

**Крымская Елена Яковлевна**

Krimskaya Elena

Аспирант / post graduate

Российский государственный университет туризма и сервиса

Russian State University of Tourism and Service

E-Mail: [ekrymskaya@gmail.com](mailto:ekrymskaya@gmail.com)

**Чукалина Елена Михайловна**

Chukalina Elena

Российский государственный университет туризма и сервиса

Russian State University of Tourism and Service

Аспирант / post graduate

E-Mail: [chukalina@kntp.ru](mailto:chukalina@kntp.ru)

Машины, агрегаты и процессы коммунального хозяйства

## **Состав и структура золы из сточных осадков как разновидности грунта**

The composition and structure of ash from sewage sludge as a variety of soil

**Аннотация.** Термическая утилизация биошлама, с последующим образованием золы позволяет решать проблему сокращения площадей под депонирование биошлама, что может иметь большое значение с точки зрения экологии. В твердом состоянии зола образует легко разрушающиеся комки, причем пластичное неустойчивое состояние. Прочность на сжатие лабораторных образцов с золой из полигона оказывается выше прочности образцов из свежей золы для значительного диапазона условий. Исследования физико-химических свойств дорожных грунтов на основе свежей золы и золы со сроком хранения два года показали практическую возможность получения на основе золы (свежей и полигонной) дорожно - строительных и других материалов.

**Ключевые слова.** Зола, коммунальное хозяйство, прочность материалов, экология.

**Abstract.** Thermal utilization of biosludge, followed by the formation of ash can solve the problem of reducing the area under biosludge deposit that can be of great significance in terms of ecology. In solid ash form slumps easily destroyed, and in unstable state. The compressive strength of ash from laboratory samples are higher than the strength of samples of fresh ash for the wide range of conditions. Studies of the physical and chemical characteristic of road soils based on fresh ash and ash with a shelf life of two years have shown the possibility to obtain on the basis of ash (fresh and from polygons) the building and other materials.

**Keywords.** Ash, municipal services, strength of materials, ecology.

\*\*\*

Термическая утилизация биошлама, получаемого в результате переработки сточных осадков коммунального хозяйства, с последующим образованием золы позволяет решать проблему сокращения площадей под депонирование (захоронение) биошлама, что может иметь большое значение с точки зрения экологии. Однако, при этом возникает проблема утилизации золы и оптимальным решением проблемы утилизации осадка сточных вод для Санкт-Петербурга, образующегося на городских канализационных очистных сооружениях, стало его сжигание после предварительного обезвоживания [1,2]. Мировой опыт, а также рынок технологий и оборудования для сжигания осадка определил в качестве наиболее

перспективной технологию сжигания осадков в печах с «кипящим» слоем компании OTV SA (Франция). По этой технологии процесс горения может происходить автотермично, то есть за счет теплотворной способности самого осадка. Главным преимуществом печей сжигания является отсутствие движущихся механических деталей в зоне высоких температур, что значительно увеличивает ресурс работы оборудования. С другой стороны, высокая термическая инертность слоя песка сглаживает постоянные колебания теплотворной способности осадка. Перечисленные преимущества позволили обеспечить высокую стабильность полностью автоматизированного технологического процесса.

На заводах сжигания осадка очищенные газы должны соответствовать требованиям, регламентирующим условия сжигания и нормативы выбросов в атмосферу загрязняющих веществ. Наряду с этим, имеются более жесткие требования российского санитарного и природоохранного законодательства. Тепло от сжигания осадка идет на отопление здания и производственные нужды, а также используется для выработки электроэнергии благодаря наличию закрытого контура пара, турбины и генератора. В настоящее время Санкт-Петербург является единственным мегаполисом, в котором обезвоженный осадок канализационных очистных сооружений не складывается, а сжигается и вывозится на полигоны в виде золы. Внедрение технологии сжигания осадков является шагом на пути решения задачи по снижению негативного воздействия на окружающую среду.

По своему морфологическому описанию зола представляет относительно легкий, весьма пылящий, тонкодисперсный порошок однородной структуры, коричневого цвета, со слабым запахом аммиака в свежем виде. Свежая зола более темного и насыщенного цвета, тогда как зола из полигона со сроком хранения 2 года желтая и имеет выцветший, выгоревший оттенок. При увлажнении зола становится пластичной, затем текучей, при этом легко смывается. Химический состав свежей золы по данным, предоставленным ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» приведен в табл. 1.

**Таблица 1**

**Средний состав % масс. в пробе золы**

MgO	A <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	Fe	Cu	Zn	O
1,9	10,6	53,9	6,1	3,1	6,2	6,3	0,2	7,5	0,12	0,3	47

Эта проба представляет собой конгломерат мелких (1-2 до 10-50 мкм) частиц; основными компонентами пробы являются: SiO<sub>2</sub>, фосфаты железа, кальция; гематит, силикаты кальция, магния, железа, калия, алюминия, натрия. Насыпная плотность золы при транспортной влажности равна 0.74 г/см<sup>3</sup>. Максимальная плотность, полученная на приборе стандартного уплотнения при 40 ударах стандартного груза и влажности 20% составила 1.64 г/см<sup>3</sup>. Близкие к этой величине максимальные плотности получаются и при уплотнении зологрунтов. При этом зола обладает однородностью состава и мономерностью структуры (табл. 2).

**Таблица 2**

**Распределение частиц по крупности, полученное методом трансект**

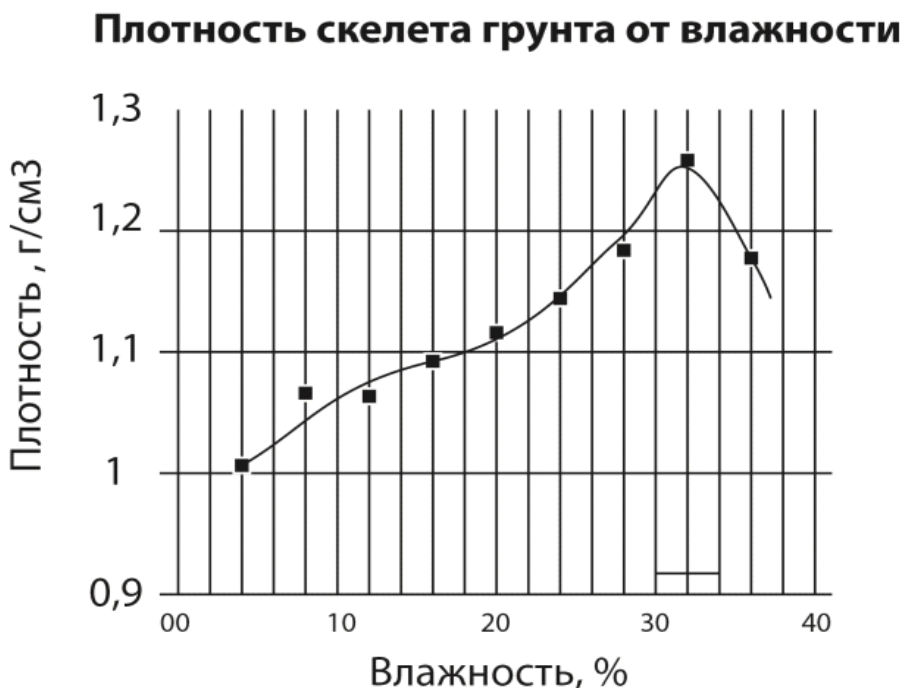
Цвет	Содержание %	Макс, размер	Идентификация
Темные	20-30%	0.1 мм	Песок, пыль
Коричневые	20-25%	0.01 мм	Пыль
Желтые	50-60%	0.005 мм	Пыль, глина

По зерновому составу зола относится к тяжелым пылеватым суглинкам, малопригодным для сооружения земляного полотна. При увлажнении зола имеет многофазные состояния: жидко - текучее, пластичное, тугопластичное, твердое. В твердом состоянии зола образует легко разрушающиеся комки, причем пластичное состояние золы неустойчивое, что можно объяснить существенной мономерностью структуры. Из этого можно сделать вывод о недопустимости использования золы в чистом или несвязанном виде в дорожном строительстве: приложение внешних нагрузок в реальных условиях будут приводить к переувлажнению и разрушению верхней поверхности слоя содержащего не связанную золу, нижний же уровень слоя будет постоянно подпитываться капиллярной водой [3]. Наличие в составе золы фосфатов железа, кальция, силикатов кальция, магния, железа, калия, алюминия, натрия позволяет предположить, что могут быть получены устойчивые связи золы с глиной [4].

Принято считать оптимальную влажность грунта как

$W_{\text{опт}} = 0.6W_{\text{T}}$ , где  $W_{\text{T}}$  - влажность на границе между состояниями текучести и раскатываемости.

Результаты определения оптимальной влажности представлены на рис.1. Ввиду того, что использовалась зола естественной влажности 1,35% , следует ее добавить к результату. Таким образом  $W_{\text{опт}} = 33,35 \pm 2\%$ .



**Рис. 1.** Определение оптимальной влажности золы при работе уплотнения 25 ударов

Зная оптимальную влажность, можно определить расчетную верхнюю границу пластичности грунта по формуле

$$W_{\text{опт}} = 0,6 * W_{\text{T}}, \text{ откуда } W_{\text{T}} = W_{\text{опт}} / 0,6,$$

где  $W_{\text{T}}$  - влажность на границе текучести.

Для золы граница текучести равна  $W_{\text{T}} = 33,35\% / 0,6 = 55,58\%$  .

Ввиду того, что исследуется новый материал, целесообразно проверить полученную величину пластичности золы по ГОСТ 5183, 5184-64. Ниже приведена таблица 19

классификации глинистых грунтов по зерновому составу и пластичности для произвольно выбранных образцов из большой совокупности проведенных экспериментов.

Таблица 3. Классификации глинистых грунтов по зерновому составу и пластичности

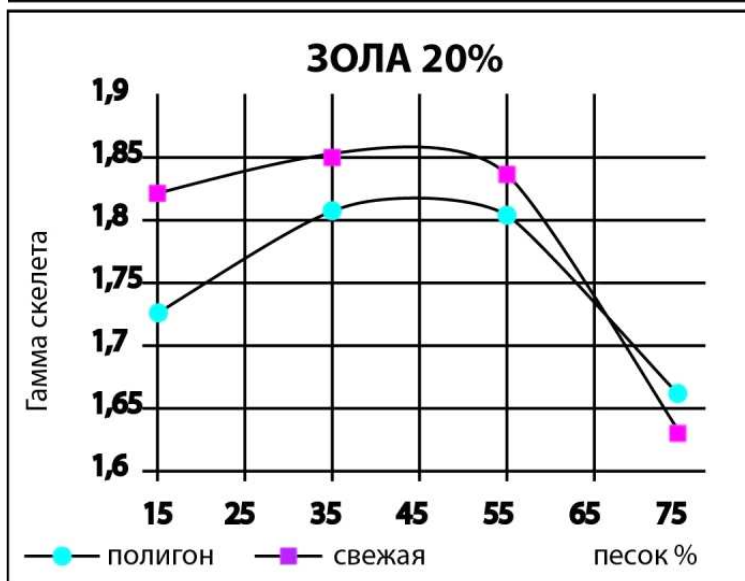
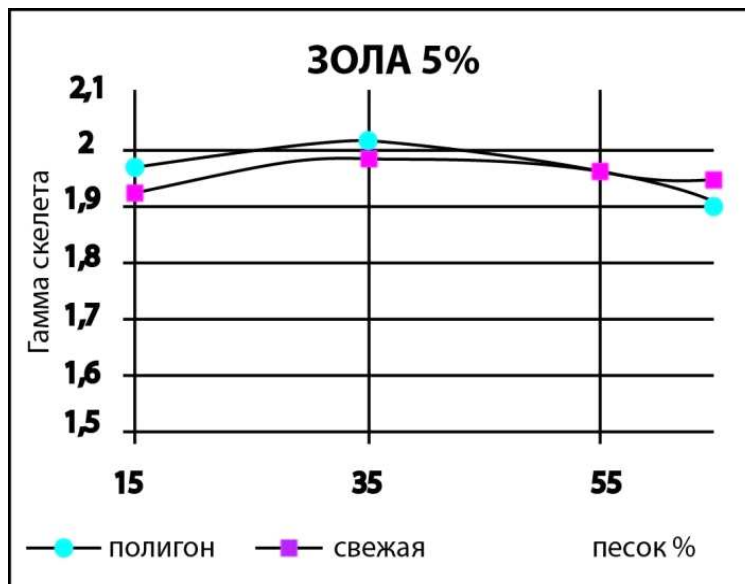
№ бюксы	$M_6$	$M_{6вг}$	$M_{вг}$	$M_{6сх}$	$M_{сх}$	$M_в$	W	Фактор	Результат	
1	14,83	19,1	4,27	17,515	2,685	1,585	0,590317	Wтекуч	Пластичность	
2	14,61	18,36	3,75	17,185	2,575	1,175	0,456311	Wраскат	0,13400	
3	14,31	19,62	5,31	17,61	3,3	2,01	0,609091	Wтекуч	Пластичность	
4	15	20,52	5,52	18,72	3,72	1,8	0,483871	Wраскат	0,12521	
		Показатели пластичности Wп:								
	минимальный			Средний			максимальный			
	10,64			12,96			15,27			

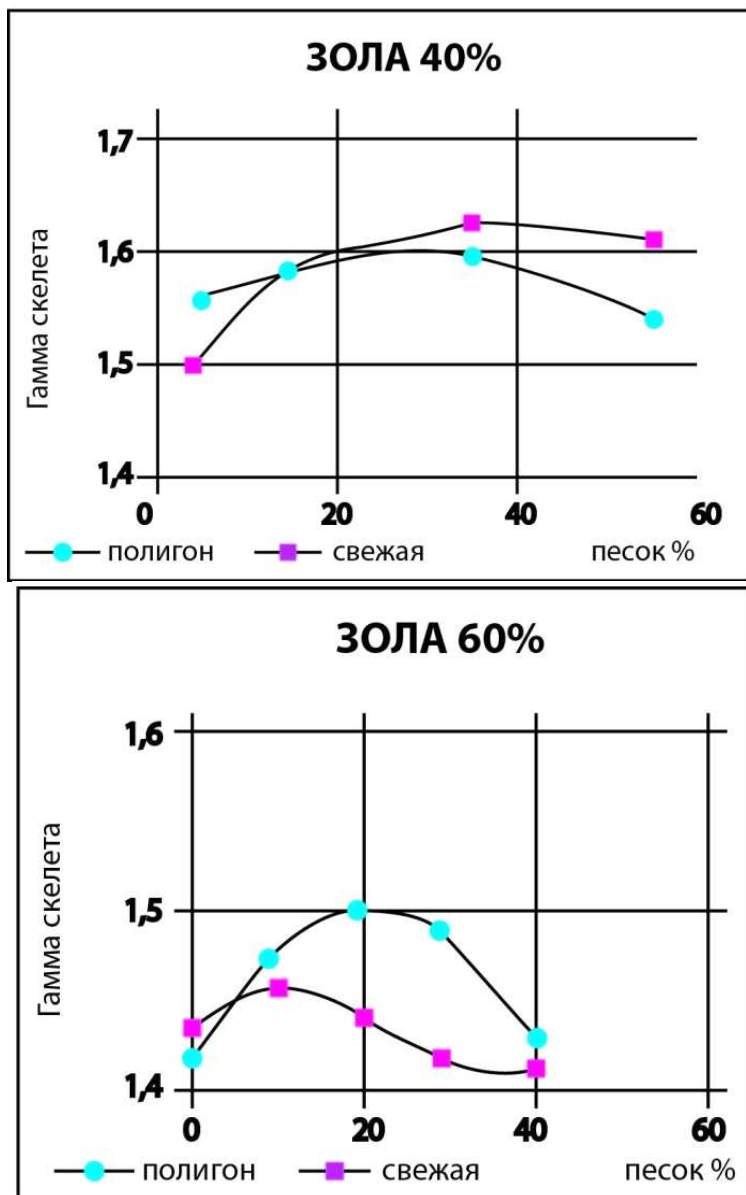
Здесь  $M_6$  масса пустой бюксы,  $M_{6вг}$  масса бюксы с влажным грунтом,  $M_{вг}$  масса влажного грунта,  $M_{6сх}$  масса бюксы с сухим грунтом,  $M_{сх}$  масса сухого грунта,  $M_в$  масса воды, W - влажность = (Вода)/Масса сух. Грунта.

Сравнивая результаты, полученные для золы прямым ( $W_t=59-61\%$ ) и расчетным путем ( $W_t=55,58\%$ ), можно констатировать их удовлетворительную сходимость. Однако более объективными и достоверными следует считать результаты, полученные прямыми измерениями.

По всем рассмотренным методикам классификации зола является тяжелым пылеватым суглинком. Из графиков (рис. 2), следует, что плотность упаковки частиц грунта в варианте со свежей золой лучше для всего диапазона процентного содержания золы (5-60%) и всех возможных соотношений глины и песка в грунте. Поскольку плотность упаковки частиц грунта обыкновенно положительно коррелирует с его прочностью, однако прямые исследования прочности на сжатие образцов свидетельствуют, что эти взаимозависимости не однозначны. Исследуемая зола обладает некими свойствами, в результате которых прочность на сжатие лабораторных образцов с золой из полигона оказывается выше прочности образцов из свежей золы для значительного диапазона условий.

Изменение объемной плотности грунта (гамма скелета грунта) от содержания песка для свежей золы и после 2 лет хранения на полигоне.



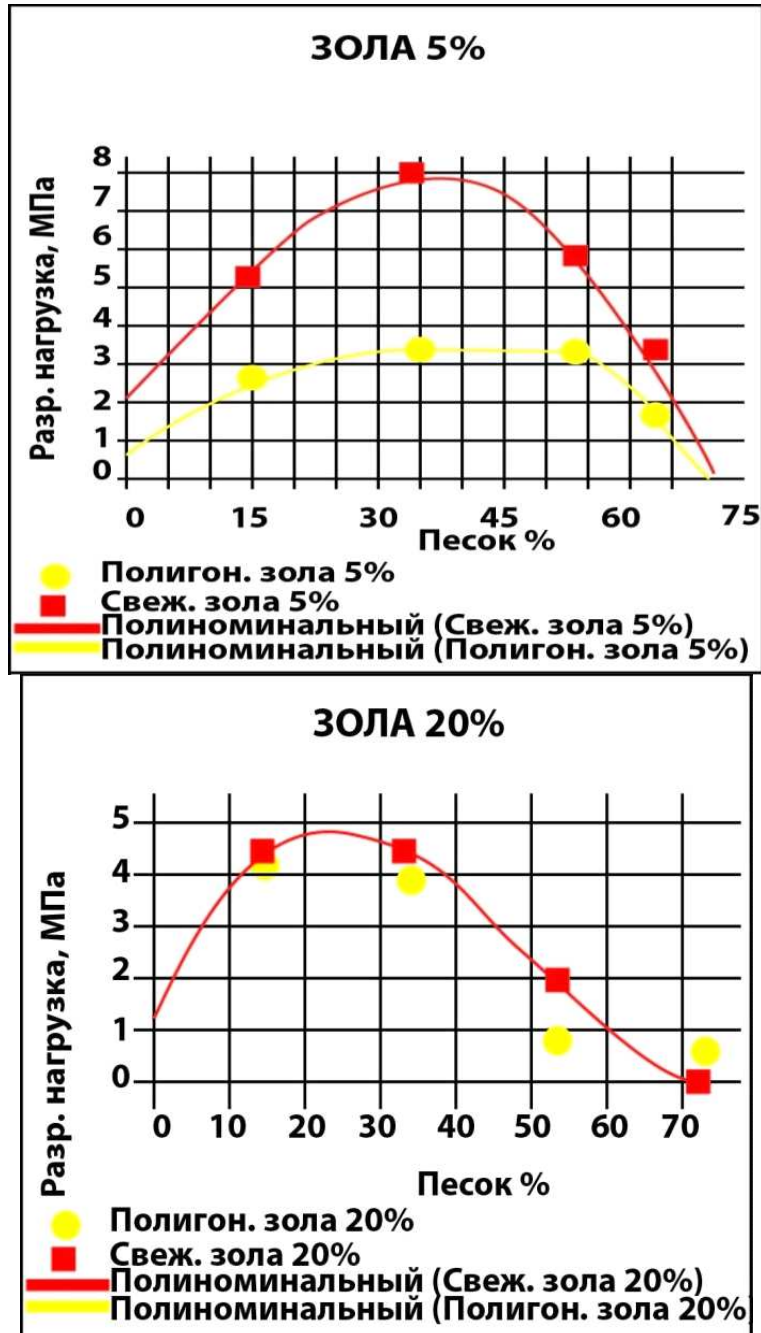


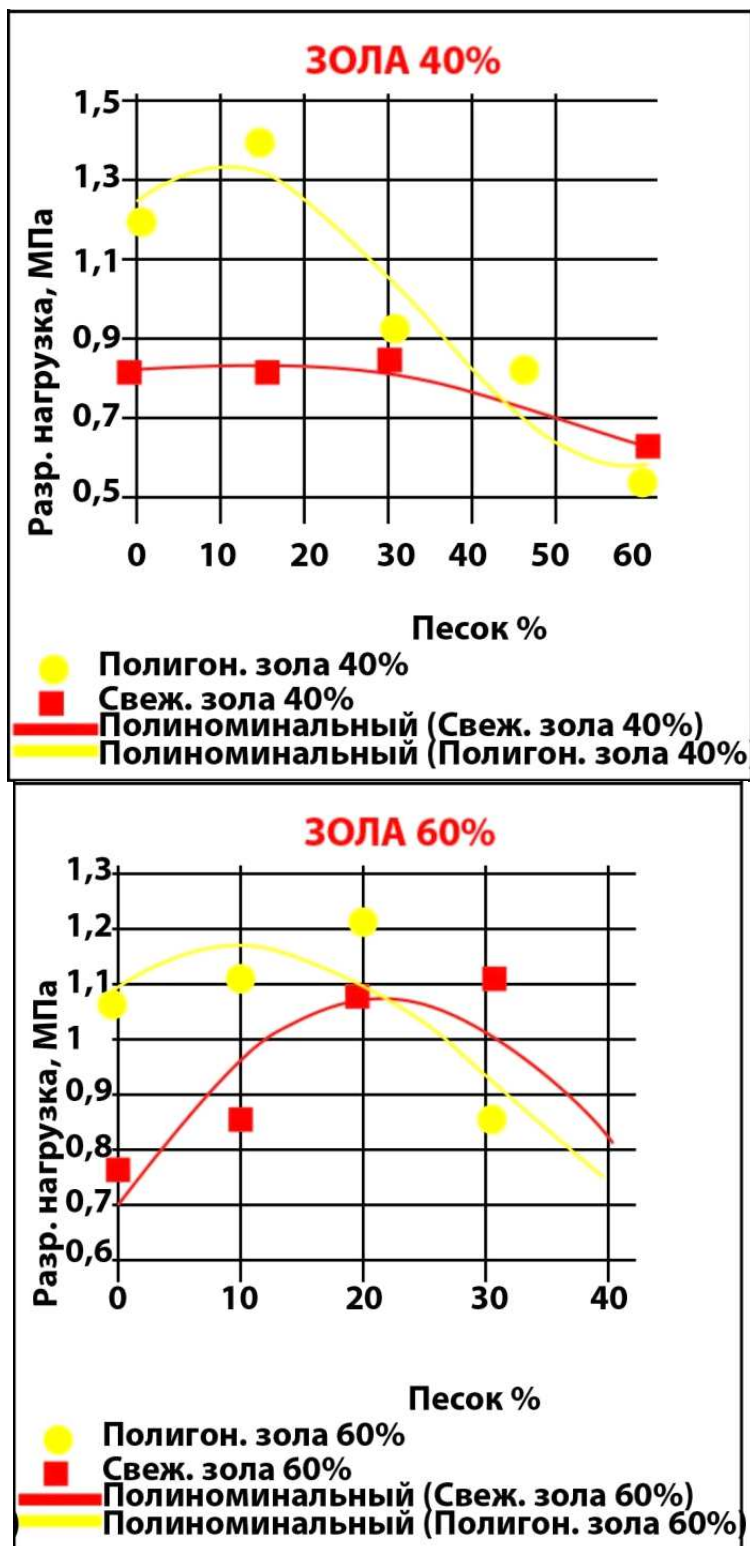
**Рис. 2.** Влияние процентного содержания и вида золы на объемную плотность грунта

Изменение прочности на сжатие лабораторных образцов от вида и процентного содержания золы. Красный цвет графиков - для свежей золы, желтый - для полигонной.

Аналогичным образом можно проследить влияние содержания золы при постоянном содержании песка.

Из рисунка 3 следует, что при относительно небольшом содержании золы (5-20%) грунт со свежей золой с более плотной упаковкой дает и более высокую прочность, однако по мере увеличения содержания золы в грунте до 20% эти значения уравниваются и при дальнейшем росте удельного содержания золы более прочным оказывается грунт с золой из полигона. Эта тенденция сохраняется вплоть до 60% -го содержания золы, когда преимущество полигонной золы сохраняется только при условии, если доля глины составляет не менее 80% от состава грунта (или песка до 20 % в составе песок - глина).





*Рис. 3. Влияние вида и процентного содержания золы на прочность грунта при сжатии*

Все лабораторные образцы в рассматриваемой серии оказались не водостойкими, поэтому в условиях эксплуатации подвергаются разрушению. В этой связи необходимы поиски вяжущих добавок, обеспечивающих водостойкость, таких как жидкое стекло, электролиты и цемент.

Проведенные исследования физико-химических свойств дорожных грунтов на основе свежей золы и золы со сроком хранения два года показали практическую возможность



получения на основе золы (свежей и полигонной) дорожно - строительных и других материалов с заданными прочностными и водными свойствами [5].

Как показали лабораторные исследования, хорошие результаты в обеспечении водостойкости зологрунтов и золоматериалов дают битумо - цементные и битумоизвестковые добавки. Поэтому требуется проведение длительных эксплуатационных исследований при различных условиях нагружения. Для промышленного производства зологрунтов и других золоматериалов возможно использовать традиционные технологии создания строительных смесей, что делает принципиально возможным получение экономических оценок этих процессов уже на данной стадии исследований. В настоящее время проходит опытно-промышленная проверка новых материалов [6], которая требует определенного времени и позволяет из всех рассматриваемых вариантов выбрать наиболее перспективные.

*Работа выполняется при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках государственного контракта по Федеральной целевой программе «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы».*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Е.Г. Гладков. Исследования золы, получаемой от сжигания осадков сточных вод. ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», 2003 г.
2. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения
3. СанПиН 2.1.7.573 – 96 Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения.
4. С.Д. Беляева, Л.Л. Гольдфарб, Л.И. Гюнтер. ЗАО НПФ «БИФАР»: Опыт сертификации осадков сточных вод. «Экология производства» № 4 за 2005 г.
5. Крымская Е.Я. Условия использования осадков сточных вод предприятий коммунального хозяйства после переработки // Инновационная экономика. №3 (8). 2012.
6. Крымская Е.Я., Чукалина Е. М. Инновационные материалы из очистных отходов коммунальных стоков. Международная научно-практическая конференция «Инновации в сервисе: тенденции и перспективы развития малого бизнеса». Ростов-на-Дону. 2012.