

УДК [712.5(282.3):627.8.059.22]:[519.2:311]

**Г. И. Касперов<sup>1</sup>, В. Е. Левкевич<sup>2</sup>, С. М. Пастухов<sup>3</sup>, Д. С. Миканович<sup>3</sup>**<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет<sup>2</sup>Институт экономики Национальной академии наук Беларуси<sup>3</sup>Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь**ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ШЛАМОХРАНИЛИЩ –  
ОСНОВА ИХ БЕЗОПАСНОСТИ**

В статье приведены результаты исследований технического состояния шламохранилищ, полученных в рамках выполнения научного задания «Исследование устойчивости ограждающих гидротехнических сооружений шламохранилищ и прудов-накопителей мелиоративных и польдерных систем для предупреждения чрезвычайных ситуаций и оценки возможных ущербов» ГПНИ «Информатика и космос. Научное обеспечение безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций». Проанализировав проблему накопления шламов в Беларуси, странах СНГ, США и других, а также работу, проводимую в области безопасной эксплуатации шламохранилищ, можно сделать вывод, что большинство авторов рассматривают их эксплуатацию как гидротехнические сооружения, не учитывая при этом плотность шламов и содержание в них химических элементов. Многие исследователи не учитывают то, что на шламохранилищах и очистных сооружениях возможны не только гидродинамические аварии. Шламы, а также технологическая вода содержат в своем составе различные химические вещества, что может способствовать более интенсивной коррозии ограждающих дамб (плотин), а также при аварии привести к химическому загрязнению территории. В связи с этим требуется разработка методики для оценки технического состояния ограждающих дамб с прогнозированием риска возникновения чрезвычайных ситуаций на всех типах шламохранилищ и очистных сооружений с учетом всех особенностей возможных чрезвычайных ситуаций.

**Ключевые слова:** гидротехнические сооружения, чрезвычайные ситуации, ущерб, шламохранилище, пруды-накопители, техническое состояние.

**G. I. Kasperov<sup>1</sup>, V. E. Levkevich<sup>2</sup>, S. M. Pastukhov<sup>3</sup>, D. S. Mikanovich<sup>3</sup>**<sup>1</sup>Belarusian State Technological University<sup>2</sup>Institute of Economics of the National Academy of Sciences of Belarus<sup>3</sup>Institute for Command Engineers of the Ministry  
of Emergency Situations of the Republic of Belarus**SLUDGE DEPOSITORIES TECHNICAL STATE  
AS THE MAIN FACTOR OF THEIR SAFETY**

The results of sludge depositories technical state examination are presented in the article. The examination was fulfilled within the frame of research task “Examination of Sludge Depositories and Ponds’ Enclosures Stability (in Drainage and Polder Systems) for Emergency Preventions and Damage Evaluation” which is a part of the State Research Program “Informatics and Space, Scientific Basis for Safety and Emergency Control”. After analyzing the issue of sludge accumulation in Belarus, CIS countries, the USA and other countries and studying aspects of sludge depositories safety operations we came to the conclusion that most of the researchers consider these depositories to be operated as common hydraulic structures disregarding sludge density and chemical substances content. Many researchers do not take into account that not only hydrodynamic accidents may occur in sludge depositories and disposal facilities. Sludge and technical water contain various chemical substances which may speed up sludge depositories enclosures corrosion and lead to an accident and chemical contamination of a territory. Thus, it is necessary to work out the methodology for examination of all types of sludge depositories and disposal facilities technical state and for emergency probability forecast taking into account all possible characteristics of that emergency. Sludge depositories operations analysis reveals that continuous usage of hydraulic structures leads to their deterioration and may result in an emergency. The most of emergencies occur during the sludge depositories’ construction or at the early stages of operation – in the period of 5–7 years after a sludge depository is filled. Construction defects become evident and seepage conditions and structural deformation are established in this period of time. Emergencies are not likely in the next period of 30–40 years as depositories structural state turns to stable. The risk of an emergency increases after that period as a result of properties anisotropy, materials aging, etc.

**Key words:** hydraulic structure, emergency, sludge depositories, ponds, technical state.

**Введение.** Хозяйственная деятельность человека приводит к нарушению экологического равновесия, возникновению аномальных природных и техногенных ситуаций: стихийные бедствия, катастрофы и аварии с многочисленными человеческими жертвами, огромные материальные потери и нарушения условий жизнедеятельности (таблица). Ежегодно в различных странах мира вводятся в эксплуатацию новые шламохранилища. Они преобразуют рельеф местности, имеют значительную площадь (порядка 1 км<sup>2</sup>), объем (от 2000 м<sup>3</sup> и более), протяженность и глубину (от 18 до 32 м). При современных технологиях, связанных с ростом производства в химической промышленности и большими затратами на переработку, очевиден рост количества шламов. В связи с этим актуальна количественная оценка риска возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) на шламохранилищах.

Темпы развития промышленности калийных удобрений в Беларуси, большие объемы его производства, специфичность состава сильвинитовых руд и условий их залегания создали ряд сложных проблем в Солигорском промышленном районе на Старобинском месторождении [1]. Важнейшая из них – проблема захоронения и использования отходов производства калийных удобрений, существенно влияющая на засоление окружающей территории. Немаловажное значение имеет также прогнозирование и предотвращение возникновения ЧС на шламохранилищах.

**Основная часть.** ПО «Беларуськалий» является крупнейшим в мире производителем калийных удобрений. Суммарная площадь промплощадок рудоуправлений составляет около 6 км<sup>2</sup>. Кроме того, значительные площади заняты для складирования отходов производства – около 16 км<sup>2</sup> [2].

За более чем 40-летний период эксплуатации Старобинского месторождения калийных солей на поверхности земли скопилось свыше 650 млн. т отходов обогащения. При существующих способах обогащения руд Старобинского месторождения количество отходов и занимаемая ими площадь будут расти.

Шламохранилища ПО «Беларуськалий» заполнены глинисто-солевыми шламами с концентрацией рассолов до 350 г/см<sup>3</sup>, а их эксплуатация осложняется ведением под ними горных

работ. Отличительной особенностью галитовых и шламовых отходов обогащения калийных руд является большое (до 95%) содержание в них легкорастворимых в воде солей.

Шламохранилища и солеотвалы при растворении в них солей атмосферными осадками служат источниками образования и прогрессирующего накопления избыточных, не используемых в технологии хлоридно-натриевых рассолов, что может привести к химическому загрязнению подземных вод с тенденцией расширения ареалов их засоления по площади и вглубь геологического разреза.

Анализ эксплуатации шламохранилищ и сооружений на них показывает, что при длительной эксплуатации происходит износ конструкций гидротехнических сооружений (ГТС), что в итоге способствует возникновению ЧС [5].

Так, авария в Венгрии на глиноземном заводе Ajkai Timfoldgyar 5 октября 2010 г. в 160 км к юго-западу от Будапешта привела к гибели 7 человек, из хранилища вылилось около 700 тыс. м<sup>3</sup> токсичных отходов – красного шлама (красный шлам – это токсичный осадок, содержащий большой процент оксида железа, образующийся при очистке боксита в производстве глинозема), 10 человек получили ожоги, пострадали порядка 160 человек, 390 человек были временно переселены, около 5 тыс. человек готовились к эвакуации, введен режим чрезвычайного положения в трех областях, существовала опасность попадания ядовитых веществ в воды Дуная.

Согласно проведенному анализу в мире, на территории Республики Беларусь, стран СНГ, существует большое количество типов сооружений шламохранилищ, которые входят в состав различных предприятий, таких как ПО «Беларуськалий», Богословский и Уральский алюминиевые заводы, ОАО «Запорожский алюминиевый комбинат» и т. д.

Материалы [2–5], а также собственные натурные обследования ряда объектов в Республике Беларусь показывают, что многие ГТС шламохранилищ находятся в удовлетворительном состоянии, однако имеются нарушения при эксплуатации данных сооружений, что может в случае аварии привести к затоплению, подтоплению, загрязнению территорий и материальному ущербу, а также гибели людей.

#### Чрезвычайные ситуации, произошедшие на территории Республики Беларусь в 2005–2013 гг.

| Класс ЧС    | 2005 г. | 2006 г. | 2007 г. | 2008 г. | 2009 г. | 2010 г. | 2011 г. | 2012 г. | 2013 г. |
|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Техногенные | 11 549  | 11 116  | 9518    | 8669    | 9392    | 8886    | 8267    | 7425    | 6891    |
| Природные   | 44      | 53      | 30      | 18      | 24      | 8       | 15      | 10      | 6       |
| Всего       | 11 593  | 11 169  | 9548    | 8687    | 9416    | 8894    | 8283    | 7435    | 6897    |

В Республике Беларусь не проводились научные исследования в области оценки состояния и устойчивости ГТС шламохранилищ с прогнозированием возможных ЧС на них и определением риска возникновения ЧС на данных сооружениях. В нормативной и научной литературе не достаточно внимания уделяется вопросам безопасной эксплуатации именно представленного типа сооружений, хотя они обладают рядом особенностей. Недостаточная изученность шламохранилищ с точки зрения их технического состояния может привести к возникновению ЧС, в процессе развития которых возможно распространение их опасных факторов на большие расстояния. На данных типах сооружений по-иному происходит формирование и развитие причин и факторов развития ЧС, поэтому немаловажное значение имеет изучение взаимодействия причин и факторов, оценка их влияния на возникновение ЧС. Все это определяет актуальность тематики исследований.

Нужно отметить, что проблема накопления шламов актуальна как для Республики Беларусь, так и для других стран.

Так, в Российской Федерации на Уральском алюминиевом заводе за 60 лет эксплуатации глиноземного цеха накоплено более 63 млн. т красных шламов. На Богословском алюминиевом заводе хранится более 40 млн. т токсичных отходов, а площадь шламонакопителей превышает 400 га. Оба завода принадлежат группе предприятий «Русал».

По опубликованным данным [3], 337 комплексов хвосто- и шламохранилищ горнодобывающей промышленности содержат около 6 млрд. м<sup>3</sup> отходов обогащения. Металлургическая промышленность накопила 400 млн. м<sup>3</sup> отходов в 107 комплексах. Еще 282 хранилища объемом около 500 млн. м<sup>3</sup> относятся к предприятиям химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности.

Анализ данных регистра ГТС показал, что 15% из почти 950 комплексов ГТС объектов промышленности и энергетики вызывают опасения. Состояние 16 комплексов признано неудовлетворительным.

Так, в предаварийном состоянии находятся хвостохранилища обогатительной фабрики ОАО «Тырныаузский ГОК» в Кабардино-Балкарии, содержащие около 120 млн. м<sup>3</sup> токсичных отходов обогащения [3].

Подобная ситуация наблюдается и в Республике Украина. Хранилища на украинских комбинатах несут более серьезную угрозу в связи с тем, что на Николаевском глиноземном заводе соотношение жидкой фазы к твердой составляет 50 к 50%, т. е. шлам является более

подвижным, и в случае аварии эти ядовитые отходы быстрее попадут в окружающую среду, при этом могут быть затоплены большие территории. Кроме того, николаевское предприятие вызывает опасения и из-за больших объемов складированных отходов. Не так давно на заводе было введено в эксплуатацию уже второе шламохранилище, которое занимает территорию в 150 га, а на функционирующем уже более 30 лет хранилище № 1 накопилось около 20 млн. м<sup>3</sup> красного шлама, который при малейшей аварии попадет вначале в Бугский лиман, а уже из него в Черное море.

На данный момент на всех заводах существует одна серьезная проблема – отсутствие качественного оборудования для переработки красного шлама. Из-за этого в Украине ежегодно накапливается около 1,2 млн. т токсичных отходов. На сегодняшний день общий объем отходов красного шлама составляет 25 млн. т.

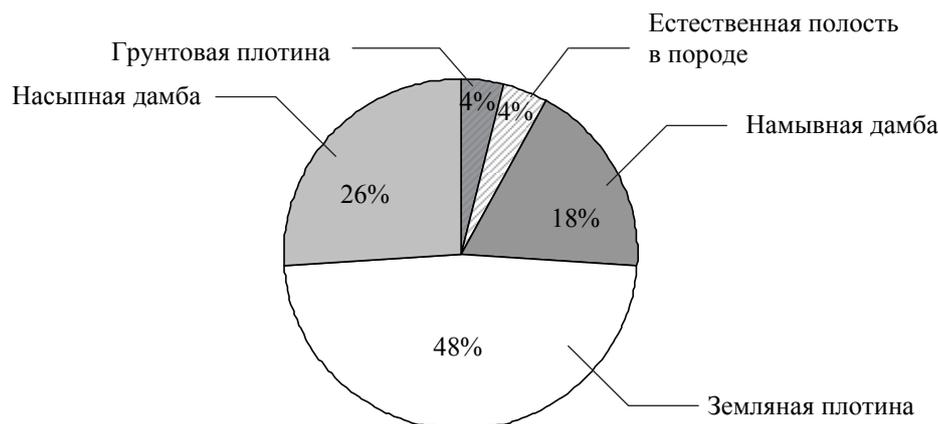
В США и Великобритании ситуация с накоплением отходов производства также актуальна, как и в странах СНГ. В связи с увеличением регионов добычи полезных ископаемых изыскивать новые площади для складирования отходов становится все сложнее. В связи с выработкой основных горизонтов с глубин поднимают все больше пустой породы. Только нефтеперерабатывающая промышленность США накапливает в год до 140 млн. м<sup>3</sup> отходов технологической воды.

Однако даже при значительных затратах на содержание ГТС нельзя исключать возможности возникновения аварии.

Так, в 1992 г. в США, штат Колорадо, на руднике Саммитвилль произошла авария. В результате произошло загрязнение земель цианидами и на протяжении 70 миль погибло все живое.

В большинстве случаев аварии происходят в период их строительства и в начальный период эксплуатации – в течение 5–7 лет после наполнения шламохранилища. За это время полностью проявляются дефекты производства работ, устанавливается фильтрационный режим и деформации сооружения. Затем наступает длительный период – около 30–40 лет, когда состояние ГТС стабилизируется, и аварии маловероятны. После этого опасность аварий вновь увеличивается в результате развития анизотропии свойств, старения материалов и пр.

Исходя из анализа зарегистрированных аварий, произошедших в мире с 1958 г., авторами на основании полученных данных сделан вывод, что наибольшее количество аварий произошло на ограждающих дамбах земляных плотин (рисунок).



Количество аварий (в процентах) по типам ограждающей дамбы (плотины)

**Заключение.** Анализируя состояние сооружений шламохранилищ различных типов, можно сделать вывод, что наиболее подвержены разрушению сооружения с земляными плотинами и дамбами, срок эксплуатации которых приближается к 40–50 годам.

Проблема оценки технического состояния ограждающих дамб шламохранилищ актуальна как для стран СНГ, так и для стран западной Европы и США. В Республике Беларусь в настоящее время не проводились исследова-

ния в области оценки устойчивости сооружений шламохранилищ с прогнозированием возможных ЧС на них. Существующие оценки технического состояния ГТС не применимы к рассматриваемым сооружениям в связи с различной плотностью веществ, находящихся в хранилище. Также в шламах содержатся различные химические вещества, которые способствуют развитию более интенсивной коррозии ограждающих дамб, в сравнении с водохранилищами.

### Литература

1. Лиштван И. И., Парфенюк В. И., Лучков А. И. Экологические проблемы в Белоруссии и пути их научного решения // Экологические проблемы в Белоруссии. 2001. С. 111–116.
2. Козлов П. П., Шутина Т. П., Иванов Г. П. Декларация безопасности шламохранилищ ОАО «Беларуськалий». Минск, 2008. 106 с.
3. Прохоров Н. Н. Методы оценки технического состояния ограждающих дамб шламохранилищ калийного производства: автореф. дис. канд. техн. наук. Минск, 2009. 20 с.
4. Jung H. G. Hydrogeochemical Groundwater Monitoring in Mailuu-Suu, Kyrgyz Republic. Final Report of Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR). Hannover, 2008. 81 p.
5. Малик Л. К. Факторы риска повреждения гидротехнических сооружений. Проблема безопасности. М.: Наука, 2005. 354 с.

### References

1. Lishtvan I. I., Parphenyuk V. I., Luchkov A. I. Issues and scientific solutions of environmental problems in Belarus. *Ekologicheskie problemy v Belorussii* [Environmental Issues in Belarus], 2001, pp. 111–116 (in Russian).
2. Kozlov P. P., Shutina T. P., Ivanov G. P. *Deklaraciya bezopasnosti shlamochranilishch ОАО «Belaruskalii»* [Sludge depositories' safety declaration in Belaruskali, OAO]. Minsk, 2008. 106 p. (In Russian).
3. Prohorov N. N. *Metody otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya ograzhdayuschchikh damb shlamochranilishch kaliynogo proizvodstva: Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Methods for examination of potassium production sludge depositories enclosures technical state: Abstract of thesis cand. of techn. sci.]. Minsk, 2009. 20 p.
4. Jung H. G. Hydrogeochemical Groundwater Monitoring in Mailuu-Suu, Kyrgyz Republic. Final Report of Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR). Hannover, 2008. 81 p.
5. Malik L. K. *Factory riska povreghdeniya gidrotekhnicheskii sooruzhenii* [Risk factors for hydraulic structures. Safety Issues]. Moscow: Nauka Publ., 2005. 354 p.

### Информация об авторах

**Касперов Георгий Иванович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой инженерной графики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: kgi59@tut.by

**Левкевич Виктор Евгеньевич** – кандидат технических наук, доцент, заведующий сектором экологоэкономических проблем Института экономики НАН Беларуси (220072, г. Минск, ул. Сурганова, 1, корп. 2, Республика Беларусь). E-mail: eco2014@tut.by

**Пастухов Сергей Михайлович** – кандидат технических наук, доцент, начальник кафедры пожарной и промышленной безопасности. Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь (220118, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25, Республика Беларусь). E-mail: plamennyj98@gmail.ru

**Миканович Дмитрий Станиславович** – магистр технических наук, преподаватель кафедры пожарной и аварийно-спасательной техники. Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь (220118, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25, Республика Беларусь). E-mail: dimon-cas@mail.ru

#### **Information about the authors**

**Kasperov Georgii Ivanovich** – Ph. D. Engineering, assistant professor, head of the Engineering Graphics Department. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kgi59@tut.by

**Levkevich Victor Evgenyevich** – Ph. D. Engineering, assistant professor, head of the Environment and Economy Issues Department. Institute of Economics of the National Academy of Sciences of Belarus (1-2, Sarganova str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: eco2014@tut.by

**Pastukhov Sergei Mikhailovich** – Ph. D. Engineering, assistant professor, head of the Fire and Industrial Security Department. Institute for Command Engineers of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus (25, Mashinostroiteley str., 220118, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: plamennyj98@gmail.ru

**Mikanovich Dmitry Stanislavovich** – Master of Engineering, lecturer, Department of Fire Fighting and Fire Rescue Equipment. Institute for Command Engineers of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus (25, Mashinostroitelei str., 220118, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dimon-cas@mail.ru

*Поступила 22.03.2015*