92	19,2	1,0	75,6	5,9	5,4	2,3	1,9
47		1,40	Ил вулканогенный, глинистый темно-серый, землистый, мягкопластинчатый	1,55	93,3	2,99	17,2	0,3	69,8	8,9	8,7	2,0	1,7

В толще древнечерноморско-новоэвксинских отложений пористость терригенных слабоизвестковых илов понижается в среднем до 73%. Пластическая прочность терригенных слабоизвестковых илов в среднем составляет приблизительно 5,9 кПа, современных осадков — 2,4 кПа. Средняя липкость терригенных слабоизвестковых илов на воздухе — 2,3 кПа, а в воде — 2,0 кПа.

Плотность биогенно-терригенных известковых илов изменяется от 2,36 до 2,73 г/см³ и в среднем равна 2,50 г/см³. Значения средней плотности для данного типа донных осадков из различных геоморфологических регионов отличаются очень незначительно. Средняя плотность современных биогенно-терригенных илов равна 2,45 г/см³. Средняя объемная масса биогенно-терригенных илов достигает 1,29, уменьшаясь у современных до 1,19 г/см³, и увеличиваясь у более древних (1,46 г/см³). Влажность биогенно-терригенных илов изменяется в широких пределах — от 84 до 340%, составляя в среднем — 253%. Известковые илы континентального склона характеризуются пониженной средней влажностью (233%) по сравнению с подобным типом осадков ложа (273%). В слое современных биогенно-терригенных осадков средняя влажность около 299%, а в слое осадков этого типа, но древнечерноморско-новоэвксинского возраста, величина этой характеристики гораздо ниже — 143%. Пористость биогенно-терригенных известковых осадков изменяется от 73 до 91%, составляя в среднем 84%. При этом пористость современных известковых глубоководных осадков этого типа колеблется от 84 до 91%. Средняя пористость описываемого типа осадков континентального склона — 82%, а ложа — 86%. Пластическая прочность биогенно-терригенных илов колеблется от 1,3 до 18,2 кПа, составляя в среднем 5,0 кПа. Средняя пластическая прочность таких современных осадков составляет приблизительно 1,7 кПа, более древних — 11,6 кПа. Липкость этого типа осадков в атмосфере изменяется от 1,5 до 2,7 кПа, в воде — от 1,0 до 2,0 кПа, составляя в среднем соответственно 2,0 и 1,6 кПа.

Биогенные сильноизвестковые илы сформировались в основном в слое современных отложений центральной части глубоководной аккумулятивной равнины. Их средняя плотность равна 2,39 г/см³, пределы изменения — от 2,33 до 2,47 г/см³. Средняя объемная

масса сильноизвестковых илов — 1,14 г/см³. Соответственно велика и пористость биогенных осадков, которая в среднем составляет 88%. Пластическая прочность современных осадков данного типа не превышала 1,5 кПа. Липкость составляет в среднем 2,0 кПа по определениям в атмосфере и 1,5 кПа — в воде.

Терригенные пелитовые и алеврито-пелитовые илы характеризуются плотностью, величина которой изменяется от 2,63 до 2,82 г/см³ и в среднем составляет 2,68 г/см³. Объемная масса терригенных илов изменяется в довольно широких пределах — от 1,42 до 1,91 г/см³, средняя — 1,53 г/см³. Их влажность колеблется от 30 до 140%, составляя в среднем 115%. Пористость терригенных осадков не превышает 85%, но преобладают значения 70–73%. Их пластическая прочность изменяется от 1,4 до 100,0 кПа, составляя в среднем 20,2 кПа, при том, что липкость, которая в воде колеблется от 1,9 до 2,7 кПа (средняя 2,2 кПа), в атмосфере возрастает до 2,5 кПа.

Биогенные пелитовые илы (маркирующий горизонт древнечерноморских отложений) характеризуются значениями физико-механических свойств, которые обусловлены уникальностью их состава (повышенное содержание органического вещества) и структурных особенностей (микрослоистость). Их плотность, по сравнению с плотностью других типов изученных осадков ниже и составляет 1,91–2,14 г/см³ (средняя 2,04 г/см³). Для этих отложений характерна и более низкая объемная масса, которая изменяется от 1,12 до 1,25 г/см³ (средняя 1,20 г/см³). Влажность описываемого типа осадков изменяется от 243 до 387% и более, составляя (по нашим данным) в среднем 296%. Пористость биогенных образований также повышена и достигает 94%, при среднем значении 86%. Имея малую объемную массу, большую влажность и пористость, биогенные илы обладают относительно высокой пластической прочностью, средняя величина которой составляет 4,7 кПа при колебаниях от 1,5 до 10,5 кПа. Липкость биогенных илов, как правило, не превышала 1,5 кПа в атмосфере и 1,0 кПа в воде.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что значения влажности, сцепления или сопротивления срезу, пластической прочности и липкости не постоянны для каждого данного типа осадка. Они варьируют с изменением условий

опыта, и каждый раз при этом нуждаются в экспериментальном определении. Измерения липкости осадков, выполненные в морской воде, показали во всех случаях уменьшение значений на 0,1–0,8 кПа. Причем наименьшая липкость характерна для осадков, у которых влажность близка (или больше) влажности максимального прилипания.

Полученные данные могут быть положены в основу проведения инженерно-геологического картирования глубоководной зоны Черного моря. Кроме того, они будут использованы при анализе и оценке инженерно-геологических условий, перспективных для хозяйственного освоения сегментов техносферы глубоководной области Черного моря. Это важно, в частности, для районов, планируемых для размещения различных средств коммуникаций, разработки определенных видов полезного природного сырья, при проектировании технических средств его разведки и добычи, в том числе и на участках развития подводного грязе-

вого вулканизма и активных газовыделений.

1. *Емельянов В.А.* Физико-механические свойства глубоководных осадков Черного моря. — Киев, 1977. — 46 с. (Препр. Ин-та геол. наук АН УССР; 77-1).
2. *Неизвестнов Я.В.* Общая инженерно-геологическая классификация донных грунтов океана // Методы изучения физико-механических свойств донных отложений Мирового океана. — Л.: ПГО «Севморгеология», 1989. — С. 47–58.
3. *Поляков А.С.* Формирование инженерно-геологических свойств донных отложений Черного и Каспийского морей: Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. — М., 1973. — 25 с.
4. *Fukuoka M., Nacase A.* Problems of soil mechanics of the ocean floor // Special lecture on 8th Intern. Conf. on soil Mechan. and Found. Engineering. — Moscow, USSR, 1973. — P. 1–25.
5. *Inderbitzen A.L.* A study of the effects of various core samples on mass physical properties in marine sediments. // J. Sediment. Petrol. — 1968. — Vol.38, N 2. — P. 473–489.

Институт геологических наук НАН Украины, Киев
E-mail: eva@nas.gov.ua; doserg@mail.ru