

УДК 622.361-027.31:661.152.3

**ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ,  
ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ГЛИНОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ КАЛИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**Е.В. ЛАЕВСКАЯ; д-р хим. наук Е.В. ВОРОБЬЁВА;**  
**канд. хим. наук Д.В. ЧЕРЕДНИЧЕНКО; канд. хим. наук П.Д. ВОРОБЬЁВ**  
**(Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси, Минск);**  
**канд. техн. наук, доц. А.А. КОЛОГРИВКО**  
**(Белорусский национальный технический университет, Минск)**

*Представлены результаты исследований физико-механических свойств новых материалов, полученных из глинисто-солевых шламов ОАО «Беларуськалий», свидетельствующие об упрочнении структуры материала в процессе хранения и сушки в связи с образованием полимерных и кристаллизационных контактов между глинистыми частицами. Даны новые представления об изменении физико-механических свойств отходов обогащения калийного производства, имеющих существенное практическое значение для прогнозирования развития хвостового хозяйства калийных предприятий и, как следствие, снижение техногенной нагрузки в горнопромышленном районе.*

**Ключевые слова:** глиносодержащие отходы, продукт глинистый минерализованный, глинисто-солевые шламы, физико-механические свойства пород.

**Введение.** Глиносодержащие отходы калийного производства – глинисто-солевые шламы (ГСШ) – образуются в процессе обогащения сильвинитовой руды в виде суспензии глины в солевом растворе и складированы в шламохранилищах [1]. Традиционный подход к проблеме складирования и изоляции ГСШ состоит в том, чтобы задержать твердые отходы и рассол на поверхности земли внутри системы ограждающих дамб с минимизацией изъятия земельных ресурсов и хранить отходы калийного производства в пределах специально подготовленной для этого территории [2].

Шламохранилища при воздействии на них атмосферных осадков, ветровой и водной эрозии служат источниками образования и прогрессирующего накопления избыточных, не используемых в технологии, концентрированных солевых рассолов, что не исключает возможности химического загрязнения подземных вод с тенденцией расширения ареалов их засоления по площади, в подстилающие грунты и водоносные горизонты. Прогрессирующее воздействие техногенеза на геологическую среду способствует выводу из оборота значительных площадей сельскохозяйственных земель [2; 3]. Здесь важно заметить, что фильтрация рассолов из шламохранилищ калийного производства, в том числе ложе которых не обустроено противоточным экраном, носит затухающий характер. Это связано с формированием уплотненного слоя ГСШ, обладающих меньшими фильтрационными свойствами, чем основания шламохранилищ, вследствие дифференциации твердой и жидкой фаз на стадии их осаждения и последующего уплотнения осадка и происходящих физико-химических процессов, сопровождающихся кристаллизацией галита из насыщенного рассола на поверхности глинистых частиц, служащих центрами кристаллизации в результате его перенасыщенности [4; 5].

По нашему мнению, дальнейшие исследования по обеспечению геоэкологической безопасности эксплуатации шламохранилищ в части предотвращения фильтрации рассолов и диффузионного проникновения солей в подстилающие грунты и грунтовые воды и недопущения тем самым засоления геологической среды в районах размещения шламохранилищ должны исходить из учета появления новых условий в связи с подработкой шламохранилищ. Так, для ускорения формирования рассолонепроницаемого глинисто-солевого слоя необходимо устройство противоточного экрана из полиэтиленовой пленки в основании строящегося шламохранилища с подачей на первом этапе глинисто-солевой смеси, жидкая фаза которой имеет минерализацию не менее 250 г/л. При таком составе в основании осажденной толщи шламов будет сформирован защитный экран, который в процессе эксплуатации пленки будет служить барьером на пути фильтрации рассолов и диффузии [6].

Снижение геоэкологической нагрузки в районе работ калийных предприятий в процессе обогащения калийных руд достигается за счет разработки новых способов и технологий складирования отходов обогащения при организации хвостовых хозяйств, позволяющих сократить рост площадей, используемых для размещения этих отходов. Так, снизить техногенную нагрузку можно за счет использования отработанных шламохранилищ в качестве оснований при расширении солеотвалов и, как следствие, уменьшения изъятия дополнительных площадей [7].

Другим направлением решения проблемы накопления отходов калийного производства является их переработка и утилизация. С позиций ресурсосбережения и рационального природопользования вопросы переработки и использования отходов калийного производства требуют не менее серьезного под-

хода, чем основного продукта производства (калийных удобрений). Необходима разработка новых технологий, дополняющих основное производство калийных удобрений и позволяющих переработать отходы в целевые продукты.

Правильное представление об изменении физико-механических свойств отходов обогащения калийного производства имеет существенное практическое значение для прогнозирования развития хвостового хозяйства калийных предприятий и, как следствие, снижения техногенеза в районе ведения работ по складированию отходов.

Авторами [8] разработан способ переработки глиносодержащих отходов калийного производства, основанный на разделении шламов на жидкую (солевою) и твердую (глинистую) фазы. Фазовое разделение проводят путем флокуляции шламов полимером с последующим механическим «отжимом» сфлокулированной шламовой суспензии и отделением солевого раствора. Полученный после отделения солевого раствора продукт, зарегистрированный как продукт глинистый минерализованный (ПГМ), ТУ ВУ 600122610.003-2015, содержит 75...80 масс. % глинистых минералов и 20...25 масс. % водорастворимых солей (хлоридов калия и натрия). Влажность ПГМ составляет 28...30%.

Токсиколого-гигиеническими исследованиями установлено, что применение новых продуктов ПГМ, полученных после переработки глиносодержащих отходов калийного производства, не представляет экологической опасности. Так, ПГМ относится к IV классу опасности (малоопасные вещества), содержание мышьяка, ртути, кадмия не обнаружено, свинца и природных радионуклидов незначительно и соответствует уровню природных источников (почв).

В ПГМ содержится полимер (0,1...0,2 масс. %), введенный на стадии флокуляции глинистой дисперсии. При флокуляции частицы глины контактируют через адсорбированные макромолекулы полимера и агрегируют в крупные флокулы. При последующем отжиме флокулированной глинистой дисперсии и удалении из нее жидкой фазы контакты между глинистыми частицами сохраняются и упрочняются. Благодаря присутствию полимера структура и свойства нового ПГМ, полученного после флокуляции ГСШ и отделения жидкой солевой фазы, существенно отличаются от физико-механических свойств исходного ГСШ, который не удается перевести в гранулированную форму. Легко гранулирующийся ПГМ позволяет перевести этот продукт в форму, удобную для хранения, транспортирования и использования.

Благодаря высокому содержанию глины ПГМ может быть использован как глиносодержащий материал для устройства оснований противофильтрационных экранов шламохранилищ калийного производства, противофильтрационных экранов на полигонах захоронения твердых коммунальных отходов, противопожарных барьеров лесным пожарам, насыпей и слоев оснований в конструкциях лесных автомобильных дорог, рекультивации карьеров путем заполнения части выработанного пространства глинистым материалом.

При оценке направлений использования новых материалов необходимо объективно оценить их физико-механические свойства и геоэкологическую безопасность. В связи с этим целью представленной работы являлось исследование физико-механических свойств новых материалов, полученных из глиносодержащих отходов калийного производства (глинисто-солевых шламов) ОАО «Беларуськалий».

**Основная часть.** Исследованы образцы ПГМ, полученные в лабораторных условиях из глиносодержащих отходов калийного производства следующим способом. Суспензию ГСШ массой 120...150 г обрабатывали раствором полиакриламидного флокулянта с концентрацией 0,5%, перемешивали на мешалке при 350 об/мин в течение определенного времени и отделяли жидкую фазу на лабораторном фильтрующем оборудовании (ленточном фильтр-прессе). Для определения влажности и структурно-механических свойств использовали параллельно по 7 образцов ПГМ, полученных после флокуляции и отделения солевого раствора. В работе использовали также образцы исходного ГСШ без флокуляции с фильтрацией на ситах.

В промышленных условиях ОАО «Беларуськалий» продукт ПГМ получают аналогичным способом. Так, ГСШ обрабатывают раствором полиакриламидного флокулянта и отделяют жидкую солевую фазу на промышленном ленточном фильтре-прессе.

Влажность образца определяли высушиванием образцов при температуре 105...107 °С до постоянной массы. Учитывая, что каждой плотности рассола, находящегося в порках различных солесодержащих грунтов и шламов, соответствует определенная минерализация, для расчета влажности использовали следующую формулу:

$$W = \frac{(1 + K) \cdot m_b}{m_{гп} - K \cdot m_b} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $K$  – коэффициент, соответствующий определенной плотности и минерализации рассола в естественных условиях (для отходов калийного производства  $K = 0,414$ );  $m_{гп}$  – масса скелета грунта, г;  $m_b$  – масса испарившейся воды, г.

Для изучения изменения влажности ПГМ на открытом воздухе использован образец весом 7,2 кг с влажностью 29,7%, который хранился в помещении со средней влажностью воздуха  $W_{cp} \approx 30\%$  и температурой  $t_{cp} \approx 22^\circ\text{C}$ .

Механические свойства как естественных грунтов (пород), так и техногенных образований (шламов) характеризуют их способность воспринимать нагрузки. Различают показатели деформационных свойств (модуль деформации, коэффициент сжимаемости, коэффициент бокового давления) и прочностных свойств (угол внутреннего трения, сцепление), по которым определяют несущую способность естественного или техногенного грунта.

Для определения характеристик прочности и деформируемости грунтов использовали специальные лабораторные методы. Деформационные свойства ПГМ определяли в компрессионном приборе (одометре) с использованием стальных колец, не допускающих бокового расширения грунта. Нагружение испытываемых образцов проводили равномерно, без ударов ступенями нагрузки.

По результатам испытаний определяли такие характеристики:

- величину абсолютной деформации образца  $\Delta h_i$  (мм) с точностью до 0,01 (среднее арифметическое значение показаний индикаторов  $n_i$  и  $n_0$  за вычетом поправки на деформацию компрессионного прибора  $m$ );
- величину относительной деформации образца  $\varepsilon$  с точностью 0,001 при соответствующих значениях давления  $P_i$  из выражения

$$\varepsilon = \frac{\Delta h_i}{h} = \frac{(n_i - n_0) - m}{h}. \quad (2)$$

Коэффициент пористости  $e$  по усредненным значениям относительных деформаций  $\varepsilon'$  при любом значении  $P_i$  вычисляли по формуле

$$e_i = e_0 - \varepsilon' (1 + e_0), \quad (3)$$

где  $e_0$  – начальный коэффициент пористости грунта.

Коэффициенты уплотнения  $a$  в интервале давлений  $P_i$  и  $P_{i+1}$  рассчитывали следующим образом:

$$a = \frac{e_i - e_{i+1}}{P_{i+1} - P_i}, \quad (4)$$

где  $e_i$  и  $e_{i+1}$  – коэффициенты пористости, соответствующие давлениям  $P_i$  и  $P_{i+1}$ .

Модуль деформации образца  $E$  (МПа) в интервале давлений  $P_i \dots P_{i+1}$  определяли по формулам (5) и (6):

$$E = \frac{P_{i+1} - P_i}{\varepsilon_{i+1} - \varepsilon_i} \cdot \beta; \quad (5)$$

$$E = \frac{1 + e_i}{a} \cdot \beta, \quad (6)$$

где  $\varepsilon_i$  и  $\varepsilon_{i+1}$  – величины относительного сжатия, соответствующие давлениям  $P_i$  и  $P_{i+1}$ ;  $a$  – коэффициент уплотнения, соответствующий интервалу давлений от  $P_i$  до  $P_{i+1}$ ;  $\beta$  – поправка, учитывающая отсутствие поперечного расширения грунта в компрессионном приборе.

Определение прочностных свойств полученных образцов ПГМ проводили методом одноплоскостного среза в срезном приборе с фиксированной плоскостью среза путем сдвига одной части образца относительно другой его части касательной нагрузкой при одновременном нагружении образца нагрузкой, нормальной к плоскости среза. Соппротивление грунта срезу определялось как предельное среднее касательное напряжение, при котором образец грунта срезался по фиксированной плоскости при заданном нормальном напряжении.

Характеристики сопротивления срезу  $\tau$ , угла внутреннего трения  $\varphi$  и сцепления  $C$  определяли по результатам трех испытаний при различных значениях нормального напряжения. По измеренным значениям касательной и нормальной нагрузок по формулам (7) и (8) вычисляли касательные и нормальные напряжения  $\tau$  и  $\sigma$  (МПа):

$$\tau = \frac{Q}{S}; \quad (7)$$

$$\sigma = \frac{F}{S}, \quad (8)$$

где  $Q$  и  $F$  – соответственно касательная и нормальная силы к плоскости среза, кН;  $S$  – площадь среза, см<sup>2</sup>.

Угол внутреннего трения  $\varphi$  и сцепление  $C$  определяли как параметры линейной зависимости:

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + C. \quad (9)$$

Угол внутреннего трения  $\varphi$  и сцепление  $C$  рассчитывали по формулам (10) и (11).

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{n \sum \tau_i \sigma_i - \sum \tau_i \sum \sigma_i}{n \sum (\sigma_i)^2 - (\sum \sigma_i)^2}, \quad (10)$$

$$C = \frac{\sum \tau_i \sum \sigma_i^2 - \sum \sigma_i \sum \tau_i \sigma_i}{n \sum (\sigma_i)^2 - (\sum \sigma_i)^2}, \quad (11)$$

где  $\tau_i$  – опытные сопротивления срезу, найденные при различных значениях  $\sigma_i$ ;  $n$  – число определений.

Для изучения сжимаемости материала ПГМ использовали центрифугу. Исследуемый образец подвергали действию центробежных сил, интенсивность которых регулировали скоростью вращения центрифуги. Распределение нагрузки и напряжения в модельном образце идентично действию гравитационных сил. Сравнительный анализ способности материала к уплотнению и поведения материала в поле действия центробежных сил позволяет смоделировать процессы уплотнения тех же материалов в статических условиях под действием нагрузки с постепенным её увеличением и времени уплотнения.

Образцы одинаковой массы загружали в цилиндрические формы и подвергали сжатию в центрифуге. Время сжатия при максимальной нагрузке выбирали как соответствующее максимальной деформации образца. При более продолжительном воздействии сжимаемость образца практически не увеличивалась. Для каждого из образцов проводилось не менее 5-ти параллельных опытов. Результаты опытов усреднялись.

Ниже приведены результаты исследования ПГМ, которые характеризуют физико-механические свойства и структурные особенности нового материала.

В связи с тем, что в состав ПГМ входит 20...25 масс. % водорастворимых солей (хлоридов калия и натрия), при определении влажности учитывали коэффициент минерализации исследуемого материала, используемый для характеристики солесодержащих грунтов.

При высушивании ПГМ из раствора солей, находящихся в материале, выпаривается вода, а соль кристаллизуется в порах, что приводит к изменению плотности и пористости образца и его весовой влажности, от которых зависит достоверное определение прочностных показателей. В таблице 1 приведены показатели влажности, сцепления и угла внутреннего трения образцов ПГМ.

Таблица 1 – Показатели влажности, сцепления и угла внутреннего трения образцов ПГМ

Показатель	Номер образца							Среднее значение показателя
	1	2	3	4	5	6	7	
Влажность $W$ , %	28,8	30,1	30,4	29,0	29,5	30,4	30,0	29,7
Сцепление $C$ , кПа	7	6	7	8	7	7	9	7,3
Угол внутреннего трения $\varphi$ , град	19	23	25	20	22	21	24	22

Результаты исследования изменения влажности ПГМ при хранении в помещении со средней влажностью воздуха 30% и температурой 22 °С за 70 дней показали, что в течение первых 35-ти суток влажность ПГМ снизилась более чем в два раза и стабилизировалась на уровне 10...12% через 40 суток (рис. 1).

При хранении образцов ПГМ и снижении их влажности до 10...15 % пористость ПГМ снизилась, а плотность увеличилась на 10% (табл. 2).

Таблица 2 – Зависимость физико-механических свойств образцов ПГМ от влажности

Влажность, $W$ , %	Плотность ПГМ, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Коэффициент пористости	Сопротивление вращательному срезу, $\tau$ , кПа	Сцепление, $C$ , кПа	Угол внутреннего трения, $\varphi$ , град	Модуль деформации, $E$ , МПа
25...30	1,72	1,33	1,6	7,3	22	8,3
20...25	1,78	1,25	2,8	7,9	23,8	8,5
15...20	1,82	1,15	3,2	8,4	25,2	9,0
10...15	1,89	1,1	4,0	9,6	28,6	9,3

При хранении ПГМ на открытом воздухе в течение 40 суток и снижении влажности в 2...3 раза наблюдается изменение показателей, характеризующих структурные изменения материала. В частности, повышение сопротивления вращательному срезу в 2,5 раза; увеличение угла внутреннего трения в 1,3 раза и модуля деформации на 12...14 %, что свидетельствует об упрочнении структуры ПГМ и усилении взаимодействия между частицами.

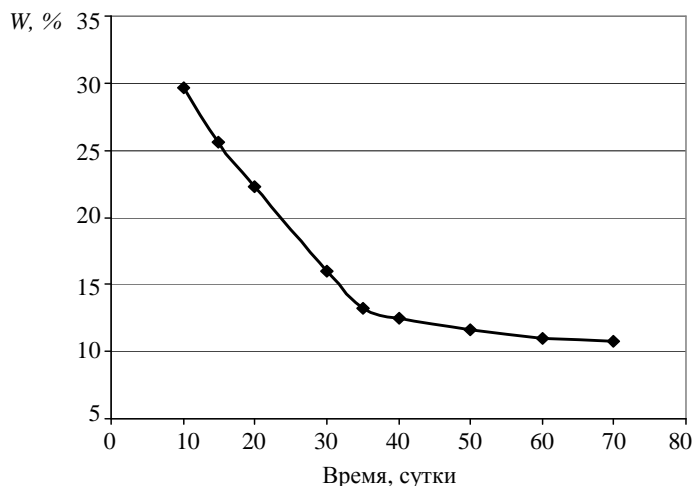


Рисунок 1. – Изменение влажности ПГМ при хранении в помещении

Частицы глины могут выступать в роли связки между кристаллическими сростками хлористого калия, что видно на фотоснимках (рис. 2, а, б). В свою очередь, соль, которая кристаллизуется в местах контактов глины, скрепляет частицы. Глина и соль в смеси, взаимно действуя как «шипы», упрочняют структуру, и усилие сдвига, необходимое для разрушения структуры, увеличивается. Макромолекулы полимера, введенного в глинисто-солевой шлам для флокуляции, связывают глинистые частицы, что улучшает прочностные свойства материала при хранении.



а



б

а – увеличение в 50 раз; б – увеличение в 20 раз

Рисунок 2. – Продукт глинистый минерализованный

Физико-механические свойства ПГМ, полученного после переработки ГСШ, а именно после флокуляции и отделения солевого раствора, существенно отличаются от свойств исходных ГСШ при одинаковой влажности.

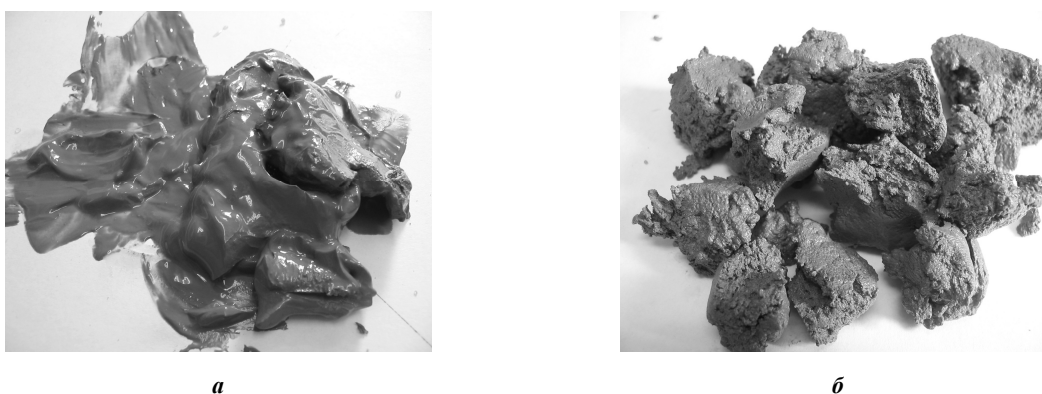
Как следует из данных, представленных в таблице 3, при одинаковой влажности (29,7%) модуль деформации ПГМ выше в 1,4 раза, сцепление в 1,9 раза по сравнению с ГСШ без переработки. Это обусловлено, главным образом, действием введенного в систему на стадии флокуляции до отжима на фильтре-прессе полимера, несмотря на малые его добавки (менее 0,2 масс. %).

Влияние полиакриламидного флокулянта на состояние глинисто-солевой дисперсии заключается в том, что макромолекулы высокомолекулярного соединения контактируют одновременно с разными гли-

нистыми частицами. При отделении солевого раствора в процессе механического отжима на оборудовании из флокулированной дисперсии шламов удаляется влага, и концентрация полимера в точках контакта частиц повышается. Глина после флокуляции и отделения жидкой фазы приобретает специфическую структуру, в которой частицы связаны в агрегаты мостиками из полимера, что видно из сравнения фотографий образцов ГСШ без обработки полимером и с флокуляцией ПГМ (рис. 3).

Таблица 3 – Физико-механические свойства образцов ПГМ и ГСШ (без флокуляции)

Показатель	ПГМ	ГСШ
Модуль деформации, Е, МПа	8,3	6,0
Сцепление, С, кПа	7,3	3,9
Угол внутреннего трения, $\phi$ , град	22	23,4

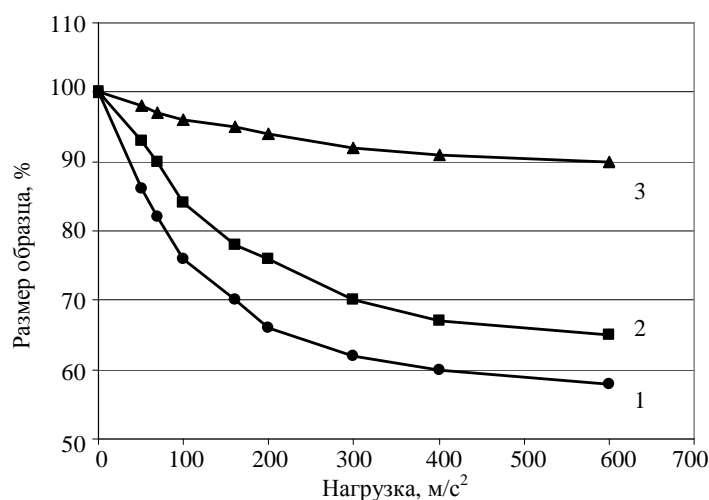


*a* – глинисто-солевые шламы; *б* – продукт глинистый минерализованный

Рисунок 3. – Образцы с влажностью 30%

При хранении материала и уменьшении влажности полимерные мостики между частицами упрочняются. Содержащиеся в материале растворенные соли, кристаллизуясь, скрепляют частицы, что также способствует увеличению прочности материала.

На рисунке 4 представлены данные, характеризующие изменение размера (высота, % от показателя без нагрузки) ПГМ в зависимости от приложенной внешней нагрузки (центростремительное ускорение центрифуги,  $m/s^2$ ), то есть сжимаемость образцов. Приведены результаты для ПГМ (влажность 29,7%) и тех же образцов, предварительно уплотненных и высушенных, а затем повторно увлажненных до 29,7%. Уплотнение образцов проводили, постепенно увеличивая нагрузку до давления, приблизительно соответствующего высоте отвала 30 м. Сушка уплотненных образцов проводилась при  $20 \pm 2$  и  $100 \pm 2$  °С.



1 – ПГМ; 2, 3 – образцы, высушенные при 20 и 100 °С соответственно

Рисунок 4 – Изменение размера образцов в зависимости от приложенной внешней нагрузки

Из рисунка 4 следует, что максимальной сжимаемостью обладает образец ПГМ, полученный без сушки и повторного увлажнения. Значительное сжатие образца наблюдается уже при небольших нагрузках и постепенно увеличивается при росте сжимающего усилия. Такое поведение породы связано с высокой пластичностью глинистых комков, которые легко деформируются под воздействием нагрузки.

Сжимаемость образцов ПГМ, высушенных при низкой температуре и затем увлажненных, снизилась по сравнению с образцами без хранения на 8...12%, что обусловлено увеличением прочности контактов между частицами в период хранения вследствие сближения глинистых частиц, кристаллизации солей в местах контактов частиц.

Образцы, высушенные при высокой температуре и затем увлажненные, практически не сжимаются при увеличении нагрузки. В структуре полностью высушенного материала отсутствуют гидратные оболочки вокруг глинистых частиц, обычно воспринимающие часть нагрузки и деформирующиеся при сжатии. Повторное увлажнение не приводит к восстановлению первоначальной структуры глинистого материала, и внешняя нагрузка воспринимается «скелетом» структуры практически без сжатия вплоть до ее разрушения (влажность исследуемых образцов 29,7%). Дальнейшее увеличение влажности, как показали эксперименты, приводит к ослаблению структуры, деформации образца под нагрузкой и увеличению сжимаемости на 10...15%. По-видимому, под воздействием влаги происходит частичное растворение солевых мостиков между частицами глины.

В реальных условиях при использовании ПГМ как глиносодержащего материала для устройства противодиффузионных экранов, противопожарных барьеров лесным пожарам, насыпей и слоев оснований в конструкциях лесных автомобильных дорог, рекультивации карьеров с большей вероятностью реализуется модель сушки при хранении с уплотнением при 20 °С (образец на рисунке 3, б).

Развивающиеся во времени процессы пластической деформации, физико-химические процессы, протекающие в материале в поровом растворе (кристаллизация солей при увеличении плотности и изменении температурных условий, частичный переход свободной и рыхлосвязанной воды в химически связанную), будут способствовать формированию дифференцированных зон в массе материала с различными физико-механическими свойствами.

Вышесказанное указывает на необходимость проведения опытных и опытно-промышленных испытаний нового материала на практике в конкретных условиях с постоянным геомеханическим мониторингом за состоянием объекта испытаний.

**Заключение.** В Институте общей и неорганической химии НАН Беларуси разработан технологический способ переработки глинисто-солевых шламов ОАО «Беларуськалий», который позволяет отделить жидкую солевую фазу и получить материал с высоким содержанием глины (75...80 масс. %), водорастворимых солей хлоридов калия и натрия (20...25 масс. %) и малых добавок полимера (0,1...0,2 масс. %).

Установлено, что при хранении материала на открытом воздухе в течение 40 суток и снижении его влажности в 2...3 раза увеличиваются значения сопротивления вращательному срезу в 2,5 раза, угла внутреннего трения – в 1,3 раза, модуля деформации – на 12...14%.

Сжимаемость образцов после хранения под нагрузкой уменьшается на 8...12%. При одинаковой влажности (29,7%) модуль деформации продукта переработки отходов выше в 1,4 раза, сцепление – в 1,9 раза по сравнению с ГСШ без переработки.

Полученные результаты свидетельствуют об упрочнении структуры материала в процессе хранения и сушки, что обусловлено образованием полимерных и кристаллизационных контактов между глинистыми частицами.

Установленные физико-механические свойства новых материалов, полученных из глиносодержащих отходов калийного производства, дают перспективные возможности решения задач повторного использования в качестве противодиффузионного материала шламовых грунтов восстанавливаемых шламохранилищ, что способствует снижению техногенной нагрузки в районе размещения отходов калийного производства, во-первых, за счет использования шламовых грунтов восстанавливаемых шламохранилищ, во-вторых, за счет повторного заполнения шламохранилищ глинисто-солевыми шламами в результате их восстановления при выемке шламовых грунтов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Богатов, Б.А. Геоэкология калийного производства / Б.А. Богатов, А.Д. Смычник, С.Ф. Шемет. – Минск : ЗАО «ЮНИПАК», 2005. – 200 с.
2. Лысухо, Н.А. Отходы производства и потребления, их влияние на природную среду : моногр. / Н.А. Лысухо, Д.М. Ерошина. – Минск : МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2011. – 210 с.

3. Смычник, А.Д. Технологии складирования отходов калийного производства / А.Д. Смычник, С.Ф. Шемет, А.А. Кологривко // Сб. науч. ст. X Юбилейной нац. конф. с междунар. участием по открытой и подводной добыче полезных ископаемых. – Варна, 2009. – С. 494–496.
4. Колпашников, Г.А. Техногенез и геологическая среда / Г.А. Колпашников. – Минск : БНТУ, 2006. – 182 с.
5. Кологривко, А.А. Прогнозирование и предотвращение фильтрации рассолов в период подработки шламохранилищ / А.А. Кологривко // Промышленная экология : сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 27–28 окт. 2015 г. / Белорус. нац. техн. ун-т ; ред.: И.А. Басалай. – Минск, 2015. – С. 118–121.
6. Кологривко, А.А. Геоэкологическая безопасность использования противофильтрационного экрана северной карты шламохранилища 4РУ ОАО «Беларуськалий» / А.А. Кологривко // Модернизация хозяйственного механизма сквозь призму экономических, правовых и инженерных подходов : сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 3 мар. 2015 г. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: С.Ю. Солодовников [и др.]. – Минск, 2015. – С. 36–42.
7. Кологривко, А.А. Снижение геоэкологических последствий при подземной разработке калийных месторождений / А.А. Кологривко // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия Ф, Строительство. Прикладные науки. – 2014. – № 16. – С. 101–110.
8. Способ переработки глинисто-солевых шламов, образующихся при производстве калийных удобрений : пат. 012304 Евразия, МПК С 05D 1/00, В 01D 21/01 / Е.В. Воробьева, Н.П. Крутько, Д.В. Чередниченко, П.Д. Воробьев, В.М. Кириенко, А.Д. Любущенко, А.В. Пастухов, Н.В. Гончар, М.М. Варав, Ф.И. Лобанов, Д.Н. Воробьев ; заявитель ГНУ «Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси», РУП «Производственное объединение «Беларуськалий». – № 200701953 ; заявл. 07.06.07 ; опубл. 28.08.09 // Офиц. бюл. / Евразийское патентное ведомство. – 2009. – № 4.

Поступила 26.04.2016

#### PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF NEW MATERIALS RECEIVED FROM CLAY-CONTAINING WASTE POTASH PRODUCTION

*E. LAYEUSKAYA, E. VOROBIEVA,  
D. CHEREDNICHENKO, P. VOROBIEV, A. KOLOGRIVKO*

*The paper presents results of studies of physical and mechanical properties of new materials obtained from clay-salt slurries of “Belaruskali”. Results indicate a hardening of material structure during storage and drying due to formation of polymeric crystallization contacts between clay particles. New concepts about changing of physical and mechanical properties of the potash production wastes are presented; this has significant practical significance for prediction of the development of potash wastes handling and, as a result, for the decrease of anthropogenic impact in the mining area.*

**Keywords:** *clay-containing waste product clay mineralized, clay-salt sludge, physico-mechanical properties of rocks.*