Записки Ленинградского ордена Ленина
и ордена Трудового Красного Знамени горного института,
том XXXII, вып. 2, 1955 г.

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПОДГОТОВКИ ПОРОДЫ К АНАЛИЗУ НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА, УДЕЛЬНОГО ВЕСА И ПРЕДЕЛОВ ПЛАСТИЧНОСТИ

Доц. В. Н. Новожилов, научн. сотр. И. Н. Шульц

Наличие солей в породе часто создает трудности методического порядка при изучении гранулометрического состава и физико-механических свойств пород. Методика анализа засоленных пород разработана еще слабо.

В настоящей работе рассматриваются некоторые методические вопросы по подготовке породы к гранулометрическому анализу, определению пластичности и удельного веса, которые решаются применительно к карбонатно-глинистым породам татарского яруса пермской системы.

Методике и технике определения физико-механических свойств засоленных разностей песчаных и глинистых грунтов посвящено значительное число работ, в основном направленных на изучение подготовки грунта к анализу — основному фактору, влияющему на результаты анализа.

Вопрос о подготовке к анализу пород незасоленных разрешается сравнительно легко и не вызывает больших разногласий, вопрос же о подготовке пород засоленных оказывается весьма сложным. Большинство авторов наиболее фундаментальных работ [32, 28, 1, 52] приходят к выводу, что при подготовке карбонатных пород к анализу необходимо применять обработку породы соляной кислотой для разрушения карбонатов с последующим введением одного из стабилизаторов суспензий (NH_4OH, NaOH, LiOH и др.).

Некоторые авторы [17, 16, 35] рекомендуют насыщать породу ионом Na путем длительного промывания навески грунта однонормальным раствором хлористого натрия до полного вытеснения кальция.

Опытами доказано, что рекомендованный прежде метод диспергации грунта аммиаком [26, 52] применим только для пород незасоленных и что аммиак значительно слабее диспергирует грунт, чем Na и Li [2, 30].

Известно, что характер обменных оснований влияет на физико-химические свойства грунта. Свертывающую силу катионов акад. К. К. Гедройц установил в следующем порядке: Ba, Ca, Mg, K, NH_4, Na, Li. При этом он показал, что стабилизатором, повышающим устойчивость отрицательно заряженных коллоидов, является гидроксильный ион OH[17].

Стабилизирующее действие иона OH слабее осаждающего действия иона Ca и сильнее осаждающего действия иона Na. Ион Ca вызывает

коагуляцию суспензии, а ион Na увеличивает степень дисперсности. Коагулирующее действие иона H превышает действие даже двухвалентных катионов, поэтому реакции суспензии надо уделять особое внимание, доводя ее до pH 8,2—8,5, что соответствует слабощелочному состоянию среды [1].

Р. Х. Айдинян считает возможным выделение тонкодисперсной части породы после тщательного растирания грунтовой навески в тестообразное состояние в течение 10—15 мин. без введения химических стабилизаторов. Растирание, по его мнению, способствует проникновению воды по микротрещинам и разъединяет агрегаты на первичные элементарные частички [5].

Последующие исследования показали, что для диспергации глин, содержащих Ca, одного растирания недостаточно [49]. Для разрушения грунтовых агрегатов карбонатных пород и наибольшего их диспергирования необходимо применять химические методы подготовки грунта к анализу. Чтобы не дать ложного представления о характере породы, химические реактивы следует вводить как можно более разбавленными, так как наличие посторонних ионов в суспензии может вызвать растворение нерастворимых в воде веществ и изменить состав грунта.

В последние годы в поисках более рациональных методов диспергации в грунты вводили щавелево-кислый натрий, жидкое стекло и пр. Одним из более сильных стабилизаторов оказался пирофосфат натрия [49, 55].

Таким образом, данные гранулометрического анализа в первую очередь зависят от характера подготовки грунта к анализу и состояния среды, в которой происходит осаждение механических частиц (реакция среды, состав и концентрация электролитов и т. д.). При выборе метода подготовки породы следует исходить из конкретных задач исследования и особенностей анализируемого грунта.

Чтобы придать грунту необходимую степень дисперсности, применяются в зависимости от целей исследования следующие способы подготовки грунта к анализу:

1) дисперсный способ, дающий возможность выделить первичные элементарные частицы. Грунт приводится в состояние максимального раздробления разрушением как неустойчивых, так и устойчивых агрегатов путем механической и химической обработки;

2) микроагрегатный (полудисперсный) способ, при котором грунт приводится в состояние, близкое к его естественному природному состоянию. При этом способе разрушаются только водоустойчивые агрегаты. Химическая обработка не применяется, но используются стабилизаторы суспензии (NH_4OH, NaOH). При наличии солей грунт промывается водой;

3) агрегатный способ, при котором подготовка грунта сводится только к разрушению естественных комков в воде. [1]

1. Результаты экспериментальных работ по определению гранулометрического состава карбонатно-глинистых пород при различных способах подготовки их к анализу

Экспериментальные работы были направлены главным образом на выбор наиболее эффективного метода подготовки грунта к гранулометрическому анализу. Все исследования велись применительно к карбонатно-глинистым породам татарского яруса пермской системы.

---

[1] Более подробное описание этих способов подготовки грунтов к анализу приведено А. М. Васильевым и В. Д. Ломтадзе [11, 31].

Таблица 1

Лабораторный номер	Влажность при 105°, %	Содержание в пересчете на высушенный при 105° материал из 2,5-процентной солянокислой вытяжки, %							Солевой состав в пересчете на высушенный при 105° материал, %			Доломитизация, %
		SO_3	CO_2	CaO	MgO	SiO_2	K_2O_3	нерастворимый остаток	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	$CaCO_3$	$MgCO_3$	
Глины												
941	2,71	0,14	6,96	5,36	3,50	0,68	0,65	82,06	0,30	9,39	5,42	36,59
942	2,50	0,16	9,26	6,97	4,76	0,63	0,72	76,97	0,34	12,24	7,43	37,77
954	1,68	0,45	5,29	5,10	3,54	0,61	1,25	80,37	0,95	8,54	2,95	25,67
959	4,01	3,36	5,33	6,71	4,55	1,17	1,54	76,41	7,22	7,78	3,66	32,00
960	4,09	3,95	3,30	6,0	4,09	0,75	2,60	77,48	8,45	5,78	3,37	36,83
963	3,28	2,82	5,37	6,12	4,95	0,96	1,35	77,60	6,06	7,41	4,04	35,28
966	3,56	6,84	1,65	6,52	1,24	1,24	0,51	80,23	14,64	3,10	0,55	15,06
974	2,75	0,12	9,60	6,71	4,65	0,50	1,28	76,35	0,25	11,91	9,00	43,04
990	3,15	0,19	6,01	6,05	2,10	1,11	1,70	82,45	0,40	10,63	2,49	18,98
1000	2,54	0,15	6,13	4,84	3,94	0,96	1,49	82,42	0,31	8,46	4,61	35,05
1002	2,92	0,17	4,74	4,73	4,38	1,20	2,36	82,34	0,37	8,23	2,14	20,60
1007	3,95	0,34	6,04	5,67	3,20	1,00	1,31	82,29	0,74	9,70	3,41	26,00
1008	1,78	0,38	2,98	2,72	2,10	0,80	1,49	79,36	0,83	4,38	2,03	31,70
Мергели глинистые												
730	3,56	6,05	9,74	6,81	3,78	0,63	8,80	66,72	0,11	12,60	7,56	37,50
733	3,64	0,08	7,16	6,95	4,23	0,49	7,84	71,85	0,17	12,31	3,44	21,84
736	4,02	1,26	8,91	7,65	7,37	0,64	9,54	61,86	2,70	12,08	6,90	36,35
943	1,95	0,25	12,87	9,85	5,52	1,05	1,65	67,27	0,53	17,27	9,79	36,19
754	3,95	0,12	5,08	4,37	5,94	1,11	7,56	73,30	0,25	7,64	3,31	30,02
775	6,42	6,12	2,42	6,64	6,12	0,77	7,16	69,20	13,16	4,19	1,11	21,00
915	2,32	0,17	15,91	11,00	6,86	0,61	0,91	63,87	0,36	19,41	14,14	42,14
931	2,37	0,20	10,98	9,98	4,12	0,67	0,93	72,12	0,43	17,56	6,25	26,25
932	2,40	0,15	11,28	12,31	2,48	0,65	0,83	71,65	1,32	21,77	3,28	13,09
957	6,37	9,56	2,32	8,97	3,59	1,14	1,68	71,79	20,55	4,07	1,02	20,04
972	2,30	0,14	21,32	14,30	10,23	0,49	1,23	52,07	0,30	25,34	19,51	43,50
981	2,56	0,47	15,34	10,98	7,10	0,36	1,48	63,14	1,01	19,00	13,39	41,33
987	2,31	0,15	10,51	9,90	2,60	0,75	1,16	74,60	0,31	17,49	5,40	23,59
Мергели												
840	2,03	0,10	25,10	18,50	10,12	0,47	0,72	44,04	0,22	32,90	20,30	38,20
920	1,53	0,25	29,00	19,55	12,38	0,31	0,75	37,31	0,53	34,58	25,90	42,82
926	1,33	0,25	23,75	16,45	10,08	0,39	1,65	46,60	0,53	29,01	21,00	41,99
928	1,98	0,44	24,55	17,23	10,53	0,48	1,51	43,87	0,93	30,19	21,61	41,71
938	1,78	0,31	24,96	18,95	9,59	0,48	1,22	43,13	0,65	33,44	19,66	37,13
950	10,73	20,61	5,75	20,28	3,78	0,54	1,40	35,03	44,13	10,45	2,22	17,52
984	1,45	0,09	25,41	17,30	10,96	0,61	0,95	44,14	0,19	30,76	22,78	42,54
998	1,76	0,24	26,11	22,95	7,59	0,88	1,28	40,96	0,49	40,85	15,80	27,80

Элементарные частицы этих пород сцементированы карбонатами кальция и магния в микроагрегаты. Степень их агрегатности высока, и микроагрегаты очень устойчивы. Карбонатность отдельных образцов достигает 50%. Некоторые образцы сильно загипсованы. Содержание в них гипса изменяется от долей до нескольких десятков процентов. Содержание нерастворимого остатка колеблется от 20 до 80%.

Основные литологические разности пород — глины, мергели глинистые и мергели (табл. 1). Каждый литологический тип анализировался при различных способах подготовки грунта к анализу. Гранулометрический анализ проводился общепринятым методом пипетки с расчетом скорости падения частиц по формуле Стокса.

В процессе лабораторных исследований применялись три группы способов подготовки грунта к анализу: 1) без предварительного отмывания солей; 2) с предварительным отмыванием солей водой; 3) с предварительной обработкой соляной кислотой.

Во всех случаях для анализа бралось 10 *г* породы, кипячение которой проводилось с водой (200 *мл*) в течение часа.

В каждую группу входили следующие способы подготовки породы к анализу.

Первая группа способов

1. Агрегатный способ, при котором порода не подвергалась ни механической, ни химической обработкам, а состояла только в размачивании естественных комков в воде.

2. Микроагрегатный способ без применения химических стабилизаторов суспензии отличался от агрегатного способа кипячением породы в воде.

3. Микроагрегатный способ с применением в качестве стабилизатора суспензии 4 *мл* 10-процентного NH_4OH, вводимого перед кипячением.

4. Микроагрегатный способ с применением в качестве стабилизатора 4 *мл* однонормального NaOH.

5. Дисперсный способ с применением в качестве стабилизатора суспензии пирофосфата натрия ($Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$).

Пирофосфат вводился в следующих соотношениях: а) навеска породы при естественной влажности растиралась с 4 *мл* 0,05-процентного раствора $Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$ и небольшим количеством воды в густую пасту; б) навеска породы (10 *г*) растиралась с 10 *мл* насыщенного раствора $Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$.

При расчете из веса высушенной фракции вычитался вес обезвоженного пирофосфата натрия, содержащегося в объеме пипетки.

Вторая группа способов

6. Микроагрегатный способ с отмыванием породы от легкорастворимых солей водой методом декантации без применения химических стабилизаторов суспензии. Навеска породы размачивалась в воде в течение суток, растиралась с небольшим объемом воды и кипятилась в течение часа с 200 *мл* воды. Остывшая суспензия переносилась в литровый цилиндр через сито с диаметром отверстий 0,25 *мм*. Объем суспензии доводился до 1 *л*. Прозрачная часть суспензии над осевшим грунтом осторожно сливалась сифоном, и ее объем вновь доводился до 1 *л*. Операция повторялась до тех пор, пока глинистые частицы не переставали оседать.

7. Микроагрегатный способ с отмыванием породы от легкорастворимых солей методом декантации с применением в качестве стабилиза-

тора суспензии NH_4OH. Подготовка грунта проводилась так же, как при способе, описанном выше, но с целью стабилизации суспензии перед кипячением породы прибавлялось 4 *мл* 10-процентного NH_4OH.

8. Микроагрегатный способ с отмыванием солей водой методом диализа без применения химических стабилизаторов. Навеска породы помещалась в двухслойный пакет из восковой бумаги. Пакет опускался в стакан с дистиллированной водой. Смена воды в стакане проводилась 1—2 раза в день. Отмывание солей продолжалось до полного отсутствия в фильтрате следов SO_4 (проба $BaCl_2$ с двумя-тремя каплями 10-процентной HCl). Порода отмывалась водой от легкорастворимых солей и гипса, затем в течение часа кипятилась без введения химических стабилизаторов.

9. Микроагрегатный способ с отмыванием солей методом диализа с применением в качестве стабилизатора суспензии 4 *мл* 10-процентного NH_4OH, вводимого перед кипячением.

10. Микроагрегатный способ с отмыванием солей методом диализа с применением в качестве стабилизатора суспензии 4 *мл* однонормального NaOH, вводимого перед кипячением.

Третья группа способов

11. Дисперсный способ с обработкой грунта слабым раствором соляной кислоты, с применением в качестве стабилизатора суспензии NaOH.

Дисперсный способ включает растворение карбонатных солей соляной кислотой, отмывание хлора водой и введение электролита (NaOH) с целью стабилизации суспензии.

Навеска породы обрабатывалась в стакане небольшим объемом однонормального раствора HCl до прекращения вскипания. Декантацией порода переносилась на фильтр и обрабатывалась децинормальным раствором HCl и в конце промывания пятисантинормальным раствором HCl до отсутствия в фильтре Ca. От соляной кислоты грунт отмывался водой до отсутствия реакции на хлор.

Потеря веса породы при обработке определялась на параллельно обрабатываемой навеске. Кипячение породы проводилось в присутствии 4 *мл* однонормального NaOH.

Сравнительная оценка способов подготовки грунта к анализу

Анализируя данные гранулометрических анализов (табл. 2, 3 и 4), можно сделать следующее заключение.

1. Определить агрегатный состав, позволяющий судить о степени дисперсности породы в естественных условиях ее залегания, оказалось невозможным. Суспензия мергеля при агрегатном способе подготовки коагулировала настолько быстро, что в течение часа все глинистые части полностью оседали и пробу взять не удавалось.

Агрегатный анализ глинистого мергеля показал содержание глинистых частиц в пределах 3%, что совершенно не увязывается с результатами солянокислых вытяжек.

2. Микроагрегатный способ без отмывания солей и без введения химических стабилизаторов дал те же результаты, что и способ агрегатный. Определить микроагрегатный состав не удалось, так как при анализе мергеля до времени взятия пробы произошла полная коагуляция суспензии и при анализе глинистого мергеля было выделено всего 5% глинистых частиц.

3. С введением в качестве стабилизатора NH_4OH при той же подготовке глинистого мергеля коагуляция проходила менее интенсивно, но устранить ее не удалось.

Выход глинистой фракции мергеля глинистого составил всего 6—7%.

Таблица 2

Порода	Лабораторный номер	Способ подготовки	Содержание фракций, %				
			0,25—0,05	0,05—0,01	0,01—0,002	0,002—0,001	0,001
Мергель	840	1	4	72	24	Коагулирует	
	840	2	3	69	28	"	
	840	3	3	66	31	"	
	840	4	—	47	35	7	11
	840	5а	—	4	37	8	13
	840	8	1	70	29	Коагулирует	
	840	10	—	46	36	9	9
	840	11	—	35	25	10	26
Мергель глинистый	754	1	19	55	23	1	2
	754	2	21	56	18	1	4
	754	3	30	52	12	4	2
	754	4	22	43	24	5	6
	754	5а	13	51	31	2	3
	754	8	27	50	18	4	1
	754	10	19	48	20	5	8
	754	11	5	51	25	4	15
	115	2	22	55	20	2	1
	115	3	22	50	21	5	2
	115	4	33	40	19	5	3
	115	6	39	44	13	2	2
	115	7	33	44	16	4	3
	115	9	32	44	16	5	3
	115	10	21	40	23	8	8
	115	11	9	44	19	6	20

Таблица 3

Порода	Лабораторный номер	Способ подготовки	Содержание фракций, %				
			0,25—0,05	0,05—0,01	0,01—0,002	0,002—0,001	0,001
Мергель глинистый	728	10	14	38	36	9	3
	728	11	16	23	32	15	14
	730	10	27	39	25	7	2
	730	11	11	31	28	10	20
	736	10	2	32	47	9	10
	736	11	—	41	28	5	26
	775	10	5	45	43	3	4
	775	11	19	33	30	4	14
	733	10	31	43	17	4	5
	733	11	15	33	26	5	21

При анализе мергеля глинистого фракцию взять не удалось, так как до ее взятия суспензия коагулировала.

4. Введение NaOH при том же способе подготовки породы способствовало большей стабилизации суспензии, чем введение NH_4OH. Выход

Таблица 4

Порода	Лабораторный номер	Способ подготовки	Содержание фракций, %				
			0,25—0,05	0,05—0,01	0,01—0,002	0,002—0,001	0,001
Глина	941	10	—	—	—	—	—
	941	11	38	37	15	4	6
	941	5б	10	28	32	7	23
	942	10	10	49	26	4	11
	942	11	25	39	13	9	14
	942	5б	15	30	26	8	21
Мергель глинистый	943	10	24	43	20	7	6
	943	11	36	41	12	2	9
	943	5б	36	33	24	5	12
Глина	946	10	13	38	27	13	9
	946	11	44	32	5	2	17
	946	5б	4	26	28	10	38
	959	10	—	49	31	5	15
	959	11	1	43	32	21	3
	959	5б	2	33	30	23	12

глинистых частиц при анализе мергелей глинистых 8—12% и мергелей — 18%.

Введение избытка NaOH приводило к обратной коагуляции. Мелкодисперсная часть суспензии свертывалась в мягкие, скользкие комки и оседала на дно и стенки колбы.

5. Небольшие дозы пирофосфата натрия ($Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$) стабилизируют суспензию слабее, чем большие.

При добавлении в мергель глинистый 4 *мл* 0,05-процентного раствора $Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$ выход глинистых фракций при гранулометрическом анализе составил 5%, а при добавлении 10 *мл* насыщенного раствора $Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$ возрос до 17%.

При обработке глины 0,05-процентным раствором $Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$ анализ показал 21% глинистых фракций, а при введении 10 *мл* насыщенного раствора — 29—43%. Такая дозировка $Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$, видимо, не только способствует стабилизации суспензии, но и частично разрушает водоустойчивые агрегаты, благодаря вытеснению из обменного комплекса двухвалентных катионов одновалентными катионами натрия. Поэтому данный метод не может быть применен как метод микроагрегатный, имеющий в виду сохранение водоустойчивых агрегатов.

6. Отмывание солей из глинистого мергеля водой методом декантации без применения химических стабилизаторов не обеспечило стабилизации суспензии. Следовательно, этот способ обработки грунта для карбонатно-глинистых пород не применим.

7. Тот же способ, но с применением в качестве стабилизатора аммиака лишь незначительно повысил выход глинистых фракций (до 7—9%), что говорит о невозможности его применения для выделения микроагрегатов карбонатно-глинистых пород.

8. Отмывание солей из мергелей и глинистых мергелей водой методом диализа без введения химических стабилизаторов также неспособно устранить коагуляцию суспензии. Суспензия мергеля коагулирует настолько быстро, что отделить глинистые фракции не удается. Анализ глинистого мергеля показал всего 5% глинистой части.

9. Введение аммиака при том же способе подготовки увеличило выход глинистого вещества до 8%. Следовательно, способ отмывания солей методом диализа с введением в качестве стабилизатора NH_4OH также не применим для микроагрегатного анализа.

10. Введение едкого натрия после отмывания из породы солей водой способствует большей стабилизации суспензии, чем все описанные выше полудисперсные способы.

Выход глинистых фракций при анализе глины равен 15—22%, в то время как содержание нерастворимого остатка по данным 2,5-процентным солянокислым вытяжкам составляет 75—95%.

Выход глинистой фракции глинистого мергеля равен 7—19%, а нерастворимый остаток — 50—75%. Выход глинистой фракции мергеля равен 18% при содержании 26—50% нерастворимого остатка.

Для анализа исследуемых карбонатно-глинистых пород, тонкодисперсная часть которых сцементирована в прочные, водоустойчивые микроагрегаты, данный полудисперсный способ может быть успешнее применен, чем все описанные выше способы гранулометрического анализа.

11. Дисперсный способ с отмыванием солей слабым раствором соляной кислоты и применением в качестве стабилизатора суспензии едкого натрия обеспечивает более высокий выход глинистой фракции породы, чем другие методы. Выход глинистой фракции при данной обработке обусловлен не только стабилизирующим действием вводимого едкого натрия, но и действием кислоты, растворяющей карбонатный цемент агрегатов.

Выход глинистых фракций при анализе глины равен 21,5%, глинистого мергеля — 21%, мергеля — 35%.

Данные гранулометрического состава при дисперсном способе обработки не вполне сочетаются с данными солянокислых вытяжек, что, с одной стороны, вызвано различной подготовкой породы к гранулометрическому и химическому анализам, а с другой,— говорит о том, что полная диспергация породы при данном дисперсном методе обработки не была достигнута. Причина этого может заключаться в наличии частичной коагуляции суспензии или в неполном разрушении прочно сцементированных агрегатов.

* * *

Анализируя существующий в литературе материал о подготовке карбонатных пород к гранулометрическому анализу и исходя из данных проведенных экспериментов, можно сделать следующее заключение. Наличие в породах карбонатов и гипса создает большие трудности при проведении гранулометрического анализа, так как мелкие фракции полностью или частично коагулируют и результаты анализа изменяются в зависимости от применяемого способа подготовки породы к анализу.

Определить агрегатный состав, позволяющий судить о степени дисперсности карбонатно-глинистых пород в естественных условиях их залегания, не представляется возможным, так как быстрая коагуляция суспензии мешает выделению глинистой фракции.

Микроагрегатный способ подготовки засоленных пород к анализу лучше всего проводить при отмывании из породы солей дистиллированной водой методом диализа с введением при кипячении электролита при концентрации, не допускающей разрушения устойчивых агрегатов.

Способ диализа при отмывании легкорастворимых солей нужно признать наиболее рациональным. Отмывание солей методом диализа

происходит быстрее, чем на фильтре, и обеспечивает бо́льшую точность анализа, чем метод декантации. Возможность потери глинистых фракций, имеющая место при сливании суспензии способом декантации, при способе диализа устраняется.

Микроагрегатный способ является наиболее целесообразным для задач инженерной геологии, так как данные, полученные при этом способе подготовки, ближе согласуются с грунтом в его естественном состоянии.

Опыты показали, что проводить микроагрегатный способ подготовки засоленных пород к анализу без введения электролитов нельзя, так как одно растирание и кипячение и даже отмывание солей из породы водой не обеспечивает стабилизации суспензии.

Аммиак, являясь достаточно сильным стабилизатором суспензии пород бескарбонатных, для пород карбонатных оказывается слабым стабилизатором. Сильнее стабилизирует суспензию щелочь. При введении в суспензию едкого натрия выход глинистых фракций значительно повышается (табл. 2). Но введение избытка NaOH может вызвать свертывание тонкодисперсной части суспензии в мягкие скользкие комки, оседающие на дно и стенки колбочки. Как отмечено выше, такое явление, видимо, связано с реакцией среды, в которой происходит осаждение частиц.

Кипячение карбонатных пород, по наблюдениям некоторых исследователей [55], иногда ведет к свертыванию дисперсных частиц.

Растирание способствует диспергации грунта, и применение его в сочетании с другими методами подготовки породы к анализу следует признать целесообразным.

Дисперсный метод, включающий растворение карбонатных солей соляной кислотой, отмывание хлора водой и введение электролитов, обеспечивает резкое увеличение выхода глинистых фракций.

Максимально возможной диспергации можно достигнуть введением в грунт (при растирании) раствора пирофосфата натрия ($Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$) при слабощелочной реакции. Достаточная доза пирофосфата натрия, помимо стабилизации суспензии, вызывает, повидимому, вытеснение обменных двухвалентных катионов ионом Na, что ведет к распылению устойчивых агрегатов.

При исследовании глинистых пород с высоким содержанием карбонатов, глинистые частицы которых сцементированы в устойчивые микроагрегаты, на 10 *г* породы вводилось (при растирании) 10 *мл* насыщенного раствора $Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$. Растертая масса переводилась в коническую колбу и подвергалась часовому кипячению с 200 *мл* воды. После кипячения растертая порода переносилась в литровый цилиндр через сито с диаметром отверстий 0,25 *мм*.

Такой способ подготовки породы технически прост, занимает мало времени и исключает необходимость обрабатывать породу соляной кислотой. Он дает возможность устранять коагуляцию суспензии и достигнуть наибольшего соответствия между результатами гранулометрического анализа с числом пластичности.

* * *

Практика проведенных лабораторных исследований гранулометрического состава карбонатных лёссовидных суглинков и карбонатных глин сорматского возраста подтвердила правильность выводов М. Н. Шкабаро [55] о рациональности использования пирофосфата натрия при дисперсном способе подготовки к анализу этих пород.

Применение в качестве стабилизатора 1 *мл* насыщенного раствора пирофосфата натрия на 1 *г* карбонатных пород среднесорматского возраста дало положительные результаты. Суспензия не коагулировала в образцах пород с высоким содержанием карбонатов (до 47%). При уменьшении дозы насыщенного раствора пирофосфата от 0,5 *мл* на 1 *г* породы суспензия также не коагулировала, и данные о содержании глинистых фракций вполне согласовались с числом пластичности (табл. 5 и 6). Это говорит о необходимости установить минимальную дозу пирофосфата натрия, способную устранить коагуляцию суспензии для пород различной степени карбонатности.

Применение пирофосфата натрия при исследовании гранулометрического состава лёссов и древних аллювиальных глин также дало положительные результаты (табл. 7).

Данная работа является одной из попыток разрешить поставленный вопрос в первом приближении. Углубление же его и детальная разработка должны явиться делом дальнейших исследований.

Таблица 5

Лабораторный номер	Число пластичности	Карбонатность в $CaCO_3$	Содержание фракций, %				
			>0,05	0,05—0,01	0,01—0,002	0,002—0,001	<0,001
2108	29	47,03	31	6	16	10	37
2109	37	11,01	14	18	14	8	46
2110	40	12,01	—	8	26	13	53
2113	30	17,26	4	37	20	7	32
2116	12	25,21	51	18	10	4	17
2120	34	10,10	16	27	17	8	32
2121	54	0,40	17	26	25	8	24
2126	36	19,10	10	50	17	3	20
2127	14	15,50	54	16	9	4	17
2131	38	1,70	—	13	32	22	33
2132	39	8,25	1	33	36	8	22
2133	47	7,80	—	11	45	17	27

Таблица 6

Лабораторный номер	Число пластичности	Карбонатность в $CaCO_3$	Содержание фракций, %				
			0,5—0,25	0,25—0,01	0,01—0,002	0,002—0,001	<0,001
2070	33	4,00	—	1	24	13	62
2074	31	5,50	1	2	27	14	56
2076	12	11,76	16	52	14	6	12
2080	25	13,51	4	12	30	10	41
2081	20	27,52	16	5	11	10	54
2082	27	14,51	7	11	31	13	39
2083	37	10,26	—	1	16	10	73
2084	27	5,25	1	6	31	13	49
2087	18	11,42	—	30	38	15	17
2091	34	0,10	1	30	18	11	40
2096	23	1,09	9	13	16	12	45
2085	23	13,26	8	38	17	6	31

Таблица 7

Порода	Лабораторный номер	Стабилизатор	Число пластичности	Карбонатность в $CaCO_3$	Содержание фракций, %				
					>0,5	0,5–0,01	0,01–0,002	0,002–0,001	<0,001
Лёсс	1	NaOH	12	7,80	26,83	42,76	15,10	2,51	12,80
		$Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$	12	7,80	8,61	51,66	10,95	4,66	24,12
		$Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$ (с кипячением)	12	7,80	14,40	41,33	10,30	3,62	30,35
	2	NaOH	16	12,41	—	48,20	26,77	7,60	16,71
		$Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$	16	12,41	—	45,80	19,70	0,86	32,08
		$Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$ (с кипячением)	16	12,41	—	42,06	18,15	5,15	34,64
Аллювиальная глина	1	NaOH	30	22,26	—	7,73	30,50	10,42	51,35
		$Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$	30	22,26	—	12,31	22,00	10,41	55,28
		$Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$ (с кипячением)	30	22,26	—	6,95	25,16	11,24	56,65
	2	NaOH	26	22,97	—	12,06	29,67	10,59	47,60
		$Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$	26	22,97	—	20,30	17,13	5,92	56,65
		$Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$ (с кипячением)	26	22,97	—	7,83	25,08	10,03	57,01

2. Результаты экспериментальных работ по определению удельного веса

Для определения удельного веса использовались глинистые разности засоленных пород татарского яруса пермской системы. Химический состав исследуемых пород приведен в табл. 1.

Многие исследователи физических свойств засоленных пород считают, что при определении удельного веса на конечный результат влияют, во-первых, крупность — степень раздробленности породы и, во-вторых, род жидкости, в которой производятся анализы.

Из крупных кусков труднее удалить защемленный в порах воздух. При неполном удалении воздуха из этих кусков значение удельного веса занижается. Если жидкость, в которой производится определение удельного веса, растворяет породу (или соли, содержащиеся в ней), то неизбежны ошибки в сторону занижения результатов.

Для уточнения влияния степени раздробленности породы на конечный результат анализа удельный вес каждой пробы определялся для трех степеней размельчения: 0,1; 0,5 и 1 *мм*. Чтобы установить влияние рода жидкости, удельный вес породы определялся в дистиллированной воде, керосине и спирте.

Для идентичности условий проведения опытов и избежания случайных ошибок принимался следующий порядок подготовки породы к анализу. Из монолита естественной структуры и влажности ножом нарезались мелкие кусочки породы и помещались для сушки на песчаную баню. Вес пробы не превышал 0,5 *кг*. Воздушно сухая порода дробилась в фарфоровой ступке на мелкие кусочки (1—3 *мм*), тщательно перемешивалась и способом квартования разделялась на четыре части, три из которых последовательно одна за другой растирались до заданной степени размельчения (0,1; 0,5 и 1 *мм*).

Удельный вес определялся пикнометрическим методом. Объем пикнометра 100 $см^3$, навеска абсолютно сухого грунта 10 *г*.

При анализе засоленных пород воздух из породы удаляют обычно не кипячением, а применением вакуума. В наших опытах производилось взбалтывание на механической качалке.

Механическая качалка Киевского завода медицинского оборудования (выпуск 1951 г.) производит 100—120 горизонтальных качаний в 1 мин. Сорокапятиминутного взбалтывания пикнометром на этом приборе вполне достаточно для удаления воздуха из породы.

Определение удельного веса породы в воде. Для каждой степени размельчения всех исследуемых разностей пород проводилось двукратное (параллельное) определение удельного веса с последующим осреднением с точностью до 0,0001. Как следует из данных табл. 8, значения удельного веса пород нормальные и вполне согласуются с их карбонатно-глинистым доломитовым составом. Как указано выше (характеристика вещественного состава пород), породы имеют повышенное содержание карбонатов, и в том числе доломита, удельный вес которого 2,86 $г/см^3$, а также кальцит с удельным весом 2,71—2,72 $г/см^3$. Поэтому удельный вес рассматриваемых пород, по сравнению с обычными силикатными глинистыми породами, имеет несколько более высокие значения.

Расхождение между двумя параллельными определениями одной и той же пробы весьма незначительно и лежит всегда в пределах точности данного метода определения удельного веса.

Степень размельчения породы в процессе подготовки проб к анализу не оказывает существенного влияния на конечный результат исследования.

Таблица 8

Порода	Лабораторный номер	Степень размельчения, мм	Определение в воде		Определение в керосине		Определение в спирте	
			единичное значение	среднее	единичное значение	среднее	единичное значение	среднее
Глина	966	0,1	2,8262	2,8260	2,7187	2,7266	2,7906	2,7840
»	966	0,1	2,8258		2,7346		2,7773	
»	966	0,5	2,8142	2,8152	2,7290	2,7270	2,7820	2,7801
»	966	0,5	2,8162		2,7250		2,7782	
»	966	1,0	2,7878	2,7976	2,7290	2,7280	2,7377	2,7409
»	966	1,0	2,8064		2,7270		2,7442	
Глина	1002	0,1	2,7968	2,7981	2,7738	2,7738	2,7911	2,7901
»	1002	0,1	2,7895		2,7739		2,7891	
»	1002	0,5	2,7905	2,7902	2,7748	2,7760	2,7732	2,7802
»	1002	0,5	2,7900		2,7773		2,7872	
»	1002	1,0	2,7880	2,7900	2,7755	2,7655	2,7806	2,7803
»	1002	1,0	2,7920		2,7755		2,7800	
Глина	1007	0,1	2,7865	2,7860	2,7790	2,7710	2,7321	2,7330
»	1007	0,1	2,7856		2,7630		2,7340	
»	1007	0,5	2,7790	2,7886	2,7690	2,7700	2,7253	2,7242
»	1007	0,5	2,7983		2,7710		2,7231	
»	1007	1,0	2,7968	2,7968	2,7840	2,7820	2,7293	2,7310
»	1007	1,0	2,7968		2,7800		2,7328	
Мергель глинистый	915	0,1	2,7765	2,7767	2,7451	2,7500	2,7790	2,7710
»	915	0,1	2,7770		2,7549		2,7630	
»	915	0,5	2,7746	2,7726	2,7380	2,7416	2,7540	2,7550
»	915	0,5	2,7706		2,7452		2,7560	
»	915	1,0	2,7808	2,7880	2,7466	2,7456	2,7520	2,7515
»	915	1,0	2,7958		2,7446		2,7511	
Мергель глинистый	931	0,1	2,7862	2,7827	2,7560	2,7545	2,7680	2,7670
»	931	0,1	2,7777		2,7630		2,7660	
»	931	0,5	2,7794	2,7830	2,7426	2,7416	2,7690	2,7630
»	931	0,5	2,7866		2,7406		2,7570	
»	931	1,0	2,7840	2,7878	2,7306	2,7296	2,7698	2,7690
»	931	1,0	2,7919		2,7286		2,7632	

Продолжение табл. 8

Порода	Лабораторный номер	Степень размельчения, *мм*	Определение в воде		Определение в керосине		Определение в спирте	
			единичное значение	среднее	единичное значение	среднее	единичное значение	среднее
Мергель	972	0,1	2,8296	2,8260	2,8111	2,8101	2,7481	2,7525
»	972	0,1	2,8223		2,8091		2,7570	
»	972	0,5	2,7999	2,8072	2,7950	2,8000	2,7532	2,7516
»	972	0,5	2,8144		2,8050		2,7500	
»	972	1,0	2,7988	2,7956	2,7900	2,7945	2,7490	2,7525
»	972	1,0	2,7924		2,7990		2,7560	
Мергель	928	0,1	2,8004	2,7960	2,7620	2,7648	2,7790	2,7826
»	928	0,1	2,7916		2,7673		2,7852	
»	928	0,5	2,7786	2,7828	2,7650	2,7649	2,7570	2,7615
»	928	0,5	2,7871		2,7648		2,7660	
»	928	1,0	2,7790	2,7780	2,7588	2,7606	2,7646	2,7623
»	928	1,0	2,7770		2,7624		2,7600	
Мергель	984	0,1	2,8036	2,8083	2,7802	2,7864	2,7814	2,7790
»	984	0,1	2,8130		2,7926		2,7768	
»	984	0,5	2,7975	2,7985	2,7900	2,7804	2,7727	2,7712
»	984	0,5	2,7995		2,7708		2,7707	
»	984	1,0	2,8020	2,7977	2,7850	2,7777	2,7692	2,7646
»	984	1,0	2,7935		2,7704		2,7600	

Определение удельного веса породы в керосине. При определении удельного веса с применением нейтральных органических жидкостей очень важно точно установить удельный вес этих жидкостей. В наших опытах удельный вес керосина и спирта определялся многократно (5—6 раз) в течение всего цикла исследования ареометрическим методом.

Как показывают данные анализов (табл. 8), удельный вес породы, определяемый в керосине, несколько выше определяемого в воде. Некоторое отклонение имеется в данных по пробе № 966. Расхождения между параллельными определениями одной и той же пробы не превышают 0,01—0,02 и лежат в пределах ошибки опыта.

Степень размельчения пробы в процессе подготовления породы к анализу не оказывает существенного влияния на конечный результат исследования.

При определении удельного веса породы в керосине результаты получаются в среднем на 0,02 ниже, чем в воде.

Определение удельного веса породы в спирте. Удельный вес породы, определяемый в спирте (табл. 8) так же, как и определяемый в керосине, близок удельному весу, полученному обычной стандартной методикой. Степень размельчения пород в процессе подготовления проб к анализу не оказывает существенного влияния на конечные результаты исследований.

Расхождение между параллельными определениями одной и той же пробы лежит в пределах ошибки данного метода анализа.

На основании полученных данных лабораторных исследований карбонатно-глинистых пород татарского яруса пермской системы можно, повидимому, рекомендовать: а) удельный вес определять по стандартной методике в воде; б) размельчение породы в процессе подготовки к анализу проводить согласно общепринятому стандарту (пропускать через сито с диаметром отверстий в 1 *мм*).

Таблица 9

Лабораторный номер	Стандартный способ			Способ с отмывкой водорастворимых солей водой			Способ с обработкой раствором соляной кислоты		
	Предел текучести, %	Предел пластичности, %	Число пластичности	Предел текучести, %	Предел пластичности, %	Число пластичности, %	Предел текучести	Предел пластичности, %	Число пластичности
Глина									
942	53	25	28	47	28	19	54	32	22
954	32	22	10	33	19	14	41	28	13
960	39	20	19	39	25	14	49	38	11
963	43	20	23	37	21	16	66	40	26
966	44	23	21	44	24	20	54	28	26
974	55	22	33	47	20	27	73	24	49
990	28	15	13	46	23	23	57	22	35
1000	43	25	18	47	25	22	57	24	33
1002	45	20	25	44	24	20	51	29	22
1007	52	26	26	50	22	28	52	27	25
1008	37	18	19	37	19	18	44	24	20
Мергель глинистый									
915	43	20	23	43	28	15	63	24	29
931	49	24	25	42	26	16	49	28	21
932	45	24	21	42	27	15	55	29	26
957	45	24	21	52	26	26	50	36	24
972	47	25	22	41	23	18	90	26	64
981	47	23	24	42	20	72	78	21	52
987	57	25	32	52	25	27	75	24	51
Мергель									
920	39	18	21	33	22	11	44	25	19
926	37	23	14	37	22	15	52	28	24
928	43	22	21	40	23	17	60	28	32
938	45	26	19	49	25	24	75	38	37
950	45	22	23	49	26	23	70	34	36
984	51	21	30	44	19	25	75	21	54
998	45	23	22	43	20	23	67	22	45

Таблица 10

Порода	Число определений	Стандартный способ			Способ с отмывкой водорастворимых солей водой			Способ с обработкой раствором соляной кислоты		
		Предел текучести, %	Предел пластичности, %	Число пластичности	Предел текучести, %	Предел пластичности, %	Число пластичности	Предел текучести, %	Предел пластичности, %	Число пластичности
Глина	11	42,8	21,4	21,4	42,8	22,7	20,1	54,4	28,4	26,0
Мергель глинистый	7	47,5	23,5	24,0	44,8	25,0	19,8	65,0	26,8	38,2
Мергель	7	43,5	22,1	21,4	42,1	22,2	19,8	63,2	28,0	35,2
»	25	44,6	22,3	22,3	43,2	23,3	19,9	60,8	27,7	33,1

3. Результаты экспериментальных работ по определению пределов пластичности

Для определения пределов пластичности использовались разности карбонатно-глинистых пород татарского яруса пермской системы — глины, мергели и глинистые мергели. Было исследовано 25 образцов. Химический состав пород приведен в табл. 1. Процентное содержание и степень доломитизации гипса и карбонатов изменяются в широких пределах. Так, содержание гипса изменяется от 0,19 (лаб. № 984) до 44,13% (лаб. № 950), содержание карбонатов варьирует от 3,65 (лаб. № 966) до 60,48%, а процент доломитизации — от 13,09 (лаб. № 942) до 43,5% (лаб. № 972). Количество нерастворимого остатка, характеризующее глинистую часть породы, изменяется от 35,03 (лаб. № 950) до 82,45 (лаб. № 990).

Как известно, способ подготовки грунта к анализу в значительной мере определяет конечный результат исследования. Для сравнительной характеристики были выбраны:

1) стандартный способ подготовки грунта к анализу, применяющийся в практике лабораторных исследований незасоленных разностей глинистых пород;

2) способ подготовки грунта с предварительной отмывкой воднорастворимых солей водой;

3) способ подготовки с предварительной обработкой грунта раствором соляной кислоты.

Для идентичных условий проведения опытов в каждом случае из монолита естественной влажности и ненарушенной структуры отбиралась проба весом 380—400 *г*, которая протиралась через сито с отверстиями 1 *мм* и тщательно размешивалась. Затем проба делилась на три равные части и подвергалась различным способам подготовки.

При стандартном способе подготовки грунта к анализу грунт естественной влажности, протертый через сито с отверстиями 1 *мм*, тщательно размешивался в фарфоровой чашке шпателем до однородной массы. При наличии мелких кусков дополнительно растирался ложкой или пестиком. Если естественная влажность грунта была невысокой, то в грунт добавляли воду, тщательно размешивали шпателем до однородной массы и помещали в эксикатор с водой на 1,5—2 суток, после чего грунт тщательно разминался руками.

При подготовке грунта к анализу с предварительным отмыванием воднорастворимых солей водой проба грунта весом 100—120 *г* делилась на 6—8 частей, из которых каждая укладывалась в двухслойные пакеты — мешочки из кальки. Пакеты помещались в стакан и заливались дистиллированной водой. Смена воды в стаканах проводилась ежедневно 2 раза — утром и вечером. Окончание отмыва воднорастворимых солей определялось проверкой фильтрата на SO_4''.

Грунт из калек переводился в чашку, избыток воды выпаривался или сливался сифоном. В дальнейшем грунт тщательно размешивался шпателем до однородной массы и разминался руками. Продолжительность отмыва воднорастворимых солей зависит от характера и концентрации солей и для исследуемых пород в среднем составляет 5—6 дней. Минимальное время отмыва солей 1 день, максимальное — 14 дней.

При подготовке грунта к анализу с предварительной обработкой раствором соляной кислоты проба грунта весом 100—120 *г* помещалась в химический стакан и заливалась однонормальным раствором соляной кислоты. В процессе воздействия кислоты на грунт производилось систематическое помешивание стеклянной палочкой или взбалтывание. По истечении 4 час. грунт делился на 6—8 частей и переносился на

фильтры, помещенные в воронки, и промывался однонормальным раствором соляной кислоты до отрицательной реакции фильтрата на кальций, после чего отмывался дистиллированной водой. Затем грунт с фильтров переносился в фарфоровую чашку, перемешивался шпателем и поступал для анализа.

Определение предела текучести. Предел текучести определялся на приборе конструкции А. М. Васильева по общепринятой

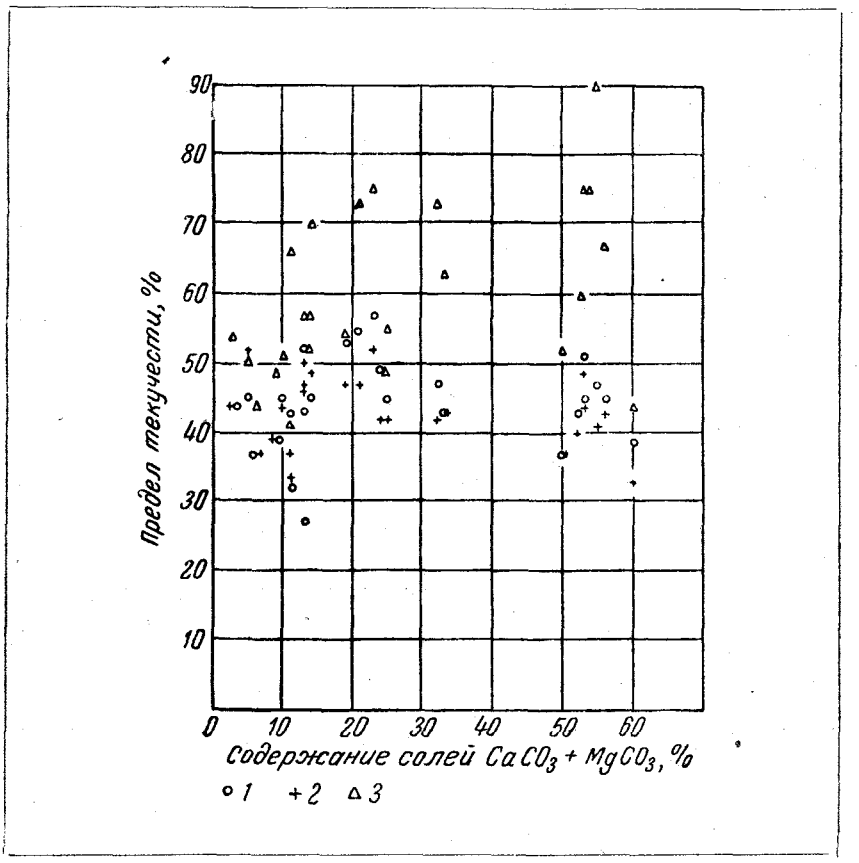


Рис. 1. Изменение значения предела текучести и содержания карбонатов:

1 — при стандартном способе подготовки грунта к анализу; *2* — с предварительной отмывкой воднорастворимых солей водой; *3* — с предварительной обработкой раствором соляной кислоты

стандартной методике. Результаты исследования для трех способов подготовки грунтов к анализу приведены в табл. 9, 10 и на рис. 1, 2.

Анализ результатов исследования показывает, что минимальные значения предела текучести характерны для способа подготовки грунта к анализу с предварительным отмыванием воднорастворимых солей водой. Максимальные значения получаются при применении способа подготовки с предварительной обработкой грунта раствором соляной кислоты. Среднеарифметическое значение текучести (25 образцов) для первого способа равно 43,2%, для второго — 60,8%. Предел текучести при стандартном способе подготовки грунта к анализу очень близок к пределу текучести

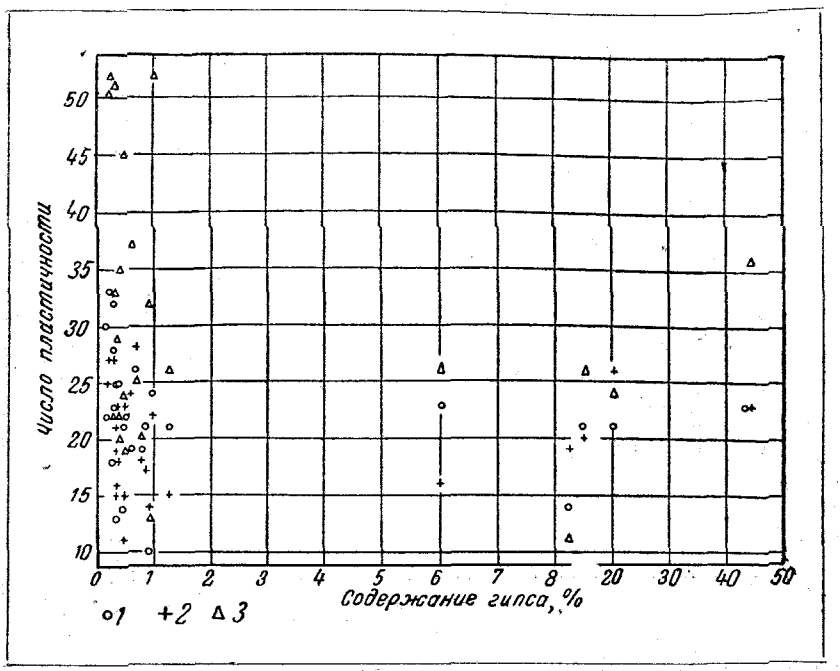


Рис. 2. Изменение значения предела текучести и содержания гипса:

1 — при стандартном способе подготовки грунта к анализу; *2* — с предварительной отмывкой водорастворимых солей водой; *3* — с предварительной обработкой раствором соляной кислоты

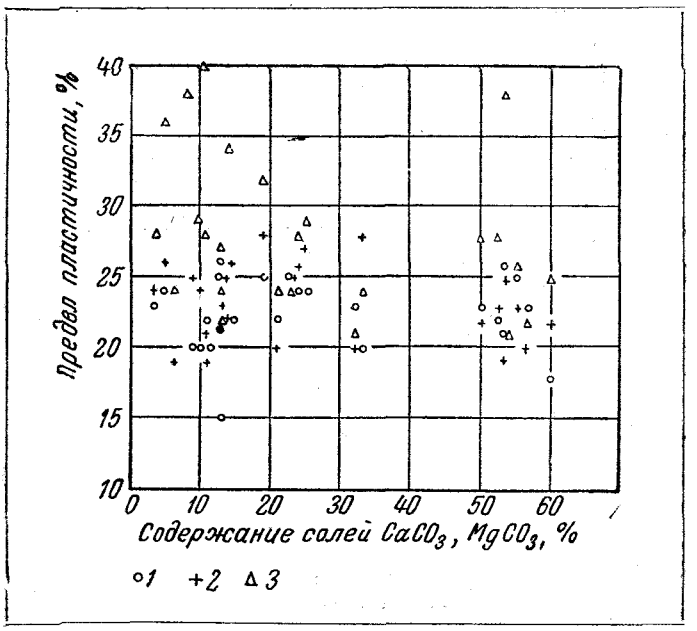


Рис. 3. Изменение предела пластичности и содержания карбонатов:

1 — при стандартном способе подготовки грунта к анализу; *2* — с предварительной обработкой отмывкой водорастворимых солей водой; *3* — с предварительной обработкой раствором соляной кислоты

при способе подготовки с отмыванием воднорастворимых солей водой. Разница между среднеарифметическими значениями пределов текучести по этим двум способам подготовки грунта к анализу равна 1,4%.

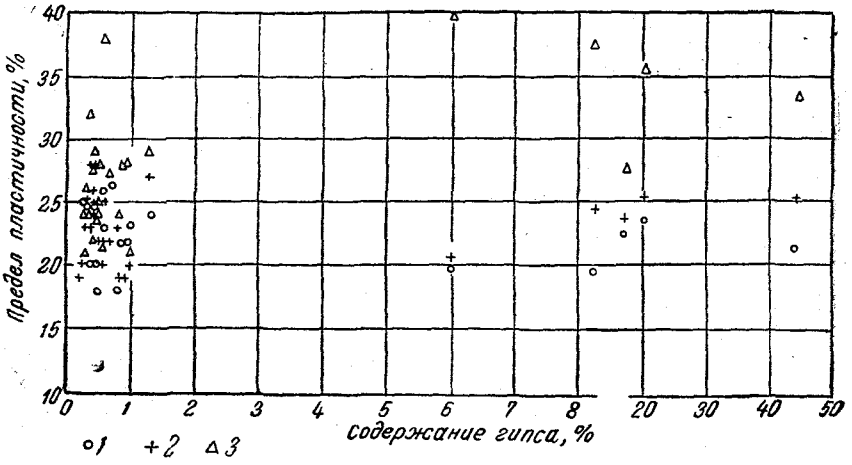


Рис. 4. Изменение предела пластичности и содержания гипса:
1 — при стандартном способе подготовки грунта к анализу; *2* — с предварительной отмывкой воднорастворимых солей водой; *3* — с предварительной обработкой раствором соляной кислоты

Таким образом, присутствие в грунтах карбонатов и гипса снижает значение предела текучести. Это положение хорошо согласуется с данными исследований В. М. Безрук и Ю. Л. Мотылева [7].

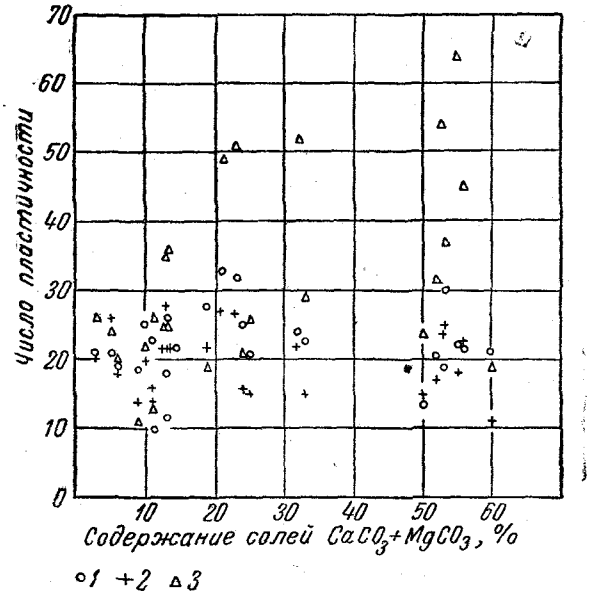


Рис. 5. Изменение числа пластичности и содержания карбонатов:
1 — при стандартном способе подготовки грунта к анализу; *2* — с предварительной отмывкой воднорастворимых солей водой; *3* — с предварительной обработкой раствором соляной кислоты

Определение предела пластичности. Предел пластичности определялся по методу раскатывания грунта в виде проволоки.

Результаты определения предела пластичности для всех разностей пород при трех способах подготовки грунтов к анализу приведены в табл. 9, 10 и на рис. 3 и 4.

Анализ результатов исследования показывает, что самый низкий предел пластичности отмечается при стандартном способе подготовки грунта к анализу, а самый высокий — при способе с предварительной обработкой раствором соляной кислоты. В первом случае среднее значение предела пластичности (25 образцов) равно 22,3%, во втором случае — 27,7%. При способе подготовки грунта к анализу с предваритель-

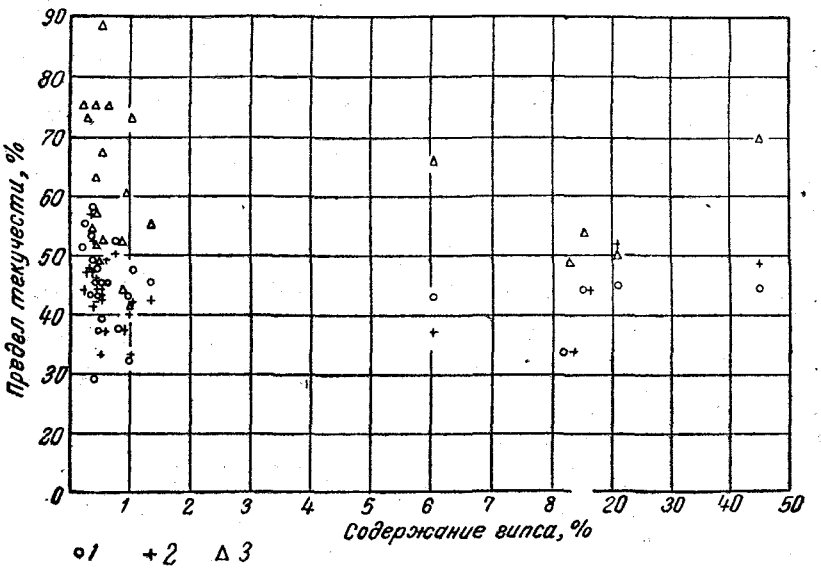


Рис. 6. Изменение значения числа пластичности и содержания гипса:

1 — при стандартном способе подготовки грунта к анализу; *2* — с предварительной отмывкой водорастворимых солей водой; *3* — с предварительной обработкой раствором соляной кислоты

ным отмыванием воднорастворимых солей водой среднее значение предела пластичности немногим отличается от результатов, полученных при стандартном способе, и составляет 23,2%.

Определение числа пластичности. Результаты определения числа пластичности (табл. 9, 10, рис. 5 и 6) позволяют сделать следующие предварительные выводы.

1. Самое низкое число пластичности характерно для способа подготовки грунта к анализу с предварительным отмыванием воднорастворимых солей водой, а самое высокое — для способа подготовки с предварительной обработкой раствором соляной кислоты. При стандартном способе подготовки грунта к анализу число пластичности очень близко к данным способа подготовки грунта к анализу с предварительным отмыванием воднорастворимых солей водой. Таким образом, присутствие в породе гипса и карбонатов уменьшает число пластичности.

2. При определении числа пластичности засоленных разностей карбонатно-глинистых пород татарского яруса пермской системы или им подобных, следует рекомендовать общепринятую стандартную методику подготовки породы к анализу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антипов-Каратаев И. Н. Почва как полидисперсная система и методы определения дисперсности твердой фазы почвы. Сб. Современные методы исследования физико-химических свойств почв. Изд-во АН СССР, 1945, вып. 1.

2. Антипов-Каратаев И. Н. Физико-химические свойства почв в зависимости от состава и соотношения обменных катионов. «Коллоидный журнал», 1935, т. 1, вып. 3—4.

3. Антипов-Каратаев И. Н., Келерман В. В. и Хан Д. В. О почвенном агрегате и методах его исследования. Изд-во АН СССР, 1948.

4. Астапов С. В. Очерки по изучению физических свойств почвы, т. 1. Материалы по опытно-мелиоративному делу, МГИСХМ, 1928.

5. Айдинян Р. Х. Выделение почвенных коллоидов без химической обработки. «Коллоидный журнал», 1947, т. 1, вып. 1.

6. Безрук В. М. и Богданов Т. Ф. Лабораторные методы испытаний грунтов, Дориздат, 1945.

7. Безрук В. М., Мотылев Ю. Л. и др. Строительство дорог на засоленных грунтах и подвижных песках. Автотрансиздат, 1953.

8. Бутц Ш. Ф. Влияние обменных оснований на физико-механические свойства почво-грунтов. Ученые записки Ленинградского государственного университета, серия геологическая, 1950, вып. 1.

9. Васильев А. М. Основы современной методики и техники лабораторных определений физических свойств грунтов. Машстройиздат, 1949.

10. Васильев А. М. Обзор существующих материалов по выяснению влияния состава поглощающего комплекса на физические свойства глинистых почво-грунтов. Ученые записки Кишиневского государственного университета, 1951, т. IV, вып. 1.

11. Васильев А. М. Основы современной методики и техники лабораторных определений физических свойств грунта. Гос. Издат. литературы по строительству и архитектуре, 1953.

12. Васильев П. И. Методы ускоренного анализа карбонатных почв. Госгеолиздат, 1951.

13. Виленский Д. Г. Агрегация почв, ее теория и практическое приложение. Изд-во АН СССР, 1945.

14. Вильямс В. Ф. Опыт исследования в области механического анализа почвы. Известия Петровской с.-х. академии, 1893, вып. 2—3.

15. Вишнякова П. М. О сравнительной оценке методов определения микроагрегатного состава почв. Доклады Всесоюзной академии с.-х. наук им. В. И. Ленина, 1951, вып. 8.

16. Гедройц К. К. Ультрамеханический состав почвы и зависимость его от рода катиона, находящегося в почве в поглощенном состоянии. «Журнал опытной агрономии», 1921—1923.

17. Гедройц К. К. Учение о поглотительной способности почв. Сельхозиздат, 1932.

18. Глинка К. З. Почвоведение. Сельколхозгиз, 1932.

19. Глушков В. П. Новые методы механического анализа. Труды почвенного института АН СССР, 1930, вып. 3—4.

20. Голубев И. Ф., Монин С. А. и Островский Е. П. Опыт применения ультраразведки для диспергирования почвенных суспензий. «Проблемы советского почвоведения», АН СССР, 1936, сб. 3.

21. Гуменский Б. М. Указание к производству лабораторных исследований грунтов для строительных целей. Изд. Научно-исследовательского института коммунального хозяйства, 1940.

22. Димо П. А. О наиболее рациональной классификации почв и пород по механическому составу. Известия Института почвоведения и геоботаники Среднеазиатского государственного университета, 1925.

23. Домрачева Е. А. Физико-механический и химический анализ почвы. Сельхозиздат, 1939.

24. Дудаевский И. Е. и Ялкошова М. А. Методы диспергации при механическом анализе. «Журнал прикладной химии». 1938, № 5.

25. Земятченский П. А. Глина СССР. Изд-во АН СССР, 1935.

26. Земятченский П. А. и Охотин В. Б. О механическом анализе обломочных рыхлых пород по методу Робинзона. Центральное управление местного транспорта. Исследовательское дорожное бюро, 1928, вып. 19.

27. Карпинский П. П., Долгов С. И. Механический анализ почв методом пипетки. Новый агроном. Изд. Сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева, 1930.

28. Качинский Н. А. Методы механического и микроагрегатного анализа почв. Изд-во АН СССР, 1943.

29. Кочергина Е. И. Сравнительное изучение методов механического анализа почво-грунтов. «Почвоведение», 1952, № 7.

30. Красникова А. С. О химических методах подготовки почв к механическому анализу способом пипетки. «Проблемы советского почвоведения», 1936, вып. III.

31. Ломтадзе В. Д. Методы лабораторных исследований физико-механических свойств песчаных и глинистых грунтов. Госгеолиздат, 1952.

32. Лысенко М. П. О механическом элементарном составе лёссовых грунтов. Доклады АН СССР, 1949, т. XIX, № 2.

33. Материалы по лабораторному исследованию грунтов. Госгеолиздат, 1952.

34. Макарова А. Ф. Сравнительная оценка методов подготовки почв к микроагрегатному анализу. «Почвоведение», 1939, № 5.

35. Морозов С. С. Сравнительные данные механического анализа некоторых карбонатных пород по способам акад. К. К. Гедройца, проф. А. Н. Сабанина и проф. Робинзона — Земятченского. «Почвоведение», 1931, № 5—6.

36. Морозов С. С. Дисперсность карбонатов и их распределение по отдельным гранулометрическим фракциям в главнейших грунтах СССР. Ученые записки МГУ, 1949, вып. 133, кн. 1.

37. Морозов С. С. К методике производства гранулометрического анализа карбонатных пород. Ученые записки МГУ, 1951, вып. 149, кн. 2.

38. Охотин В. В. Методы гранулометрического анализа грунтов в строительных целях. Материалы по лабораторному исследованию грунтов. Госгеолиздат, 1952.

39. Охотин В. В. Физико-механические свойства грунтов в зависимости от их минералогического состава и степени дисперсности. Изд. Гушосдора, 1937.

40. Оловянников Г. И. Распределение $CaCO_3$ и $MgCO_3$, кремнекислоты и полуторных окислов в механических фракциях. «Почвоведение», 1937, № 7.

41. Панков А. М. Дисперсность почв и грунтов в зависимости от различных условий. Труды Почвенного института АН СССР, 1934, т. X, вып. 6.

42. Пигулевский М. Х. Основы и методы изучения физико-механических свойств почвы. Известия Ленинградского отделения Всесоюзного института удобрений и агротехники, 1936.

43. Приклонский В. А. Грунтоведение. Госгеолиздат, 1949.

44. Просвиров Б. В. К методике механического анализа. «Почвоведение», 1934, № 7—8.

45. Розов Л. П. Система механических анализов вместо одного анализа, как метод характеристики воднорастворимых свойств почв. «Физика почв в СССР» Сельхозгиз, 1936.

46. Сабанин А. Н. Механический анализ почвы с малыми навесками. «Почвоведение», 1903, т. 5, № 1—2.

47. Сергеев Е. М. Общее грунтоведение. Изд-во Московского государственного университета, 1952.

48. Серебряков Г. П. Механический анализ почвы. Изд. Нижполиграф, 1923.

49. Соловьева О. Б. Методы подготовки глинистых суспензий к седиментометрическому анализу. «Огнеупоры», 1952, № 12.

50. Тюлин А. Ф. О методах качественного и количественного определения агрегатов в почве. Физика почв в СССР. Сельхозгиз, 1936.

51. Фигуровский Н. А. Седиментометрический анализ. Изд-во АН СССР, 1948.

52. Филиппова В. Н. Сравнительное исследование различных методов подготовки почв к механическому анализу. Агропочвоведение, 1931.

53. Чернов В. А. и Шапошникова А. Н. Изучение различных методов подготовки глин при определении их механического или зернового состава. Изд. НИИ «Стройкерамика», 1930, вып. 3.

54. Шаров В. С. и Измайлович О. Н. Растирание густого теста как метод диспергирования глины в суспензии. «Коллоидный журнал», 1941, в. 4.

55. Шкабаро М. Н. и Кастюкевич З. В. К методике определения механического элементарного состава осадочных пород. Доклады АН СССР. Петрография, 1952, т. XXXIII, № 6.