

УДК 622.342'17

## ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ХВОСТОХРАНИЛИЩ НА БЫВШИХ ОБЪЕКТАХ ЗОЛОТОДОБЫЧИ



**И. И. КОВЛЕКОВ,**  
профессор кафедры  
Горного института,  
д-р техн. наук,  
kovlekov@mail.ru



**А. Ф. КОНСТАНТИНОВ,**  
профессор кафедры  
Физико-технического  
института,  
канд. геогр. наук



**С. П. АЛЬКОВ,**  
старший преподаватель  
Горного института



**А. А. ДМИТРИЕВ,**  
старший преподаватель  
Горного института

Северо-Восточный федеральный университет  
им. М. К. Аммосова, Якутск, Россия

### Введение

Проблемы экологии в настоящее время относятся к важнейшим вопросам, стоящим перед человечеством. Это обусловлено возрастающим вредным влиянием человеческой деятельности на окружающую природную среду, которое проявляется в загрязнении земли, воздуха и воды [1]. Поэтому производственная деятельность горнодобывающих предприятий должна осуществляться таким образом, чтобы наносить минимально возможный вред окружающей природной среде. Горнодобывающие комбинаты, обогатительные фабрики, металлургические предприятия в результате процесса обогащения руды и переработки сырья производят миллионы тонн отходов [2]. Для складирования их требуются специальные хранилища, имеющие значительную емкость и удовлетворяющие требованиям промышленной безопасности и условиям охраны окружающей среды [3].

В результате деятельности горных предприятий в мире уже насчитывается около 3,5 тыс. хвостохранилищ, подпадающих под категорию промышленно опасных объектов [4]. Анализ частоты аварийных событий указывает, что риск экологической катастрофы на хвостохранилищах в два раза выше, чем на других гидротехнических сооружениях гражданского назначения. Печальные

*Рассмотрены причины и последствия потенциальных угроз безопасности на хвостохранилищах. Приведены возможные меры защиты окружающей среды от неэксплуатируемых хвостохранилищ закрытых предприятий золотодобычи в Республике Саха (Якутия)*

**Ключевые слова:** хвостохранилище, экологические риски, токсичные вещества, защита окружающей среды.

**DOI:** dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.09.19

цифры статистики свидетельствуют о том, что в последние 20 лет ежегодно происходят 2–3 крупные экологические катастрофы на действующих или заброшенных хвостохранилищах, приводящие к человеческим жертвам, масштабному загрязнению среды и огромному материальному ущербу [5, 6].

Наглядными примерами степени проявления потенциальной опасности этих объектов могут служить недавние аварии на хвостохранилищах. Крупная экологическая катастрофа имела место в октябре 2010 г. в Венгрии, когда на заводе по производству глинозема Ajkai Timfoldgyar произошло разрушение дамбы хвостохранилища возле г. Айка [7]. Высокотоксичный шлам объемом 700 тыс. м<sup>3</sup> вылился за пределы резервуара, затопляя сельскохозяйственные угодья и жилые дома. В результате площадь в 8 км<sup>2</sup> была затоплена, несколько городов переселены, 10 человек погибли, сотни получили увечья. Другая страшная авария произошла в Бразилии на хвостохранилище Germapo Mine компании Samarco в ноябре 2015 г. В результате прорыва двух плотин хвостохранилища 32 млн м<sup>3</sup> отходов выбросило в окружающую среду, что привело к самой масштабной экологической катастрофе в истории страны. Эта техногенная катастрофа унесла жизни 17 человек, а более 50 считались пропавшими без вести на момент аварии. Протяженность загрязненной площади распространилась на 663 км вниз по течению местной реки, приближаясь к берегам Атлантического океана. В настоящее время рассматривается дело о наложении компании Samarco штрафа в размере 1 млрд долл. США, за счет которого будут очищены пострадавшие районы.

В России 29 августа 2009 г. после трехдневных дождей в окрестности пос. Карамкен Магаданской области произошел прорыв дамбы хвостохранилища Карамкенского ГОКа, закрытого в 1998 г. В результате интенсивных осадков, вызвавших катастрофический паводок, произошло разрушение руслоотводного канала, и весь его сток поступил в емкость накопителя отходов [8, 9]. Мощный водно-селевой поток снес 9 частных жилых домов, также пострадало 3 многоквартирных дома, 2 человека погибли, а 17 семей лишились крова. Таким образом, складированные отходы переработки минерального сырья несут в себе потенциальную

угрозу жизни и здоровью людей на прилегающих территориях, животному и растительному миру региона. Степень опасности хвостохранилищ обусловлена содержанием в них токсичных компонентов. Хвосты золотоизвлекательных фабрик (ЗИФ) требуют уделения им особого внимания из-за технологии переработки руд, при которой используются реагенты, содержащие цианиды, ртуть и др. Наиболее острую проблему представляют собой хвостохранилища, которые по разным причинам были выведены из эксплуатации и не имеют ответственного недропользователя.

### Методика и результаты исследований

Республика Саха (Якутия) является одним из крупных горнодобывающих регионов России. Здесь с начала XX в. в промышленном масштабе добываются алмазы, нефть, газ, золото, уголь и другие минеральные ресурсы. Добыча полезных ископаемых составляет основу экономики всей республики, обеспечивает занятость населения и его благополучие. Однако с другой стороны, она неизбежно порождает проблемы экологического плана, связанные с нарушением естественного природного состояния окружающей среды при ведении горных работ и размещении отходов производства. В советский период экстенсивного промышленного освоения месторождений Крайнего Севера вопросам охраны окружающей среды уделялось недостаточно внимания. Повсеместно можно обнаружить массу заброшенных отвалов на старых горных полигонах и карьерах, где не были произведены рекультивационные работы.

Сегодня одними из актуальных являются проблемы, связанные с наиболее опасными промышленными объектами, к которым относятся скопления токсичных продуктов переработки минерального сырья, размещенные в хвостохранилищах [10, 11]. Промышленные руды, из которых извлекают золото, олово, сурьму и другие полезные компоненты, содержат также такие вредные химические вещества, как мышьяк, свинец, цинк, кобальт и др. Еще более опасными в отвальных хвостах переработки являются химические вещества, которые использовались в технологической схеме обогащения руд. Это могут быть цианистый калий и натрий, ртуть (амальгама), ядовитые соли или другие более сложные реагенты [12].

Хвостохранилище обогатительной фабрики представляет собой сооружение, созданное для предотвращения попадания вредных веществ в окружающую среду. По действующему законодательству все хвостохранилища относятся к категории промышленно опасных объектов, поэтому наряду со специальными мероприятиями должны быть предусмотрены работы по постоянному мониторингу состояния этих сооружений. Контроль за эксплуатацией объекта производится специально обученными специалистами, которые периодически должны проходить аттестацию в органах государственного надзора.

Если горнодобывающее предприятие функционирует экономически стабильно, то ответственность за производственные аварии лежит на предприятии и страховой компании [13]. Государство всегда имеет возможность властно воздействовать на предприятие в случае возникновения аварийного случая, когда

появляется угроза жизни населения и наносится ущерб окружающей среде. Однако в случае прекращения добычи и появления бесхозных опасных объектов ситуация иная [14, 15]. Такие объекты уже не имеют собственника, который должен был бы следить за безопасностью промышленно опасного объекта. В этом случае вся ответственность за безопасное состояние объекта, равно как и финансовое обеспечение работ по его консервации или ликвидации, лежит на региональных или муниципальных органах власти.

После распада Советского Союза и перехода экономики с плановых на рыночные отношения практически все крупные золотодобывающие горно-обогатительные комбинаты («Куларзолото», «Индигирзолото», «Джугдзурзолото» и др.) обанкротились и прекратили свою деятельность. В спешке ликвидации предприятий меры по консервации хвостохранилищ не были приняты, и эти объекты остались на волю стихии [16].

Для оценки степени опасности таких объектов рассмотрим конкретный случай на примере одного из бесхозных хвостохранилищ Якутии, которое ранее принадлежало Лебединской ЗИФ в Алданском районе [17]. Эта фабрика прекратила свою работу в 1993 г. Во время эксплуатации фабрики применялись различные способы обогащения, такие, как амальгамация, флотация и цианирование. После закрытия ЗИФ ликвидация хвостохранилища не была осуществлена.

Хвостохранилище, расположенное рядом с рабочим поселком, представляет собой секционно складированные намытым способом продукты переработки золотоносных кварц-сульфидных руд, которые содержат в себе ряд вредных и опасных химических элементов. При этом хвосты находятся в открытом доступе без ограждения и могут неблагоприятно воздействовать на окружающую среду и здоровье человека.

В начальной стадии разработки месторождения на фабрике применяли гравитационно-амальгамационную схему обогащения руд, затем перешли на гравитационно-флотационное обогащение. Проектная производительность фабрики составляла 500 т/сут руды. На третьем этапе реконструкции был освоен гидрометаллургический метод, включающий цианистый процесс переработки руд. Проектная производительность фабрики после реконструкции составила 1200 т/сут. За этот период до ликвидации предприятия в 1990-е годы было переработано всего около 15,6 млн т руды.

Химический состав лежалых хвостов предопределен набором рудообразующих минералов, которые представлены сульфидами (пирит, галенит, халькопирит), гидроксидами железа (лимонит, гематит, гетит) и др. Полуколичественным спектральным анализом установлено содержание в хвостах ванадия, хрома, циркония, бериллия (до 0,001–0,003 %), висмута (до 0,01 %).

Анализ и оценку опасности отдельных химических элементов проводили по методике, изложенной в инструкции санитарных правил Российской Федерации СП 2.1.7.1386-03 «Определение класса опасности токсичных отходов производства и потребления». Согласно методике, показатель опасности компонента  $K_i$  рассчитывается как отношение его концентрации  $C_i$  (мг/кг) и коэффициента степени опасности  $W_i$ :

$$K_i = C_i/W_i; \quad (1)$$

$$\lg W_i = 1,2(X_i - 1), \quad (2)$$

где  $X_i$  — усредненный параметр опасности компонента отхода.

Результаты анализа свидетельствуют, что по степени превышения предельно допустимой концентрации рассмотренные химические элементы можно ранжировать в следующем порядке: Cr (11,7 раз); As (10); Sb (4,4); Cu (3,8); Co (3); Zn (2,3). Ранжирование элементов по показателю опасности  $K_i$  приведено ниже.

Pb	V	Sb	As	Zn	Cr	Cu	Co
57,2	21,9	20	19,1	18,2	13,3	10,4	5

С учетом всех показателей наиболее опасными являются свинец, ванадий, сурьма, мышьяк, цинк, хром и др. Если принять во внимание фактор канцерогенности отдельных элементов, то порядок степени опасности следующий: мышьяк, хром, свинец, никель, ванадий и т. д. По степени опасности хвосты обогащения ЗИФ могут быть отнесены к 3-му классу.

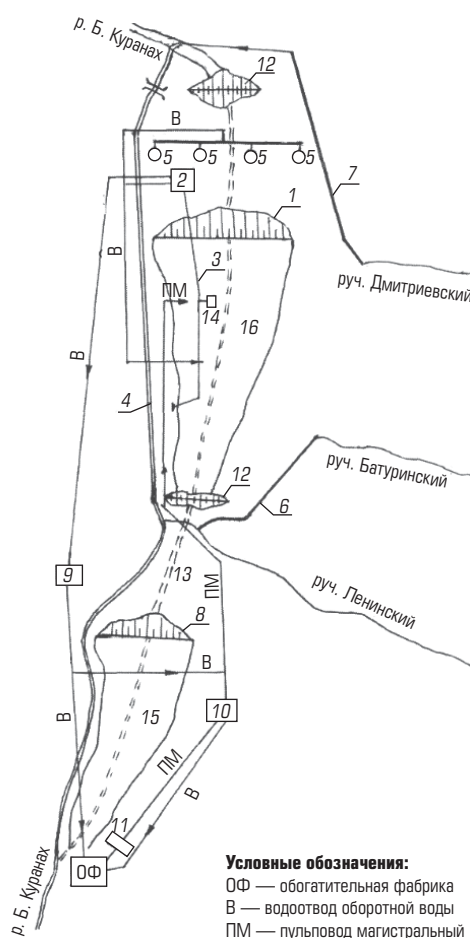
Наибольшую экологическую опасность представляет собой возможный залповый сброс опасных ингредиентов с хвостохранилища обогатительной фабрики в природные водоемы в результате прорыва оградительных дамб весенним или ливневым половодьем водотоков [18, 19]. Гидрографическая сеть в зоне расположения хвостохранилищ этой фабрики представлена участком р. Большой Куранах с правыми притоками Ленинский, Батуринский, Дмитриевский (см. **рисунок**).

Сток р. Большой Куранах отводится от ложа хвостохранилищ по искусственному руслоотводному каналу, проложенному вдоль левого борта. Ручей Дмитриевский отсекался небольшой насыпной плотиной и направлялся по бетонному лотку в участок ниже дамбы нового хвостохранилища. Однако осмотр этого места осенью 2006 г. показал, что отсекающая дамба сильно пропускает воду, и ручей почти полностью стекает в ложе хвостохранилища. Следует отметить, что при осмотре этого участка весной 2007 г. обнаружено, что ручей уже изливался по бетонному лотку, а фильтрации через плотину не было. Это обстоятельство показывает, что в зимний период плотина полностью промерзает и не пропускает воду.

Ручей Батуринский, согласно проекту, также отсекался малой дамбой и сток его направлялся по неглубокой канаве в ручей Ленинский с последующим поступлением в руслоотводной канал р. Большой Куранах. Однако отводящая канава ручья Батуринский была разрушена (примерно в 200 м от ручья Ленинский), и его сток также попадал в ложе хвостохранилища. Именно по этой причине, видимо, верхняя часть секции 1 нового хвостохранилища была заполнена водой. Помимо этих поступлений, в ложе объекта стекают атмосферные осадки и талые воды с правого склона долины р. Большой Куранах.

Приходная часть годового водного баланса нового хвостохранилища ориентировочно оценена, по самым невыгодным условиям, в объеме 980–990 тыс/м<sup>3</sup>. Расходная часть водного баланса включает объем воды, проходящей через действующий шандорный колодец и проложенные на дамбе сливные сифонные трубы, фильтрационные потери, а также величину испарения с водной поверхности. По измерениям авторов статьи уровень воды в хвостохранилище осенью 2006 г. составлял 714 м, а весной 2007 г. — 707 м, т. е. за прошедший период уровень воды упал почти на 7 м.

Проведенными расчетами было установлено, что приходная и расходная части водного баланса в наблюдаемый период обследования были примерно равнозначны. На основании вышеизло-



**Проектная схема гидротехнических сооружений хвостохранилища Лебединской ЗИФ:**

- 1 — оградительная дамба № 2; 2 — насосная станция;
- 3 — водосборный коллектор; 4 — руслоотводной канал р. Большой Куранах; 5 — водоперехватывающий коллектор; 6 — отвод ручья Батуринский; 7 — отвод ручья Дмитриевский; 8 — оградительная дамба № 1; 9 — станция оборотной воды; 10 — стугистель пульпы;
- 11 — пульпонасосная станция; 12 — засыпка русла р. Большой Куранах;
- 13 — старое русло р. Большой Куранах; 14 — шандорный колодец;
- 15 — старое хвостохранилище; 16 — новое хвостохранилище

**Условные обозначения:**  
 ОФ — обогатительная фабрика  
 В — водоотвод оборотной воды  
 ПМ — пульповод магистральный

женного сделано заключение, что опасности перелива воды через гребень ограждающей дамбы при отсутствии природных катаклизмов ожидать не следует. Тем не менее было предписано обновить перехватывающие дамбы на ручьях Дмитриевский и Батуринский, а также вести постоянный мониторинг за состоянием основной дамбы хвостохранилища и шандорного колодца. В целом совокупность всех элементов функционирования водного режима на объекте представляет собой довольно сложную систему гидротехнических сооружений разной степени пригодности и работоспособности.

### Заключение

Затронутые в статье вопросы экологической безопасности отвалов золотодобычи показывают высокую степень потенциальной опасности заброшенных хвостохранилищ для окружающей среды и населения. Следует найти правильное и своевременное решение для надежной консервации или полной ликвидации (захоронения) подобных опасных объектов. Они представляют угрозу окружающей среде не только на месте размещения. Зоны их потенциально загрязняющей вероятной дальности могут многократно возрасти в связи с тем, что все они, как правило, расположены в бассейнах водораздельной сети. Попадание ядовитых веществ в речную сеть может значительно расширить зону загрязнения окружающей среды и нанести невосполнимый ущерб флоре и фауне. Поэтому такие промышленно опасные объекты нуждаются в проведении постоянного мониторинга.

Экологические катастрофы на хвостохранилищах происходят с закономерной регулярностью. Только власть в лице государства может брать на себя ответственность за безопасность подобных опасных объектов и нести материальную ответственность за воз-

никающие риски аварий. Для уменьшения риска аварий на неэксплуатируемых хвостохранилищах необходима долгосрочная государственная программа полной ликвидации или временной консервации этих объектов.

В качестве первоочередных мер по обеспечению безопасности неэксплуатируемых хвостохранилищ можно рекомендовать следующее:

1. Местным органам власти субъектов РФ через региональные министерства охраны природы с привлечением представителей экологической науки необходимо выявить наиболее опасные заброшенные промышленные объекты и обеспечить непрерывный мониторинг безопасности их состояния до момента полной ликвидации или безопасной консервации.

2. Органам государственного технического надзора совместно с органами местного управления разработать и контролировать проведение ежегодных мероприятий по оценке состояния гидротехнических сооружений каждого объекта и обеспечить безопасное прохождение вод весеннего, осеннего и ливневого паводков.

3. Органам территориального управления по недропользованию совместно с научными институтами оценить остаточные запасы промышленных минералов в складированных хвостах, определить экономическую целесообразность их переработки с учетом современных достижений науки и техники или установить необходимость их окончательного безопасного захоронения.

4. Местным органам законодательной и исполнительной власти субъекта разработать и обеспечить финансирование целевой государственной программы планомерной ликвидации промышленно опасных объектов с привлечением горных предприятий на условиях льготного налогообложения.

### Библиографический список

1. Чмыхалова С. В. Воздействие горнодобывающего предприятия на окружающую среду // Известия высших учебных заведений // Горный журнал. 2012. № 5. С. 80–84.
2. Маслюбов В. А., Селезнев С. Г., Макаров Д. В., Светлов А. В. Оценка экологической опасности хранения отходов добычи и переработки медно-никелевых руд // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2014. № 4. С. 138–153.
3. Приходько М. А. Защита окружающей среды и снижение риска аварийности хвостохранилищ: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Екатеринбург, 2002. — 24 с.
4. Chambers D. M. Long-term Risk of Tailings Dam Failure // Alaska Park Science. 2014. Vol. 13, Iss. 2: Mineral and Energy Development. URL: <http://www.nps.gov/articles/aps-v13-i2-c8.htm> (дата обращения: 1.03.2016).
5. Azam Sh., Li Q. Tailings Dam Failures: A Review of the Last One Hundred Years // Geotechnical News. 2010. Vol. 28. No. 4. P. 50–53.
6. Phillips D. Brazil's mining tragedy: was it a preventable disaster? // The Guardian. 2015. 25 November. URL: <http://www.theguardian.com/sustainable-business/2015/nov/25/brazils-mining-tragedy-dam-preventable-disaster-samarco-vale-bhp-billiton> (дата обращения: 1.03.2016).
7. Торвальдс Л. Гринпис: в России возможна «венгерская» катастрофа // Экология. 2010. 12 октября. URL: <http://compulenta.computerra.ru/archive/ecology/568956/> (дата обращения: 1.03.2016).
8. Москвина О. Я., Замощ М. Н. Экологические и социальные последствия аварии на хвостохранилище Карамкенского ГМК в 2009 г. // Реки Сибири: материалы VI междунар. науч.-практич. конфер. — Красноярск, 2011. С. 101–106.
9. Зверева В. П., Крупская Л. Т., Малюк Я. Н. Воздействие Карамкенского хвостохранилища на гидросферу района и его рекультивация // Экологическая химия. 2013. Т. 22. № 1. С. 10–17.
10. Морозова О. В., Чмыхалова С. В. Исследование процессов неокислительного выщелачивания в хвостохранилище при прекращении его эксплуатации // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. № 1. С. 352–357.
11. Крупская Л. Т., Голубев Д. А., Волобуева Н. Г. Оценка экологической ситуации территории в зоне влияния хвостохранилища с токсичными отходами // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 1-2. С. 97–100.
12. Krupskaya L. T., Panfilov O. O., Zvereva V. P. Estimation of environment pollution in zone of tailing dump influence in the south far east of Russia and necessity of monitoring organization // Future Energy, Environment and Materials. WIT Transactions on Engineering Sciences. 2014. Vol. 88. P. 499–504.
13. Cowan W. R., Mackasey W. O., Robertson J. G. A. The Policy Framework in Canada for Mine Closure and Management of Long-term Liabilities: A Guidance Document. 2010. URL: <http://www.abandoned-mines.org/pdfs/PolicyFrameworkCanforMinClosureandMgmtLiabilities.pdf> (дата обращения: 1.03.2016).
14. Cowan W. R., Mackasey, W. O., Robertson J. G. A. Case studies and decision making process for the relinquishment of closed mine sites. Consultant's report prepared for National Orphaned / Abandoned Mines Initiative (NAOMI) by Cowan Minerals Ltd. Sudbury, Ontario. July 2013. — 82 p.
15. Dondo S. J. Financial Assurance for Mine Closure: A Regulatory Perspective from the Argentine Context // Centre for Social Responsibility in Mining. May 2014. — 20 p. URL: <https://>



www.csr.uq.edu.au/publications/financial-assurance-for-mine-closure-a-regulatory-perspective-from-the-argentine-context (дата обращения: 1.03.2016).

16. Ковлеков И. И. Техногенное золото Якутии. — М.: Изд-во МГГУ, 2002. — 304 с.
17. Ковлеков И. И. Анализ и оценка степени опасности хвостов Лебединской ЗИФ // Актуальные проблемы горного дела в Якутии: сб. науч. ст. — Якутск: Изд-во ЯГУ, 2009. С. 131–138.
18. Морозов М. Г., Комин А. В., Шакирова Н. Б. Механизм образования пропана при гидро-

динамических авариях на намывных гидротехнических сооружениях промышленных предприятий // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2011. № 3. С. 102–112.

19. Гузенков С. Н., Шульгина Н. К. Определение ущерба от гидродинамической аварии на хвостохранилище в северной климатической зоне // Гидротехническое строительство. 2007. № 7. С. 39–42. **ГЖ**

«GORNYI ZHURNAL»/«MINING JOURNAL», 2016, № 9, pp. 96–100  
DOI: dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.09.19

### Safety issues at tailings ponds at former gold mines

#### Information about authors

I. I. Kovlekov<sup>1</sup>, Professor at a Chair, Mining Institute, Doctor of Engineering Sciences, kovlekov@mail.ru

A. F. Konstantinov<sup>1</sup>, Professor at Chair, Physico-Technical Institute, Candidate of Geographical Sciences

S. P. Alkov<sup>1</sup>, Senior Lecturer, Mining Institute

A. A. Dmitriev<sup>1</sup>, Senior Lecturer, Mining Institute

<sup>1</sup> Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

#### Abstract

Upon transition to the market economy, many Russian mines gave up competition and went out of business. For the first turn, crisis affected mines in remote areas in the North, with the severe environment and undeveloped infrastructure. A representative example is underground and placer gold mines in the Republic of Sakha (Yakutia).

Following hush closing-down of failed mining and processing plants, hazardous industrial sites of tailings ponds with toxic content of ore concentration rejects and harmful elements of arsenic, mercury, potassium cyanide and lead turned out to be abeyant. It is required to ensure safety of these objects given the absence of former owners-subsoil users. The local authorities in the areas of the tailings ponds possess deficient finance and lack skills to protect population and environment from potential failure of dams at the tailings ponds as a consequence of abnormal convulsions of nature in the form of storm rainfalls, abundant flood flows, earthquakes, etc.

This article intends to draw attention of governmental bodies and experts to the above indicated problem. Disastrous effects of accidents at tailings ponds in Brazil (2015), Hungary (2010) and Russia (2009) are described. The scope of the study embraces hydraulic condition of a tailings pond at the former Lebedinsk gold processing plant (closed-up in 1993) in the south of Yakutia, and environmental risks due to the uncontrolled abandoning of the object. Priority efforts toward safety of long-term out-of-operation tailings ponds are identified on a scale of the entire country.

**Keywords:** tailings pond, environmental risks, toxic substances, environment protection.

#### References

1. Chmykhalova S. V. The impact of a mining enterprise on the environment. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy Zhurnal*. 2012. No. 5. pp. 80–84.
2. Masloboev V. A., Seleznev S. G., Makarov D. V., Svetlov A. V. Assessment of eco-hazard of copper-nickel ore mining and processing waste. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*. 2014. No. 3. pp. 138–153.
3. Prikhodko M. A. *Environmental protection and decreasing of risk of tailing dump accident rate: thesis of inauguration of Dissertation ... of Candidate of Engineering Sciences*. Ekaterinburg, 2002. 24 p.
4. Chambers D. M. Long-term Risk of Tailings Dam Failure. *Alaska Park Science*. 2014. Vol. 13, Iss. 2: *Mineral and Energy Development*. Available at: <http://www.nps.gov/articles/aps-v13-i2-c8.htm> (accessed: 1.03.2016).

5. Azam Sh., Li Q. Tailings Dam Failures: A Review of the Last One Hundred Years. *Geotechnical News*. 2010. Vol. 28, No. 4. pp. 50–53.

6. Phillips D. Brazil's mining tragedy: was it a preventable disaster? *The Guardian*. 2015. 25 November. Available at: <http://www.theguardian.com/sustainable-business/2015/nov/25/brazils-mining-tragedy-dam-preventable-disaster-samarco-vale-bhp-billiton> (accessed: 1.03.2016).

7. Torvalds L. Greenpeace: the «Hungarian» catastrophe is possible in Russia. *Ekologiya*. 2010. October 12. Available at: <http://compulenta.computerra.ru/archive/ecology/568956/> (accessed: 1.03.2016).

8. Moskvina O. Ya., Zamoshch M. N. Ecological and social consequences of the accident on the tailing dump of Karamken Mining and Metallurgical Combine in 2009. *Siberian Rivers: materials of the VI international scientific and practical conference*. Krasnoyarsk, 2011. pp. 101–106.

9. Zvereva V. P., Krupskaya L. T., Malyuk Ya. N. Influence of Karamken tailing dump on the hydrosphere of the region and its recultivation. *Ekologicheskaya khimiya*. 2013. Vol. 22, No. 1. pp. 10–17.

10. Morozova O. V., Chmykhalova S. V. Investigation of the processes of non-oxidation leaching in tailing dump during its exploitation finishing. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten*. 2008. No. 1. pp. 352–357.

11. Krupskaya L. T., Golubev D. A., Volobueva N. G. Assessment of ecological situation of the territory in the area of influence of the tailing dump with toxic wastes. *Sovremennye tendentsii razvitiya nauki i tekhnologii*. 2016. No. 1-2. pp. 97–100.

12. Krupskaya L. T., Panfilov O. O., Zvereva V. P. Estimation of environment pollution in zone of tailing dump influence in the south far east of Russia and necessity of monitoring organization. *Future Energy, Environment and Materials. WIT Transactions on Engineering Sciences*. 2014. Vol. 88. pp. 499–504.

13. Cowan W. R., Mackasey W. O., Robertson J. G. A. The Policy Framework in Canada for Mine Closure and Management of Long-term Liabilities: A Guidance Document. 2010. Available at: <http://www.abandoned-mines.org/pdfs/PolicyFrameworkCanforMinClosureandMgmtLiabilities.pdf> (accessed: 1.03.2016).

14. Cowan W. R., Mackasey, W. O., Robertson J. G. A. Case studies and decision making process for the relinquishment of closed mine sites. Consultant's report prepared for National Orphaned Abandoned Mines Initiative (NAOMI) by Cowan Minerals Ltd. Sudbury, Ontario. July 2013. 92 p.

15. Dondo S. J. Financial Assurance for Mine Closure: A Regulatory Perspective from the Argentine Context. Centre for Social Responsibility in Mining. May 2014. 20 p. Available at: <https://www.csr.uq.edu.au/publications/financial-assurance-for-mine-closure-a-regulatory-perspective-from-the-argentine-context> (accessed: 1.03.2016).

16. Kovlekov I. I. Technogenic gold of Yakutia. Moscow: Publishing House of Moscow State Mining University, 2002. 304 p.

17. Kovlekov I. I. Analysis and assessment of the grade of the danger of the tailings of Lebedinskaya gold-extraction factory. *Urgent problems of mining in Yakutia: collection of scientific proceedings*. Yakutsk: Publishing House of Yakutsk State University, 2009. pp. 131–138.

18. Morozov M. G., Komin A. V., Shakirova N. B. Mechanism of formation of closing gap during the hydrodynamical accidents on alluvial hydrotechnical facilities of industrial enterprises. *Vodnoe khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie*. 2011. No. 3. pp. 102–112.

19. Guzenkov S. N., Shulgina N. K. Definition of damage from the hydrodynamic accident on tailing dump in Northern climatic zone. *Gidrotekhnicheskoe stroitelstvo*. 2007. No. 7. pp. 39–42.