

**А. В. Драгомирецкий**<sup>1</sup>, канд. геол.-мин. наук, доц.;

**Е. В. Драгомирецкая**<sup>2</sup>, мл. науч. сотр.

<sup>1</sup> Одесский национальный университет имени И. И. Мечникова,  
кафедра инженерной геологии и гидрогеологии,  
Шампанский пер., 2, Одесса, 65058, Украина

<sup>2</sup> Отделение гидроакустики Морского гидрофизического института НАН  
Украины, ул. Преображенская, 3, Одесса, 65082, Украина

## ОСОБЕННОСТИ КАТИОННОГО ОБМЕНА И ЕГО СВЯЗЬ С ФИЗИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ МЭОТИЧЕСКИХ ГЛИН В ПРЕДЕЛАХ ОПОЛЗНЕВЫХ УЧАСТКОВ ОДЕССКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ЧЕРНОГО МОРЯ

В статье рассмотрены результаты анализа водных вытяжек из образцов мэотических глин одесского побережья Черного моря для оценки связи особенностей обменного комплекса глин с их физическими свойствами при поисках ослабленных зон. Установлено, что в толще глин могут присутствовать несколько прослоев с повышенной емкостью катионного обмена за счет значительного количества обменных Na+K. Особого внимания заслуживают прослои с наибольшими градиентами обменной емкости и основных физических свойств мэотических глин, которые приводят к пониженной физико-механической прочности.

**Ключевые слова:** обменная емкость, мэотические глины, оползневые склоны.

### Введение

Высотное строительство в береговой зоне г. Одесса и, как следствие, возросшие динамические и статические нагрузки в прибрежной части склона делают особенно актуальным поиск и оценку дополнительных условий, которые могут влиять на развитие оползневого процесса. Глины мэотического возраста служат основным деформируемым горизонтом для характерных, в рассматриваемом районе, оползней выдавливания. Ранее проведенные исследования [1, 5, 6] и существующий фактический материал все более подтверждают предположение, что в разрезе мэотических глин присутствуют неоднородности литогенетического происхождения оказывающие влияние на их несущие способности, что приводит к развитию оползневых деформаций в пределах прибрежных склонов и в настоящее время.

Одним из путей оценки таких неоднородностей является изучение физико-химических явлений на границе минерал-вода, которые наиболее распространены в тонкодисперсных грунтах (глины, лессы, почвы). Возникающие при этом взаимодействия приводят к образованию связанной воды и диффузного слоя ионов, а также развитию обменных процессов на поверхности минералов. Эти процессы оказывают значительное влия-

ние на прочностные и деформационные характеристики тонкодисперсных грунтов, в частности глин. Глинистые грунты имеют в своем составе до 50% частиц размером  $<0,005$  мм, т. е. коллоидных частиц. Такого рода грунты обладают максимальной удельной поверхностью, что способствует развитию обменных процессов физико-химической природы. Эти особенности определяют повышенный интерес к изучению обменных физико-химических процессов и их влияния на физические свойства мезотических глин миоцена, слагающих мощную толщу (до 60 м) на одесском побережье Черного моря.

Теоретические основы и особенности катионного обмена в почвах и грунтах детально освещены в фундаментальных трудах академика К. К. Гедройца [2] и других исследователей [4] и могут использоваться для объяснения физических свойств дисперсных грунтов.

Целью данной работы является рассмотрение особенностей катионного обмена в мезотических глинах и качественная оценка его связи с физическими свойствами указанных глин одесского побережья (пористость, влажность, число пластичности), определяющими инженерно-геологические условия развития оползней.

Для достижения поставленной цели решались следующие основные задачи: 1) определение емкости поглощения (емкости обмена) мезотических глин по глубине скважин на разных участках побережья; 2) определение отношения  $Ca/(Na+K)$  в составе обменных катионов; 3) анализ и оценка связи параметров поглощающего комплекса глин с влажностью, числами пластичности и пористостью.

### Методика исследований и фактический материал

В работе использованы результаты химического анализа водных вытяжек из образцов мезотических глин, выполненных по стандартным методикам (методика П. А. Крюкова [7]). При этом определялся ионный состав ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ , иногда  $NH_4$ ) поровых растворов, а также их pH. Результаты анализов были сведены в таблицы.

Для анализа, интерпретации и оценки результатов исследований нами были использованы данные по катионному составу поровых растворов. Известно, что состав катионов слабо связанной воды этих растворов наиболее тонко реагирует на изменения физико-химических параметров раствора. Поскольку мезотические глины на 30–50% состоят из коллоидов, то они должны себя вести как коллоидные системы.

Для относительной оценки связи поглощающего комплекса и некоторых физических свойств мезотических глин использовалось соотношение  $Ca/(Na+K)$ , а также сумма поглощенных катионов, характеризующую общую емкость поглощения глин. На основе выполненных расчетов были построены серии графиков.

В качестве фактического материала были использованы результаты химических анализов водных вытяжек из образцов мезотических глин, отобранных из 13 скважин, пробуренных на оползневом склоне и плато в

пределах некоторых оползневых амфитеатров одесского побережья: I–IV амфитеатров от мыса Ланжерон до Аркадии (I — стадион “Динамо” — скв. 350, 376; III — санаторий “Чкалова” — скв. 1066, 1068, 1070, 1072, 1073, 1076; IV — Геофизическая обсерватория — скв. 326, 331) и XII амфитеатра, расположенного на участке “Дача Ковалевского” (санаторий “Жемчужина” и Дом творчества писателей — скв. 1069, 1091, 1092). Шаг опробования по глубинам скважин неравномерный, с колебаниями от 0,3 м до 6,0 м. Средний шаг опробования для участков: I амф. — 2,1 м, III амф. — 1,88 м, IV амф. — 3,0 м, XII амф. — 3,62 м.

### **Теоретические предпосылки**

Взаимодействия на границе минерал-вода приводят к развитию обменных процессов на поверхности минералов, слагающих глинистые грунты. Глины содержат значительное количество коллоидных частиц, на поверхности которых возникает двойной электрический слой. Строение этого слоя существенно изменяется при обводнении глинистого грунта. В результате вокруг коллоидных частиц возникает диффузный слой ионов. Катионы в этом слое удерживаются электрическим полем частицы, и их концентрация постепенно понижается по мере удаления от границы раздела минерал-вода. При этом концентрация анионов растет. Доказано [2], что толщина диффузного слоя определяется величиной электрокинетического потенциала. Эти две физические величины являются важнейшими показателями энергетического состояния частиц, определяющими агрегативную устойчивость, набухание, пластичность, сжимаемость и другие свойства глин.

Величина электрокинетического потенциала и толщина диффузного слоя частиц существенно зависят от концентрации электролита и состава катионов в поровом растворе [2]. Повышение концентрации электролита в растворе ведет к сжатию диффузного слоя частиц и снижению электрокинетического потенциала. При уменьшении концентрации электролитов диффузный слой расширяется и потенциал возрастает.

На распределение катионов в диффузном слое оказывает большое влияние их валентность, поляризуемость и способность гидратироваться. Установлено [3], что с увеличением радиуса катионов диффузный слой будет сжиматься, а величина электрокинетического потенциала убывать.

Таким образом, появление растворов электролитов насыщенных катионами с большим ионным радиусом, например  $\text{Na}^+$ , будет приводить к снижению электрокинетического потенциала, что в свою очередь, приведет к снижению агрегативной устойчивости и увеличению подвижности водонасыщенных дисперсных грунтов.

При обменных процессах определенное количество ионов из раствора входит в двойной электрический слой частиц, а эквивалентное количество других ионов уходит с поверхности частиц в раствор. Общее количество ионов в грунте, способных участвовать в обмене, в данных условиях, характеризует емкость поглощения или обменную емкость грунта. Ее ве-

личина определяется кристаллохимическими особенностями минералов, типом их структуры, а также рН жидкой компоненты. Между катионами диффузного слоя минеральной фазы породы и катионами раствора всегда устанавливается равновесие.

### **Емкость катионного обмена и физические свойства глинистых грунтов**

В обменном комплексе глинистых пород встречаются главным образом катионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ . При этом в породах морского генезиса в сольватном слое преобладает  $\text{Na}^+$ . У глин отложившихся в пресноводных бассейнах или пород субаэрального происхождения умеренного пояса в сольватном слое преобладает главный компонент пресных вод —  $\text{Ca}^{2+}$ .

Состав и количество обменных катионов сильно влияет на физические и химические свойства грунтов. Так, кальций и натрий имеют большое значение в структурообразовании. Кальций, являясь хорошим коагулятором, способствует свертыванию коллоидов и образованию водопрочных структурных агрегатов. Натрий оказывает противоположное действие. Ввиду того, что натрий отдиассоциирует от поверхности коллоидной частицы в большей степени, чем кальций, в диффузном слое количество ионов натрия оказывается больше. С переходом  $\text{Na}^+$  в диффузный слой увеличивается заряд коллоидных частиц, и они взаимно отталкиваются. Одновременно вокруг натрия и коллоидов растет водная пленка, что определяет весьма значительную влажность Na-содержащих глинистых грунтов и их водонепрочную структуру.

Емкость и энергия поглощения глинистых грунтов зависят от их влажности и суммарной удельной поверхности слагающих их минералов, т. е. от минерального состава грунтов. Чем выше эти показатели, тем энергия и емкость поглощения выше. Максимальной суммарной удельной поверхностью и емкостью поглощения обладает монтмориллонит [8]. Поэтому глины, содержащие этот минерал в значительных количествах (от 30% и более), обладают высшей степенью поглощения и оказываются чувствительными ко всем изменениям состава и свойств геологической среды (влажности, пористости, кислотности-щелочности, давлению и др.). В последние годы доказано [9], что Na-формы монтмориллонита обладают наибольшей вододерживающей способностью, обусловленной силами молекулярной природы. По мнению исследователей, причина вододерживания связана с особенностями гидратации поверхности глинистых минералов.

Следовательно, обменная поглотительная способность глинистых пород зависит от таких основных параметров, как: величина суммарной удельной поверхности раздела минерал-вода; рН водной среды; концентрации катионов в растворе и их электрохимических особенностей. Кроме того, состав катионов в двойном электрическом слое частиц существенно влияет на общее количество слабосвязанной (осмотической) воды, содержание которой в глинистых грунтах намного превышает содержание прочносвязанной воды.

Зная емкость поглощения породы и состав поглощенных катионов можно приближенно судить о свойствах пород и их возможных изменениях при изменении физико-химических условий. Например, монтмориллонитовая глина, содержащая обменный натрий, может адсорбировать в 2–3 раза больше воды, чем подобная глина, содержащая обменный кальций. Натриевая монтмориллонитовая глина обладает значительно большей набухаемостью, сжимаемостью, пластичностью, значительно меньшей прочностью, легко размокает в воде, быстрее и сильнее диспергируется, чем кальциевая монтмориллонитовая глина.

Следует отметить, что рассматриваемые мѳотические глины миоцена, в значительной степени относятся к монтмориллонитсодержащим (более 30%).

### **Обсуждение результатов исследований**

Ниже приводится анализ активности обменных катионов и других параметров обменной емкости мѳотических глин в изученных разрезах в пределах отдельных оползневых амфитеатров (с севера на юг) одесского побережья.

$\text{Na}^+ + \text{K}^+$ . Следует отметить, что эти катионы имеют концентрации и активность значительно превышающие (в 2 и более раз) активность всех остальных обменных катионов в толще глин. Изменения концентрации катионов  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  на участках разных амфитеатров колеблются в интервале 0,05–88,5 мг экв. (см. табл. 1).

В поровых растворах глин по разрезам скважин для них характерна разная степень концентрации, графики которой в основном имеют синусоидальный вид. Можно выделить несколько типов графиков с разными значениями концентраций  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ :

1-й тип — со значениями от 0 до 15 мг экв. (скв. 326 — IV амф.; скв. 350 — I амф.; 1068 — III амф.); 2-й тип — со значениями от 13–15 до 35 мг экв. (9 скважин из разных амфитеатров).

Лишь в одной скважине III амфитеатра (скв. 1076) концентрация  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  в поровых растворах резко отличается от указанных типов и имеет пиковое значение (88,5 мг экв).

В пределах некоторых участков оползневого склона I амфитеатра (скв. 350) активность  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  значительно повышена в верхней и нижней частях разреза. На плато (скв. 376) их максимальная активность связана с нижней частью толщи глин (абс. отм. — 7,04 м).

На участках оползневого склона III амфитеатра активность  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  также максимальна в верхней и нижней частях толщи (скв. 1066, 1070, 1072), расположенных ниже уровня моря. Иногда резкая инверсия их значений характерна для верхней части разреза (от –10,7 м до –14,2 м). При этом с глубиной их активность возрастает в связи с увеличением слабосвязанной воды (скв. 1072).

На участках плато III амфитеатра, оползневого склона и плато IV оползневого амфитеатра максимальная активность  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  приходится на верхнюю часть толщи (скв. 1073, 1076, 326, 331).

Таблица 1

Абсолютные отметки некоторых параметрических показателей активности обменных катионов в толще мезотических глин одесского побережья

амфи театр	№ скв.	Геомор- фология участка	Абсолютные отметки в м											
			Na+K		Ca		Mg		Обменная емкость		Ca/(Na+K)			
			min	max	min	max	min	max	min	max	min	max		
I	376	Плато	+0,46	-7,04	-6,0	-3,0	+3,96	-3,04	+5,96	-3,04	+0,13	+0,46		
			-0,87	-3,87	-0,87	-3,87	-3,87	-0,87	-3,87	-0,87	-3,87	-0,87	-6,37	
III	1066	Опол- зневой склон	-6,37	-7,87	-5,87	-13,37	-13,37	-6,37	-6,37	-7,87	-8,37	-12,37		
			-12,37	-13,87	-11,37	-13,87	-13,87	-11,37	-13,87	-11,37	-13,87	-13,87	-13,87	
	1068	Опол- зневой склон	-8,93	-15,43	-10,43	-6,63	-6,63	-10,43	-6,13	-6,13	-10,93	-7,63		
			-21,63	-24,13	-20,13	-15,93	-15,93	-20,63	-15,93	-20,63	-15,93	-23,63	-23,63	
	1070	Опол- зневой склон	-1,21	-4,71	-	-1,21	-1,21	-1,71	-0,21	-0,21	-18,21	-1,21		
			-8,21	-12,71	-20,21	-20,21	-8,21	-17,21	-17,21	-8,21	-4,21	-12,21	-7,71	
	1072	Опол- зневой склон	-11,7	-14,2	-13,7	-11,7	-11,7	-11,7	-11,7	-14,9	-10,7	-12,2		
			-20,2	-16,4	-22,2	-17,4	-21,2	-17,4	-21,2	-17,4	-21,2	-13,7	-16,9	
	1073	Плато	-6,5	+3,5	-4,0	+3,5	0,0	-6,5	+3,5	-4,5	+3,5	+3,5		
			-12,0	-10,0	-10,0	-10,0	-12,0	-12,0	-12,0	-12,0	-10,0	-12,0	-12,0	
	1076	Плато	-0,85	-5,65	-8,15	-1,55	-2,65	-0,85	-5,35	-0,35	-0,35	-0,85		
			-12,25	-10,15	-9,15	-10,15	-8,15	-1,35	-1,35	-1,35	-6,85	-5,85	-1,85	
			-14,65	-13,25	-16,05	-14,65	-14,65	-6,85	-6,85	-14,65	-8,85	-8,85		
			-16,05	-15,25	-18,55	-17,05	-18,55	-17,05	-18,55	-17,05	-18,55	-18,55	-6,85	
			-18,05	-18,05	-18,05	-18,05	-18,05	-18,05	-18,05	-18,05	-18,05	-18,05		
			-18,05	-18,05	-18,05	-18,05	-18,05	-18,05	-18,05	-18,05	-18,05	-18,05	-18,05	

Окончание табл. 1

амфи театр	№ скв.	Геомор- фо-логия участка	Абсолютные отметки в м											
			Na+K		Ca		Mg		Обменная емкость		Ca/(Na+K)			
			min	max	min	max	min	max	min	max	max	min		
IV	326	Плато	-7,5	-2,5	+4,0	-2,5	+3,0	-1,5	+4,0	-2,5	-9,0	-16,5	-9,0	
			-22,5	-15,5	-6,5	-11,0	-5,5	-11,0	-6,5	-12,5	-23,5	-23,5	-23,5	
XII	1069	Опол- зневой склон	-17,59	-12,59	-14,09	-10,09	-14,09	-10,09	-16,59	-10,09	-10,09	-13,09	-10,09	
				-21,05									-21,09	-17,53
	1091	Плато	-1,01	-6,51	-11,51	-1,01	-6,01	+0,99	-18,01	-14,51	-1,01	+0,99	-1,01	
			-10,51	-16,01	-20,51	-25,01	-19,51	-13,51	-6,01	-17,01	-6,01	-6,01	-17,01	
			-17,01	-23,51			-28,01	-23,01	-20,51	-26,01	-20,51	-20,51	-26,01	
			-20,51	-28,01										-28,01
	1092	Верх склона, плато	+1,68	-1,32	-6,32	+1,68	-12,32	-1,82	-6,82	-0,82	-2,32	-2,32	+1,68	
			-6,82	-14,32										-14,32

В пределах оползневого склона XII амфитеатра (скв. 1069 — сан. Жемчужина) максимальная активность этих катионов связана с нижней частью толщи (см. Табл. 1 и 2). При этом здесь на участках плато максимальные концентрации обменных  $\text{Na}^+\text{K}^+$  приурочены к верхней и нижней частям изученного разреза.

Таблица 2

**Сопоставление показателей обменной емкости и отношения  $\text{Ca}/(\text{Na}+\text{K})$  с некоторыми физическими свойствами мэотических глин**

№ скв.	абс. отм., м	пористость, %	влажность, %	число пластичности, %	сумма катионов, мг экв.	отношение $\text{Ca}/(\text{Na}+\text{K})$
376	-6,04	46,35	21,00	32,73	23,89	0,09
1066	-0,87	44,56	24,51	22,53	15,50	0,32
	-5,87	45,10	23,55	18,69	23,62	1,30
	-6,37	44,56	22,95	19,72	21,92	1,37
	-12,37	45,24	24,50	23,91	14,33	4,52
1068	-7,63	36,09	49,38	35,65	35,87	1,22
	-10,93	27,5	45,50	21,40	13,20	0,19
	-15,13	25,92	40,32	18,60	25,63	0,41
1070	-7,71	44,12	23,05	22,03	26,46	0,75
	-12,71	46,60	29,23	22,76	47,08	0,29
1072	-10,7				29,12	0,29
	-12,2	40,63	19,96	4,15	23,34	0,72
	-14,2	46,82	27,79	30,90	34,02	0,14
	-16,9	43,20	23,95	20,12	31,67	0,77
	-20,2	45,64	26,78	25,01	23,73	0,25
1073	-6	47,72	29,55	30,52	14,48	0,26
	-6,5	47,28	29,47	29,02	14,46	0,28
	-10	45,54	27,87	27,66	32,05	0,39
1076	-0,85	44,32	28,45	24,90	15,14	15,59
	-6,85	47,38	29,28	26,43	16,96	3,15
	-10,15	35,56	17,80	15,22	31,49	0,70
	-15,25	46,50	32,50	33,40	18,42	2,71
326	-5,5		27,02	18,90	21,13	1,70
	-6,5		25,19	21,55	18,02	2,43
1069	-10,09				35,55	1,57
	-12,59	49,37	33,07	19,51	29,02	0,16
1091	-6,01	39,84	21,13	19,25	47,01	0,32
	-14,51	42,24	26,26	13,59	86,93	0,30
	-17,01	34,82	23,35	11,39	18,79	0,43
	-20,51	48,12	23,65	14,36	40,91	0,29
1092	-6,32	38,29	24,43	13,07	36,88	0,57
	-6,82	36,30	26,21	12,60	35,68	0,59
	-14,32	43,24	27,99	17,72	48,56	0,38

Таким образом, концентрация обменных катионов  $\text{Na}^+\text{K}^+$  в толще мэотических глин в некоторых случаях связана с геоморфологическими особенностями изученных участков. Так, в пределах оползневых склонов I–IV амфитеатров наибольшая активность катионов  $\text{Na}^+\text{K}^+$  приходится на верхнюю часть разреза. На некоторых участках плато I и XII амфитеатров максимальные их концентрации приурочены к нижней части толщи. Такое

поведение обменных катионов обусловлено наличием прослоев глин, обогащенных Na (возможно в виде Na-монтмориллонита). Они сформировались в процессе диагенеза при взаимодействии морского осадка и соленых морских вод с отжатием и захоронением прослоев, впоследствии выведенных на разные гипсометрические уровни.

**Ca и Mg.** Концентрации обменных  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  в поровых растворах мэотических глин изменяются в пределах 4–20 мг экв. и 1,2–8,5 мг экв. соответственно. В связи с близостью их химических свойств в периодической системе представляется, что изменчивость концентраций обменных катионов Ca и Mg должна быть синфазной. Однако в природных условиях особенности их поведения различны. Ионы первого наиболее тесно связаны с континентальными пресными водами в виде комплекса  $\text{CaHCO}_3^+$ , а ионы магния являются одними из главных в составе морских вод. Поэтому поведение графиков распределения концентраций этих ионов в толще глин должно быть противофазным. При анализе и оценке их поведения по разрезам скважин было установлено, что синфазному типу отвечают колебания концентраций указанных катионов в скважинах № 376, 1066, 1068, 1072, 326, 331, 1069, где их пределы составляют соответственно 4–17,6 и 1,09–8,47 мг экв.

В остальных скважинах (350, 1070, 1073, 1076, 1091, 1092) колебания концентраций катионов Ca и Mg противофазны и пределы их колебаний составляют соответственно 4–20 и 1,21–8,47 мг экв. Такой характер колебаний концентраций связан, по-видимому, с изменениями минерального состава глин и химического состава поровых растворов, который тесно связан с химизмом подземных вод в мэотических отложениях.

Анализ и оценка концентраций катионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  показали, что они не связаны с геоморфологическими особенностями изученных участков. Их активность в верхних частях изученных разрезов обусловлена, по-видимому, влиянием подземных вод водоносного горизонта понтических отложений. На некоторых участках в нижних частях толщи глин активизация катионов Ca связана с изолированными карбонатсодержащими прослоями (возможно, Ca-монтмориллонита), реже с линзами пресных подземных вод, захороненных в толще мэотических глин.

**Обменная емкость.** Сумма концентраций обменных катионов или обменная емкость мэотических глин является прямым показателем активности катионов в их толще. По оценкам исследователей, этот показатель играет важную роль при оценке влияния обменных катионов на некоторые физико-механические свойства глин. Представляется, что высокие градиенты обменной емкости глин могут указывать на существование в их толще прослоев, обогащенных обменными катионами Na+K. Такое обогащение, как считают некоторые исследователи [3], приводит к разуплотнению структуры, увеличению естественной влажности, числа пластичности, удельной влагоемкости и ослаблению физико-механической прочности глин.

Анализ суммарной емкости обмена мэотических глин по некоторым участкам оползневых амфитеатров одесского побережья показал, что для участка “Стадион Динамо” (I амфитеатр) ее величина изменяется в неболь-

ших пределах и не позволяет установить пики активности. Это может в какой-то степени свидетельствовать об однородности разреза. Для участка “Санаторий Чкалова” (III амфитеатр) обменная емкость катионов возрастает на таких абсолютных отметках (в м): скв. 1066 — -3,87; -6,37; -13,37; скв. 1068 — -6,13; скв. 1070 — -4,21; -12,21; скв. 1072 — -14,9; скв. 1073 — +3,5; -10,0; скв. 1076 — -5,85;

Для участка “Геофизическая обсерватория” (IV амфитеатр) обменная емкость имеет повышенные значения на следующих абсолютных отметках (в м): скв. 326 — -2,0; -12,5;

Для участка “Дом творчества писателей” (XII амфитеатр) повышенные значения обменной емкости характерны для следующих абсолютных отметок (в м): скв. 1069 — -10,09; — 21,09; скв. 1091 — -14,51; — 18,01; скв. 1092 — -0,82; -14,32;

Как видно из графиков, сумма катионов (обменная емкость) по изученным разрезам мэотических глин во многом зависит от содержания катионов Na+K.

Анализ и оценка этих данных свидетельствуют о том, что в толще глин могут присутствовать несколько прослоев с повышенной емкостью обмена. Особого внимания заслуживают участки с наибольшими градиентами обменной емкости. К таким участкам разреза мэотических глин относятся следующие (в абсолютных отметках) (Рис. 1 и 2):

III амфитеатр — -6,45; -10,0 м; -12,71 м; -14,9 м;

IV амфитеатр — -12,5 м;

XII амфитеатр — -10,09 м; 14,32–14,5 м;

Сопоставление абсолютных отметок с наибольшими градиентами обменной емкости в пределах разных амфитеатров показывает расположение таких градиентных зон в толще глин на близких абсолютных отметках.

**Отношение Ca/(Na+K) и его связь с некоторыми физическими свойствами мэотических глин.** Одним из важных показателей связи обменного комплекса и физико-механических свойств глинистых грунтов служит отношение Ca/(Na+K). По данным П. И. Шаврыгина (1963) [3] в поглощающем комплексе грунтов это соотношение напрямую связано с некоторыми их физическими свойствами. Так, например, повышение содержания обменных катионов Na+K прямо связано с увеличением дисперсности, полной влагоемкости, времени капиллярного поднятия воды, числа пластичности и некоторых других свойств грунтов.

Расчеты, выполненные для мэотических глин отдельных участков одесского побережья показали, что величина отношения Ca/(Na+K) изменяется незначительно как по площади, так и по разрезам скважин. Максимальная изменчивость этого показателя характерна для стадиона “Динамо” (скв. 376 — 0,08–405,8). Для остальных участков его среднее минимальное значение составляет 0,41 мг экв., а среднее максимальное — 2,86 мг экв.

Повышенные значения отношения Ca/(Na+K) характерны для скв. 1066 (III амфитеатр, абс. отм. — 12,37 м) и скв. 326 (IV амфитеатр, абс. отм. — 23,5 м). В них уменьшение отношения связано с уменьшением содержания Ca и увеличением Na+K.

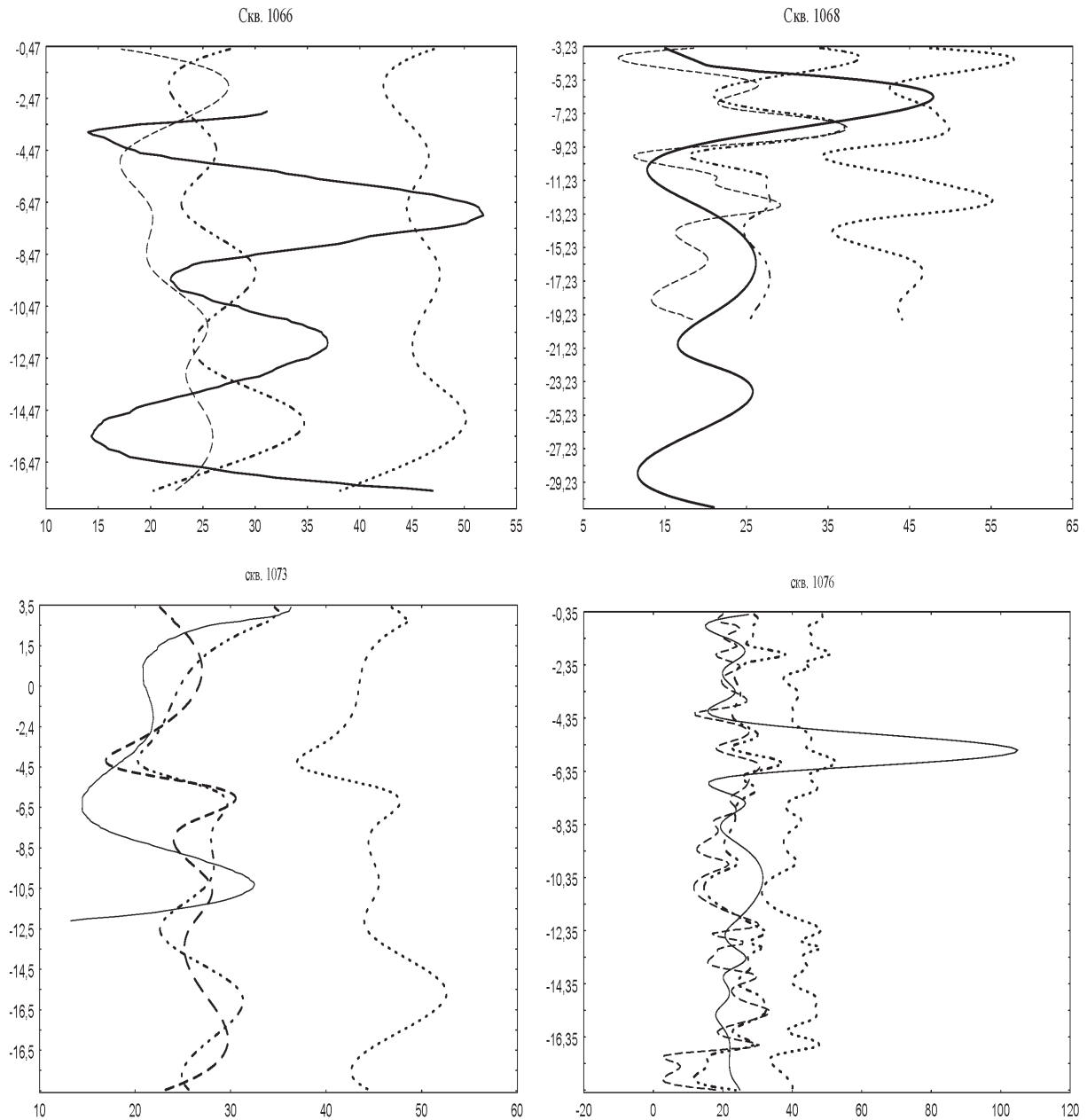


Рис. 1. Графики изменчивости физико-химических свойств мэотических отложений по глубине (III амфитеатр). Слева — шкала абс. отметок в м  
 — Сумма обменных катионов (мг экв) ---- Пористость (%)  
 - · - - - Естественная влажность (%) — — — Число пластичности (%)

В целом для всех изученных участков отношения обменных катионов  $\text{Ca}/(\text{Na}+\text{K})$  и их концентраций характеризуются обратно пропорциональной зависимостью. Высокие отношения характеризуют увеличение концентрации и активности катионов  $\text{Ca}^{2+}$  и наоборот, низкие значения отношения  $\text{Ca}/(\text{Na}+\text{K})$  свидетельствуют об увеличении концентрации и активности обменных катионов  $\text{Na}+\text{K}$ .

Сопоставление величин естественной влажности и чисел пластичности с отношением  $\text{Ca}/(\text{Na}+\text{K})$  показало, что минимумы этого отношения совпадают с максимальными значениями естественной влажности, чисел пластичности.

тичности и пористости (см. Табл. 2). Это свидетельствует о повышенной концентрации и увеличении активности обменных катионов Na+K на указанных абсолютных отметках, что подтверждает ранее сделанные выводы о разуплотняющей роли этих катионов и соответственно изменении некоторых физических свойств мэотических глин на указанных отметках.

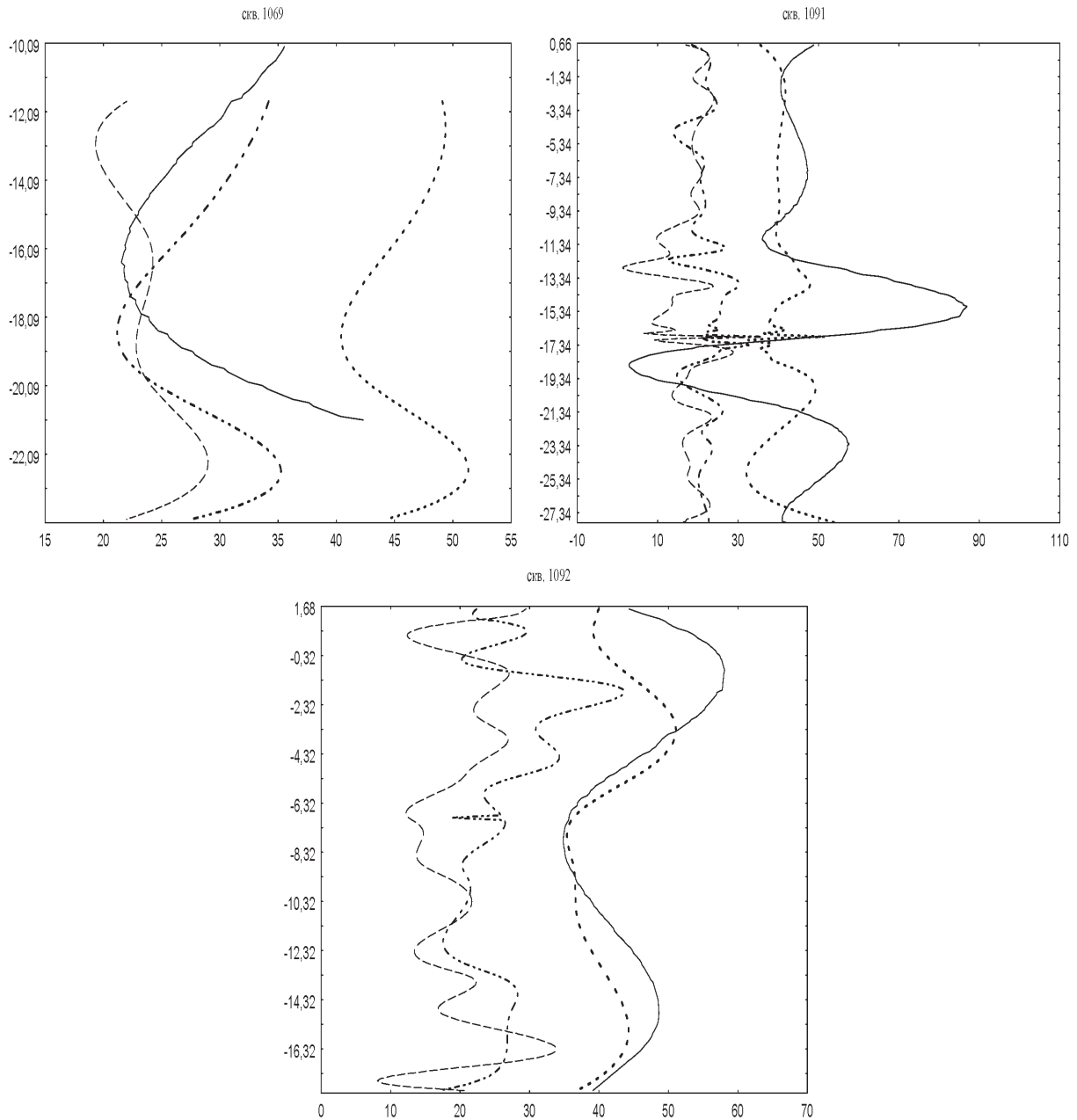


Рис. 2. Графики изменчивости физико-химических свойств мэотических отложений по глубине (XII амфитеатр). Слева — шкала абс. отметок в м. Условные обозначения см. рис. 1

Анализ и сопоставление графиков обменной емкости и физических свойств глин в пределах III и XII амфитеатров показывает их прямопропорциональную зависимость (скв. 1068, 1069, 1075, 1076, 1091, 1092). Более сложная зависимость отмечается в скв. 1066 (III амфитеатр).

Таким образом, общий анализ и оценка параметров обменного комплекса мэотических глин позволяет установить в ряде скважин, пробуренных на разных участках одесского побережья, интервалы абсолютных отметок, к которым приурочены прослой со специфическими физическими свойствами, определяющими их слабую несущую способность. К таким уровням в пределах амфитеатров относятся следующие (в абсолютных отметках):

III амфитеатр — -6,45; -10,0 м; -12,71 м; -14,9 м;

IV амфитеатр — -12,5 м;

XII амфитеатр — -10,09 м; 14,32–14,5 м;

## **Выводы**

1. Химический анализ водных вытяжек из образцов мэотических глин одесского побережья Черного моря является важным информативным методом при оценке связи физико-химических и структурных особенностей с физическими свойствами этих грунтов.

2. В толще мэотических глин могут присутствовать несколько прослоев с повышенной емкостью катионного обмена за счет значительного количества обменных Na+K. Особого внимания заслуживают участки с наибольшими градиентами обменной емкости. К этим зонам приурочены физико-химические и структурно-текстурные изменения, обусловившие изменения некоторых физических свойств грунтов — повышенными значениями естественной влажности, числа пластичности, дисперсности, удельной влагоемкости, высокой пористостью, которые приводят к пониженной физико-механической прочности.

3. Минимумы отношения Ca/(Na+K) совпадают с максимальными значениями естественной влажности, чисел пластичности и пористости, что свидетельствует о преобладающей роли катионов Na+K и значительной изменчивости физических свойств в указанных прослоях мэотических глин.

## **Литература**

1. Воскобойников В. М., Козлова Т. В. Применение геодинамического анализа и метода обобщенных переменных для оценки и прогноза устойчивости оползневых склонов (на примере Северного Причерноморья) // Инж. геология, 1992. — №6. — С. 34–49.
2. Гедройц К. К. Избранные сочинения: В 3-х томах. — М.: Сельхозгиз, 1955. — Т. 1. Почвенные коллоиды и поглощательные способности почв. — 560 с.
3. Горбунов Н. И. Минералогия и коллоидная химия почв. — М.: Наука, 1974. — 314 с.
4. Затенацкая Н. П., Сафохина И. А. Диффузное выщелачивание глин. — М.: Наука, 1968. — 88 с.
5. Зелинский И. П., Корженевский Б. А., Черкез Е. А. и др. Оползни северо-западного побережья Черного моря, их изучение и прогноз. — К.: Наук. думка, 1993. — 227 с.
6. Зелинский И. П., Шатохина Л. Н. Физико-механические свойства мэотических глин как грунтов основного деформируемого горизонта оползней Одесского побережья // Инж. геология, 1990. — №3. — С. 45–48.
7. Крюков П. А. Горные, почвенные и иловые растворы. — Новосибирск: Наука, 1971. — 220 с.
8. Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород. В 2-х томах. Т. 2. Лабораторные методы/ Под ред. Е. М. Сергеева. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1984. — 438 с.

9. Смагин А. В., Манучаров А. С., Садовникова Н. Б., Харитонов Г. В., Костарев И. А. Влияние поглощенных катионов на термодинамическое состояние влаги в глинистых минералах// Почвоведение. — 2004. — №5. С. 551–557.

**О. В. Драгомирецький**<sup>1</sup>, **О. В. Драгомирецька**<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Одеський національний університет імені І. І. Мечникова,  
кафедра інженерної геології та гідрогеології,  
Шампанський пров., 2, Одеса, 65058, Україна

<sup>2</sup> Відділення гідроакустики Морського гідрофізичного інституту НАН України,  
вул. Преображенська, 3, Одеса, 65082, Україна

### **ОСОБЛИВОСТІ КАТІОННОГО ОБМІНУ ТА ЙОГО ЗВ'ЯЗОК З ФІЗИЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ МЕОТИЧНИХ ГЛИН В МЕЖАХ ЗСУВНИХ ДІЛЯНОК ОДЕСЬКОГО УЗБЕРЕЖЖЯ ЧОРНОГО МОРЯ**

#### **Резюме**

У статті розглянуто результати аналізу водних витягів із зразків меотичних глин одеського узбережжя Чорного моря для оцінки зв'язку особливостей обмінного комплексу глин з їх фізичними властивостями при пошуках слабких зон в межах зсувних амфітеатрів. Встановлено, що у верствах глин є кілька прошарків з підвищеною ємністю катіонного обміну за рахунок значної кількості обмінних Na+K. Особливої уваги заслуговують прошарки з найбільшими градієнтами обмінної ємності та основних фізичних властивостей меотичних глин, які призводять до зниження фізико-механічної міцності.

**Ключові слова:** обмінна місткість, меотичні глини, обвальні схили.

**O. V. Dragomyretskyi**<sup>1</sup>, **O. V. Dragomyretska**<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mechnikov Odessa National University,  
Department of Engineering geology and Hydrogeology  
Shampansky st., 2, Odessa, 65058, Ukraine

<sup>2</sup> Hydroacoustic Branch of Marine Hydrophysical Institute of National Academy of Sciences of Ukraine, 3 Preobrazhenskaya st., 65082, Odessa, Ukraine

### **ION EXCHANGE PARTICULARES IN CONNECTION WITH PHYSICAL PROPERTIES OF MEOTIAN CLAYS WITHIN THE LANDSLIDE AREAS OF ODESSA COAST OF BLACK SEA**

#### **Summary**

In the article are considered the results of analysis of water extractions from the Meotian clays specimens of the Odessa Black sea coast in order to estimate the connection of particulares of exchange clays complex with their physical properties at impaired areas search. It is established that in the thickness of clays can be present some layers with an increased capacity of ion exchange due to a considerable quantity of exchange cations of Na+K. Some layers with the highest gradients of exchange capacity and basic physical properties of Meotian clays result in a lowered physic-mechanical durability, this fact deserves a particular attention.

**Keywords:** exchange capacity, Meotian clays, landslide slopes.