

УДК 622.011.4 : 622'17+622.68

А.В. Архипов

**НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ГРУНТОВ
ХВОСТОХРАНИЛИЩ И ЗЛОШЛАКОТВАЛОВ
ПРИ РАЗРАБОТКЕ КАРЬЕРНЫМ
ГОРНОТРАНСПОРТНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ**

*Приведены результаты замеров погружным ударником У-1 прочности поверхностей хвостохранилищ Мурманской области, предназначенных для разработки карьерами.
Ключевые слова: хвостохранилища, прочность грунтов, инженерно-геологические свойства, карьер, горнотранспортное оборудование.*

Истошаемость коренных месторождений полезных ископаемых, непрерывное повышение цен на минеральное сырьё, огромные объёмы образованного и размещённого на дневной поверхности так называемого вторичного минерального или техногенного сырья всё больше и больше обращают внимание горнодобывающих компаний на вовлечение в эксплуатацию техногенного сырья, заскладированного в предыдущие годы и десятилетия в различного рода отвалы. Одной из групп таких отвалов являются гидроотвалы или хвостохранилища, предназначенные для приёма и хранения отходов обогащения. Отходы обогащения, особенно уложенные десять и более лет назад очень часто содержат комплекс полезных компонентов, которые не извлекались в прежние годы и потребность в которых возникла в настоящее время. Причём разрабатывать хвосты и извлекать из них эти полезные компоненты экономически оказалось очень целесообразным, что и предопределяет большое внимание к возможности разработки хвостохранилищ, как техногенных месторожде-

ний — новых источников минерально-сырьевой базы.

Не смотря на кажущуюся простоту, технология разработки хвостохранилищ обладает своей спецификой, организацией производства и условиями работы горнотранспортного оборудования. Опыт формирования и обслуживания хвостохранилищ, имеющих отстойники оборотного водоснабжения, большие пылящие поверхности пляжей, дамбы отвалования, показывает, что поверхности пляжей из тонкодисперстных хвостов не выдерживают перемещения и работу большегрузной техники, которая часто проваливается и буксует. Поэтому на обводнённых пляжах часто используют гусеничную технику высокой проходимости типа болотоходов.

На основании такого опыта геологоразведочные и проектные организации, готовящие проекты разведки и разработки хвостохранилищ, непременно задаются вопросом о несущей способности грунтов (хвостов) или прочности поверхности.

Горный институт Кольского научного центра РАН имеет многолетний опыт исследований и составле-

ния регламентов на разработку хвостохранилищ Мурманской области, в том числе и опыт исследований несущей способности грунтов этих хвостохранилищ.

Институтом были проведены измерения несущей способности грунтов на хвостохранилище апатит-нефелиновой фабрики № 2 (АНОФ-2) ОАО «Апатит», на хвостохранилищах ОАО «Ковдорский ГОК» (поле 1 и поле 2), на золошлакоохранилище ТЭЦ г. Апатиты. Полученные данные легли в основу регламентов и рекомендаций по выбору технологии и выемочно-транспортного оборудования при разработке названных техногенных месторождений. Одно из этих месторождений, поле 1 хвостохранилища ОАО «Ковдорский ГОК», успешно разрабатывается с 1995 г.

Для решения вопроса о выборе горнотранспортного оборудования при разработке карьером хвостохранилища следует оценить допустимые нагрузки на грунт в различных условиях и сравнить их с показателями удельного давления на грунт выбираемого оборудования. Допустимые нагрузки зависят от прочности материала и в инженерной геологии и практике дорожного строительства разработаны методы и приборы для определения показателей прочности сыпучих грунтов [1].

Одним из методов определения прочности сыпучих грунтов является метод зондирования с помощью погружаемых в грунт приборов (зондов) различной конструкции. Нами выбран метод погружения ударника У-1, разработанного институтом ДорНИИ [2].

Ударник У-1 состоит из трёх частей: наконечника длиной 30 см с нанесённым на нём делениями через 1 см, гири массой 2,5 кг для забивки

наконечника в грунт и направляющего штока для движения по нему гири, который является продолжением наконечника.

Для измерения показателя прочности грунта ударник У-1 устанавливается вертикально наконечником на грунт, поднимают гирю по направляющему штоку на высоту 50 см и отпускают её. Падая, гиря загоняет стержень наконечника в грунт.

Сбрасывание гири повторяется до тех пор, пока наконечник не погрузится в грунт сперва на 10 см и затем на 30 см. В процессе работы подсчитывается число ударов гирей при погружении на 10 см и далее с нарастающим итогом на 30 см.

По тарировочному графику из работы [2] определяют прочность грунта в месте замера на глубину до 10 см и 30 см. Показатель прочности грунта в данной точке определяется как среднеарифметическое значение этих двух замеров.

Методика полевых замеров с помощью ударника включала в себя не только обследование намытой уже поверхности хвостов, но и замеры со взятием проб грунта на глубину. Для чего на выбранном участке пляжа хвостохранилища организовывался с помощью бульдозера небольшой опытный карьер глубиной до 2—4,5 м с нетронутыми бульдозером площадками уступов, расположенными по глубине через 0,5-1 м. На каждой из площадок производились замеры ударником У-1 и отборы грунта в ненарушенном состоянии для исследования грансостава, влажности, плотности и других физических свойств. Кроме того, с помощью полевого прибора ВСВ-25 проводились сдвиговые испытания грунта.

Замеры несущей способности поверхностей вышеназванных хвосто-

хранилищ производился в разные годы, начиная с 1987 по 2007 гг. по мере поступления заказов. За это время изменялись характеристики объектов и сырья, цели и методики исследований. Поэтому для сравнения результатов необходимо кратко охарактеризовать объекты исследований и свойства грунтов.

Хвостохранилище ОАО «Ковдорский ГОК» является объектом по размещению хвостов обогащения комплексных бадделеит-апатит-магнетитовых руд Ковдорского месторождения, расположенного в четырёх километрах от г. Ковдор Мурманской области. Хвостохранилище расположено в долине ручья Можель и состоит из двух самостоятельных участков (полей). Первое поле расположено выше по долине, второе поле — ниже и отделено от первого поля разделительной дамбой. Выше первого поля расположено водохранилище, которое ранее служило отстойником оборотного водоснабжения, а теперь служит ёмкостью чистой воды от ручья Можель.

С 1962 по 1981 гг. в первое поле поступали хвосты мокрой магнитной сепарации и флотации руд без отделения апатита и бадделета. После заполнения ёмкости первого поля хвосты стали складироваться во второе поле, причём с девятилетних годов добываемые руды стали обогащаться как с извлечением железа, так и с извлечением апатита и бадделеита, при этом последние извлекались больше из хвостов первого поля. Поэтому качественные характеристики хвостов первого и второго поля несколько отличаются.

Хвосты как первого, так и второго поля представляют собой мелко тонкозернистые пески в основном класса менее 0,63 мм (более 99 %),

но хвосты второго поля несколько мельче. Так, содержание класса — 0,071 на первом поле составляло 20 %, а на втором поле — в среднем около 46 %.

Что касается хвостов хвостохранилища АНОФ-2, то по литологическому типу из паспортов фабрики они отнесены к мелким пескам, хотя по грансоставу выход класса менее 0,071 мм составляет 33,5 %, что говорит о тонкозернистости.

Материал отходов от сжатия углей на тепловых электростанциях (зол и шлаков) резко отличается по своим характеристикам от материалов хвостов обогащения руд. Основной областью применения зол и шлаков является изготовление золошлакоблоков для нужд строительства. В Мурманской области техногенным объектом с промышленными запасами золы могут считаться золошлакоотвалы ТЭЦ г. Апатиты.

Основные характеристики хвостов рассматриваемых хвостохранилищ и золошлакоотвала, влияющие на несущую способность поверхностей, представлены в табл. 1.

Представленные характеристики позволяют говорить об общности свойств хвостов флотационного обогащения руд за исключением золошлаковых материалов. В основном в хвостохранилищах размещены мелко и тонкозернистые материалы. Налицо влияние сегрегации на процесс размещения. Так с глубиной и ближе к отстойникам размещается более мелкий материал (пробы из разведочных скважин), ближе к дамбам, на которых расположены пульповоды, материал более крупных классов (пробы из опытных карьеров).

Плотности материала хвостов и даже золошлаков мало отличаются друг от друга.

Таблица 1

Основные физические и инженерногеологические характеристики хвостов и золошлаков

Хвостохранилище (гидроотвал), место взятия проб	Средневзвешенный диаметр частиц, мм	Содержание частиц класса 0–0,071 мм, %	Плотность в массиве, г/см ³		Естественная влажность, %	Полная влагоемкость, %	Пористость, %
			сухих	влажных			
АНОФ-2, ОАО «Апатит», пробоотборник фабрики	0,128	33,5	1,54	1,60	12,0	18,1	43-57
ОФ, ОАО «Ковдорский ГОК», первое поле (опытный карьер)	0,146	20,0	1,74	1,80	5-7	не опр.	не опр.
То же, второе поле (опытный карьер)	0,245	5,0		1,74	5,7	27,1	45,1
То же, второе поле (разведочные скважины)	0,100	45,8	1,78	1,75	не опр.	22,2	44,0
Золошлакоотвал АТЭЦ	0,080	до 91,0 (класс 0–0,063)	1,50	не опр.	16,2-22,6	не опр.	55,0

Естественная влажность хвостов в воздушно-сухом состоянии находится в пределах до 7 %. Показатель средней влажности хвостов хвостохранилища АНОФ-2 включает замеры по пробам, отобраным близко к акватории отстойников и имеющим влажность около 20 %.

Высокий показатель влажности золошлаков объясняется высокой пористостью материала, причём эта пористость измеренная методом полной влагоемкости, включает не только поры между частицами, но и поры внутри самих частиц.

Показатели пористости материала хвостов достаточно близки между собой. Известно, что от этого показателя в очень высокой степени зависит несущая способность сыпучего материала, так как пористость характеризует плотность упаковки материала, чем плотнее состояние поверхности,

тем большую нагрузку она может выдержать без деформации. Кстати, пористость песков пустыни Каракумы в естественном состоянии составляет 50 %, что ненамного превышает показатели табл. 1 [3]. По классификации, приведённой в работе [4], хвосты рассматриваемых хвостохранилищ можно отнести к мелким и пылеватым пескам, имеющим плотность сложения на границе между рыхлым состоянием и средней плотности.

Результаты натуральных замеров несущей способности (прочности) грунтов ударником У-1 на площадках опытных карьеров на хвостохранилищах представлены в табл. 2.

Зависимости прочностных характеристик от глубины представлены на рис. 1. Анализ проведенных экспериментов показал, что прочность поверхности площадок хвостов не зависит

Таблица 2

Результаты замеров прочности поверхности площадок опытных карьеров на хвостохранилищах

Глубина от поверхности, м	Средняя прочность грунта, МПа			
	поле 1; 120 м от уреза воды отстойника	поле 1; 400 м от уреза воды отстойника	поле 1; 195 м от уреза воды отстойника	АНОФ-2
0			0,32	0,48
-0,5	0,40	0,40	–	0,55
-1,0	0,45	0,49	0,17	0,67
-1,5	0,45	0,50	–	0,65
-2,0	0,47	0,45	0,28	0,65
-3,0			0,65	
-4,5			0,58	

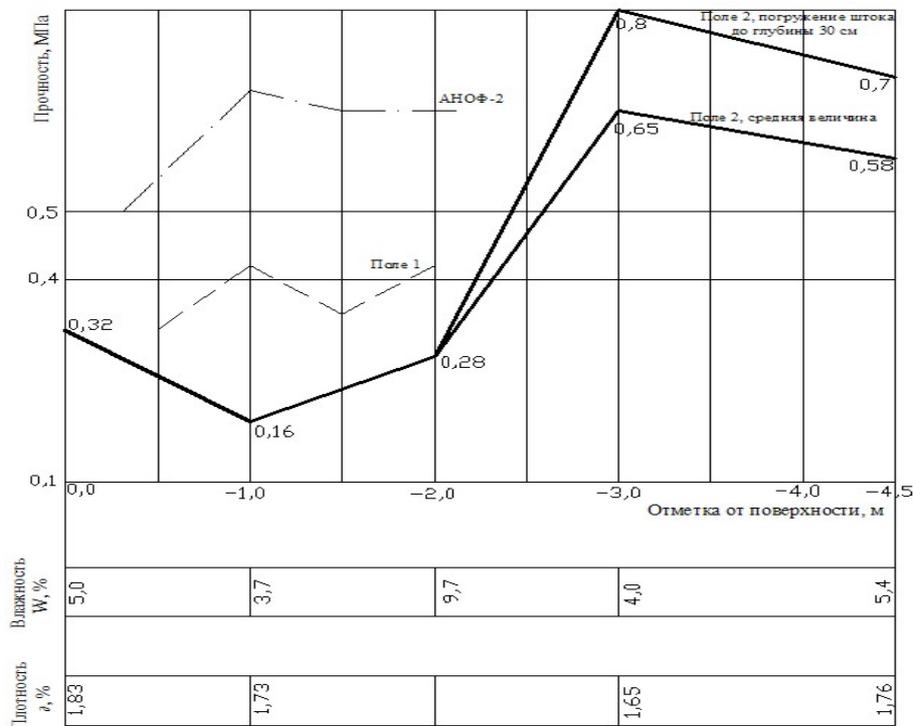


Рис. 1. Прочность поверхности хвостов по хвостохранилищам

— «Ковдорский ГОК», экспериментальный карьер на поле 2;
 - - - - - на поле 1
 - · - · - · - · пляжи АНОФ-2 ОАО «Апатит»

от глубины нахождения площадок в пределах 2 м, не зависит от влажности хвостов в пределах от 4 до 8—9 %, а в большей степени зависит от

грансостава и степени уплотнения грунта.

Средние значения прочности для хвостов первого поля находятся в

пределах 0,4—0,5 МПа, прочность хвостов АНОФ-2 оказалась выше, чем хвостов первого поля и составила 0,5—0,7 МПа. Средние значения прочности хвостов второго поля сравнимы с аналогичными показателями для АНОФ-2 особенно для глубины 3—4,5 м, что объясняется в большей степени плотностью массива на этой глубине. Малые значения прочности хвостов поля 2 на площадках до 2 м объясняются большой разрыхлённостью этого слоя из-за постоянного переноса хвостов за счёт дующих ветров.

Одновременно с замерами в опытных карьерах были выполнены замеры на существующих дорогах хвостохранилищ. Хорошо накатанная дорога с постоянным движением транспорта имели прочность 1,0–1,2 МПа, а на вспомогательных дорогах прочность грунта составляла не ниже 0,6 МПа. Эти данные подтверждают известный в теории дорожного строительства факт, по которому прочность земляных дорожных покрытий в процессе укатывания из-за понижения пористости массива возрастает в несколько раз.

Для исследования влияния акватории отстойника на прочностные характеристики пляжей действующих хвостохранилищ были проведены испытания несущей способности поверхности хвостохранилища поля 2 ударником У-1. Измерения проводились через каждые 10 м по направлению от пульповода до уреза воды отстойника на расстоянии 200 м, последний пункт замера размещался на расстоянии 1 м от уреза. От пульповода до расстояния 130 м прочность материала хвостов, в основном, колебалась от 0,26 до 0,32 МПа, ближе к урезу воды прочность поверхности постепенно снижалась до расстояния

180 м от пульповода до величины немногим более 0,1 МПа. На последних 20 м из-за большой насыщенности водой прибор уходил в грунт под собственным весом до необходимых по методике отметок.

Низкие показатели прочности поверхности пляжа до расстояния 130 м объясняются ветропереносом хвостов и значительным их разрыхлением, а далее к отстойнику на прочность поверхности оказывал влияние уровень воды самого отстойника. Однако, на расстоянии 50 м от уреза отстойника при необходимости передвигалась бульдозерная и погрузочная техника на гусеничном и колёсном ходу с деформацией колеи не глубже, чем на сухих участках пляжей, что говорит о несущей способности обводнённых участков пляжей достаточной для безопасного передвижения транспорта.

Опыт отработки хвостов на первом поле, которое не имеет отстойника показал, что в теле хвостов могут оставаться линзы с влажностью более 10—16 %, которые создают определённые трудности при их отработке карьерными экскаваторами.

В 2006 году Горным институтом по заказу была выполнена разработка горнотехнического регламента на отработку золошлаковых отходов Апатитской ТЭЦ. К этому моменту заказчик произвёл выемку промышленной пробы небольшим опытным карьером. Для выбора горнотранспортного оборудования были определены физико-механические свойства золошлаковой смеси, в том числе и проведены замеры несущей способности некоторых площадок карьера ударником У-1. Средние величины прочности и влажности были следующие.

Место замера	Средняя прочность грунта, МПа	Влажность в пробе, %
Естественная поверхность осушенного золошлакоотвала	0,35	24,4
Площадка забоя в опытном карьере	0,66	16,2
Поверхность дороги к забою	0,64	22,6
Обводнённая площадка у акватории отстойника	0,25	почти полное насыщение

Из работы [1] известно, что средние контактные удельные давления колеса на грунт в зависимости от давления воздуха в шинах имеют следующие значения:

Давление в шинах, МПа	0,3—0,45	0,5	0,8
Контактные давления, МПа	0,3—0,45	0,45	0,6

Современные карьерные автосамосвалы типа БелАЗ имеют давление в шинах и оказывают давление на грунт в следующих параметрах:

Грузоподъёмность а/самосвала, т	Давление в шинах, МПа	Давление на грунт, МПа
75	0,57	0,51
110	0,55	0,50
180	0,58	0,513

Что касается удельного давления на грунт гусеничных экскаваторов, то оно редко превышает значения 0,25 МПа.

Сравнение приведенных замеров и данных об удельных давлениях на хвосты позволяют сделать вывод о

безопасной работе большегрузной техники на хвостохранилищах флотационного обогащения руд, но в пределах влажности хвостов до 8—9 %. Многолетний опыт эксплуатации карьера на поле 1 доказал правомерность этого вывода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хархута Н.Я., Васильев Ю.М. Прочность, устойчивость и уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог. — М., «Транспорт», 1975. — 288 с.
2. Черкасов И.И. Механические свойства грунтов в дорожном строительстве. — М., «Транспорт», 1976. — 247 с.
3. Сергеев Е.М. Инженерная геология. М., Изд. Моск. универ., 1978. 384 с.
4. Механика грунтов, оснований и фундаменты: Учеб. Пособие М 55 для строит. спец. Вузов / С.Б. Ухов, В.В. Семёнов, В.В. Знаменский и др.; Под ред. С.Б. Ухова. — 2-е изд., перераб. и допол. — М.: Высш. шк., 2002. — 566 с. **ИЛАС**

Коротко об авторе

Архипов А.В. — старший научный сотрудник Горного института Кольского научного центра РАН, г. Апатиты, root@goi.kolasc.net.ru

