

УДК 553.611

## ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА С ОПОЛЗНЕОПАСНОГО УЧАСТКА АЗОВСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ

Пашенко А. А., Ящеренко О. Г., Пашенко А. В.,  
Карпиченко В. С.  
(УкрНИМИ, г. Донецк, Украина)

*Проведені дослідження глинистого ґрунту, який було відібрано з тіла зсуву, що знаходиться на березі Азовського моря. Виміряні дисперсність, питома поверхня та елементний склад зсувонебезпечної глини.*

*Researches of the clay soil, selected from the body of landslide being on shore of Azov sea, are conducted. Dispersion, specific surface and element composition of landslides clay are measured.*

Ґрунти на березу Азовського моря локально неустойчивы, из-за большого количества выпадающих осадков в виде дождя и снега, что вызывает разупрочнение ґрунтового массива и его разрушение, которое проявляется в виде оползней, оплывин и потоков. Для предотвращения процесса разупрочнения ґрунта при увлажнении и повышения устойчивости оползневого массива необходимо всестороннее изучение свойств образцов ґрунтов, образующих оползневый массив и разработка мер повышения его устойчивости.

**Предметом исследования** в данной работе являются образцы глины, отобранной из тела оползня, расположенного в балке Самарина на берегу Азовского моря возле пос. Рыбацкий Донецкой области (рис. 1).

Исследования глинистых ґрунтов показали, что они относятся к тонкодисперсным несцементированным осадочным гор-

ным породам, важнейшими характеристиками которых являются: пластичность, усадка, набухание, гидрофильность, гигроскопичность и вспучивание. Эти свойства глины характеризуют ее склонность к взаимодействию с водой и определяются химическим составом, строением и дисперсностью частиц входящих в нее глинистых минералов. Вследствие этого каждая глинистая порода обладает своей индивидуальностью, поэтому при разработке мер по повышению устойчивости горного массива необходимо изучить строение, состав и физико-механические свойства каждого из грунтов, взятых непосредственно из тела исследуемого оползня.



Рис. 1. Расположение места отбора образцов глинистого грунта, из тела оползня

Из ранее проведенных исследований известно, что глины состоят из алюмосиликатов – глинистых минералов со слоистой структурой, имеющих размеры частиц менее 10 мкм [1, 2]. Для большинства глин и их примесей размер частиц составляет: для алюмосиликатов – меньше 0,005 мм; для гидроксидов алюминия и железа – меньше 0,001 мм; для органических (гумусовых) веществ – меньше 0,0001 мм [1]. Известно также, что основными

компонентами всех глин являются диоксид кремния ( $\text{SiO}_2$ ), оксид алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) и вода ( $\text{H}_2\text{O}$ ), содержание которой определяет влажность пород. Для измерения влажности грунтов, отобранных из тела оползня, нами были использованы термостатно-весовой и гравиметрический методы анализа согласно ГОСТ 5180-75. В качестве оборудования применяли влагомер AXIS ADS 50, весы AXIS AD 600 и ВНЭ 6, рассчитанные на нагрузку 6 кг, сушильный шкаф СНОЛ 67/350.

Для определения состава и строения оползнеопасной глины верхнечетвертичного отложения  $Q_{111}$ , отобранной из тела оползня, расположенного на берегу Азовского моря, нами были проведены исследования образцов методами петрографического и эмиссионного спектрального анализа [3].

При изучении глинистых минералов петрографическим методом нами установлено, что в состав образцов исследуемого грунта входят глинистые вещества, каолинит, кварц, пирит и уголь. Исследования аншлиф-брикетов проводили согласно ГОСТ 9414-93 [4] в воздушной среде, в отраженном поляризованном свете с использованием оптического микроскопа типа МИМ-8Г фирмы ЛОМО (x280). Результаты петрографических исследований и подсчета частиц приведены в таблице 1.

Исследования аншлиф-брикетов показали, что глинистые вещества входят в состав оползнеопасной глины в небольшом количестве (16,0-16,2 %), имеют тонкозернистое строение, состоят из частиц темно-коричневого или черного цвета и имеют размеры 4-100 мкм. Глинистые вещества обладают непрочной структурой и размываются при полировке брикета. Породы, входящие в состав глинистого вещества, отличаются сложностью минералогического состава и, кроме глинистых минералов – каолинита, монтмориллонита, гидрослюды и др., содержат кварц, полевые шпаты, карбонаты, железистые и органические примеси.

Петрографические исследования образцов оползнеопасной глины показали, что каолинит входит в состав исследуемых образцов грунта в качестве основного (79,0-79,3 %) минерала. Он характеризуется частицами с размером от 20 мкм до 1600 мкм.

Таблица 1

Результаты петрографического анализа оползнеопасной глины

Проба	Глинистое вещество, об. %	Каолинит, об. %	Кварц, об. %	Пирит, об. %	Уголь, об. %
№ 1	16	79	3	1	1
№ 2	16,2	79,3	2,6	0,7	1,2

Каолинит в исследуемых образцах представляет комковатый в изломе, выламывающийся при полировании брикета мягкий материал светло-палевого, сероватого или красноватого цвета. Каолинит жирный на ощупь, имеет слоистую структуру, которая придает глинам и каолинам свойство пластичности. Он обладает низкой прочностью, его твердость по минералогической шкале равна 1, а плотность 2540-2600 кг/м<sup>3</sup>. При нагревании каолинита до 500-600 °С он теряет воду, а при 1000-1200 °С разлагается с выделением тепла и образованием вначале силлиманита, а затем муллита – основы керамического производства.

Исследования образцов глины показали, что в ее состав входит кварц, который является составной частью глины и присутствует в количестве 2,6-3,0 %. Он представлен темно-серыми зернами в виде полуокатанных округлых и угловатых кристаллов, имеющих размеры от 15 до 180 мкм.

В качестве примеси глинистые минералы содержат пирит, который входит в её состав в виде кристаллов ярко желтого цвета, или в виде отдельных скоплений частиц размером до 40 мкм в количестве (0,7-1,0 %). Также, в состав глины, в качестве примеси, входит уголь (1,0-1,2 %), находящийся в виде обломков различных форм и размеров (до 60 мкм).

Размер глинистых частиц влияет на физико-механические свойства глины, чувствительность к действию воды или других реагентов. Поэтому при изучении физико-механических свойств необходимо знать не только химический состав, строение, но и дисперсность частиц, содержащихся в глине. Петрографические исследования образцов оползнеопасной глины показали, что основным минералом, входящим в состав исследуемых образцов грунта, является каолинит, но они не дали ответ о дисперсном составе глинистых минералов. Поэтому для определения более точ-

ного гранулометрического состава породы нами был проведен седиментационный анализ водной суспензии глины ареометрическим методом [5]. Результаты седиментационного анализа и расчета гранулометрического состава приведены в таблице 2.

Действие воды на образцы приводит к потере механической прочности глины за счет образования на ее поверхности аквакомплексов и менее прочных водородных связей вместо ионных. Удельная поверхность, то есть площадь поверхности раздела двух фаз – твердой и газообразной (сухая глина), твердой и жидкой (влажная глина или суспензия) зависит от размера глинистых частиц.

Таблица 2

Гранулометрический состав образцов глины, отобранных из тела оползня

Фракция, мм	Содержание, %
0,075-0,050	0,6
0,050-0,030	0,9
0,030-0,020	2,5
0,020-0,015	1,9
0,015-0,007	5,8
0,007-0,005	6,5
0,005-0,004	9,8
0,004-0,003	3,1
0,003-0,001	24,2
< 0,001	34,8

Там, где есть поверхность раздела между двумя фазами, возникают Ван-дер-Ваальсовы силы, которые являются причиной взаимодействия двух сред. Если взаимодействие жидкости, растворенного вещества или газа (адсорбата) с поверхностью вещества (адсорбента) происходит только за счет Ван-дер-Ваальсовых сил, то такое взаимодействие называют «обычной», либо физической адсорбцией. Адсорбция, осложнённая химическим взаимодействием между адсорбентом и адсорбатом, называют хемосорбцией или химической адсорбцией. В качестве адсорбентов

могут выступать разнообразные материалы и природные минералы с высокой удельной поверхностью.

Физическая адсорбция определяется процессами адсорбции и десорбции молекул адсорбтива с поверхности и на поверхность адсорбента [6, 7]. Скорость адсорбции зависит от концентрации адсорбтива и площади вакантных мест на поверхности адсорбента. Измерения количества различных веществ, адсорбированных оползнеопасной глиной, позволяют рассчитать величину удельной поверхности адсорбента – глины.

Для измерения удельной поверхности образцов глины, отобранной из тела оползня, использовался метод удельной поверхности дисперсных и пористых материалов БЭТ [8]. Результаты измерения удельной поверхности оползнеопасной глины методом БЭТ приведены в таблице 3.

Таблица 3  
Результаты измерения удельной поверхности  
оползнеопасной глины методом БЭТ

№ п/п	Метод измерения	Обозначение	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г
1	Метод низкотемпературной адсорбции аргона	S <sub>Ar</sub>	81,3
2	Метод адсорбции метиленового голубого	S <sub>МГ</sub>	222,1
3	Метод адсорбции йода	S <sub>J<sub>2</sub></sub>	31,8

При измерениях удельной поверхности оползнеопасной глины различными методами получены следующие результаты: при измерении методом низкотемпературной адсорбции аргона площадь удельной поверхности  $S_{Ar} = 81,3 \text{ м}^2/\text{г}$ ; при адсорбции метиленового голубого удельная поверхность  $S_{МГ} = 222,1 \text{ м}^2/\text{г}$ ; при адсорбции йода удельная поверхность  $S_{J_2} = 31,8 \text{ м}^2/\text{г}$ .

Для определения химического состава веществ, входящих в состав оползнеопасной глины, был проведен предварительный и

полный элементный анализы оползнеопасной глины. Анализ элементного состава был проведен по эмиссионным спектрам, полученным при испарении исследуемого материала в электрической дуге. Результаты предварительного элементного анализа оползнеопасной глины приведены в таблице 4.

Таблица 4  
Результаты предварительного элементного анализа  
исходной глины

№ п/п	Элементы	Содержание, %
1	Mg, Si, Al, Ca, Fe	до 10
2	Pb, Sn, Ni, Cu, Na, Ti, Zn, Mn	до 1
3	K, Mo, V, Co, Ag, W	до 0,01
4	P, Sr, La, Yb	до 0,00001

В результате предварительного элементного анализа образцов глины по результатам эмиссионных спектров можно сделать выводы, что соединения Mg, Si, Al, Ca, Fe, более распространены, чем соединения Pb, Sn, Ni, Cu, Na, Ti, Zn, Mn. Для сравнения данных химического состава образцов исследуемого грунта, и строения глинистых грунтов со слоистой структурой, приведенных в литературных источниках, был проведен полный эмиссионный спектральный анализ образцов, результаты которого приведены в таблицах 5 и 6.

Расчет потери массы исследуемого материала в процессе его испарения в электрической дуге показал, что при использовании метода дугового эмиссионного спектрального анализа удастся идентифицировать всего 66 % химических элементов. Этот метод не позволяет без потерь анализировать легко испаряющиеся химические элементы (например, кремний) и легко разлагающиеся при нагревании соединения (например, карбонаты, гидрокарбонаты, кристаллогидраты и т.п.)

Наличие карбонатов и гидрокарбонатов в глинистом веществе подтверждается выделением углекислого газа при действии на исследуемую оползнеопасную глину 10 %-ной соляной кисло-

ты. Наличие связанной воды подтверждается потерей массы при сушке образцов.

Таблица 5  
 Результаты эмиссионного спектрального анализа основных химических элементов, содержащихся в образцах оползнеопасной глины

Окислы, содержащиеся в образцах оползнеопасной глины	Атомная масса элементов, у.е.	Молекулярная масса окислов, у.е.	Содержание окислов элементов, масс. %
MgO	24	40	4,2-5,8
SiO <sub>2</sub>	28	60	9,6-11,8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27	102	5,7-6,6
CaO	40	56	7,0-7,7
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	56	160	4,3-5,0
PbO	207	223	2,2-3,2
SnO <sub>2</sub>	119	151	0,6-0,8
NiO	59	75	1,3-1,9
CuO	64	80	6,3-8,8
Na <sub>2</sub> O	23	62	0,4-1,3
TiO <sub>2</sub>	48	80	1,7-2,5
ZnO	65	81	1,0-1,5
MnO <sub>2</sub>	55	87	4,4-5,1
K <sub>2</sub> O	39	94	2,2-2,7
MoO <sub>2</sub>	96	128	0,7-0,8
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	51	182	0,2-0,5
Всего:			51,6-66,0

Таблица 6  
 Содержание примесей в оползнеопасной глине

Элемент	Co	Ag	W	P	Sr	Yb	La
Содержание, %	0,001	0,0001	0,03-0,1	< 0,001	< 10 <sup>-5</sup>	< 10 <sup>-7</sup>	< 10 <sup>-5</sup>



Проведение полного эмиссионного спектрального анализа исследуемых образцов позволило выявить наличие большого числа элементов в составе глины, что косвенно подтверждает появление россыпей минералов на восточном берегу Белосарайской косы. При разрушении глин береговой линии морской водой происходит их размыв и унос легких частиц глины. Оседание тяжелых частиц и сепарация минералов приводит к образованию россыпей минералов. Самой большой среди них считается Белосарайская россыпь, которая расположена на восточном берегу Белосарайской косы в 500 м от места отбора проб оползнеопасной глины.

### ***Выводы.***

Проведены исследования глинистого грунта, отобранного из тела оползня, находящегося на берегу Азовского моря. Измерены дисперсность, удельная поверхность, элементный состав и строение оползнеопасной глины. Петрографические исследования образцов грунта показали, что в качестве основного минерала в состав исследуемых образцов входит каолинит в количестве 79,0-79,3 %, глинистые породы в количестве 16 %, кварц, полевой шпат, карбонаты, гидрокарбонаты, пирит, железистые и органические вещества – остальное.

Эмиссионный спектральный анализ образцов грунта подтвердил результаты петрографических исследований, так как по интенсивности спектральных линий алюминия и кремния он выявил в составе исследуемой породы наличие большого количества алюмосиликатов, входящих в состав основного вещества - каолинита. Проведение полного эмиссионного спектрального анализа позволило идентифицировать менее интенсивные спектральные линии, которые указывают на наличие в составе глинистой породы большого числа химических элементов, которые (по результатам петрографических исследований) должны содержаться в составе глинистой породы и примесей.

Методом БЭТ измерена удельная поверхность образцов оползнеопасной глины. Адсорбция образцами аргона, метилового голубого и йода показала, что удельная адсорбционная поверхность зависит от размера молекул сорбента и размера пор сорбата. Если рассматривать ряд размер пор - удельная поверх-

ность ( $S_{уд}$ ), то: макропоры образуют поверхность от 0,5 до 2 м<sup>2</sup>/г; переходные поры – от 20 до 70 м<sup>2</sup>/г; микропоры – более 70 м<sup>2</sup>/г. Определение удельной поверхности методом адсорбции йода ( $S_{уд} = 31,8$  м<sup>2</sup>/г) показало на присутствие небольшого количества переходных пор. Измерения методами адсорбции аргона ( $S_{уд} = 81,3$  м<sup>2</sup>/г) и метиленового голубого ( $S_{уд} = 222,1$  м<sup>2</sup>/г) указывают на наличие в исследуемых образцах большого количества микропор, которые в отличие от макро- и переходных пор, обладают адсорбционным полем и определяют свойства сорбента. Т.о. метод адсорбции метиленового голубого, на наш взгляд, наиболее приемлем для измерения удельной поверхности и микропористости образцов глины.

Величина удельной поверхности влияет на характер проявления адсорбционных сил. При увлажнении глины, обладающей большой удельной поверхностью, происходит понижение ее прочности за счет проникновения молекул воды в микропоры, и стремления раздвинуть их стенки за счет действия адсорбционных сил (эффект Ребиндера). Величина удельной поверхности (микропористость) образцов глинистого грунта определяет как их прочность при сжатии или сдвиге, так и устойчивость оползней, откосов и горных массивов, состоящих из глинистых пород.

### СПИСОК ССЫЛОК

1. Справочник по горному делу / Под ред. А. М. Терпигорева, Н. А. Ярцева. - М.: Гос. науч.-тех. изд-во, 1952.
2. Соколов В.Н. Микромир глинистых пород // Соросовский Образоват. Журн. - 1996. - № 3. - С. 56-64.
3. Миковский А. В. Минералогия и петрография. - М.: Недра, 1973. – 367 с.
4. ГОСТ 9414-93 Грунты. Методы петрографического анализа.
5. ГОСТ 12536-79 Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микро агрегатного состава. Определение гранулометрического (зернового) состава глинистых грунтов ареометрическим методом.
6. Фролов Ю. Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. - М.: Химия, 1989. - 464с.

7. Кельцев Н. В. Основы адсорбционной техники. - М.: Химия, 1984. – 592 с.
8. Методика определения удельной поверхности адсорбентов по методу БЭТ – низкотемпературной десорбции аргона по ГОСТ 13144-79.