



Хвостохранилища – объекты повышенной селевой опасности

М.Д. Докукин¹, Э.В. Запорожченко², Д.В. Знаменский³

¹Высокогорный геофизический институт, Нальчик, Россия, inrush@bk.ru

²Селевая ассоциация, Пятигорск, Россия, ednad17@mail.ru

³Независимый консультант, CBDB – CT-11, Бразилиа, Бразилия,
dvzname@gmail.com

Аннотация. Приводятся данные о техногенных катастрофах с человеческими жертвами, произошедшими на хвостохранилищах Фундан и Фейхао в Бразильском штате Минас-Жерайс в 2015 и 2019 гг., их основные параметры и последствия. На этом предупредительном фоне описываются особенности обстановки, складывающейся вокруг Тырнаузского хвостохранилища (Россия), не функционирующего с 1997 г. и содержащего тонкодисперсные и токсичные продукты обогащения вольфрамо-молибденовых руд. Характеризуются возможные, ранее не учитываемые, результаты воздействия схода селевых и наносоводных потоков на объекты хвостохранилища. Анализируются критические ситуации 2002 и 2014 гг. Оценивается состояние водоотводящих гидротехнических сооружений, не адаптированных к текущему положению. Даются рекомендации по предотвращению вероятной экологической катастрофы. Подчеркивается возможность более значительных последствий для населения и инфраструктуры подкомандной территории (долина р. Баксан ниже устья р. Гижгит) в сравнении с бразильскими событиями 2015 и 2019 гг. Сопоставляются аналогичные аварии в Болгарии в 1966 г., в Италии в 1985 г., в Кабардино-Балкарской Республике, Магаданской области и Красноярском крае России в 2017, 2009 и 2019 гг. соответственно, Индии и Мьянме в 2019 г.

Ключевые слова: экологический риск, хвостохранилища, плотины, тоннель, селевой режим, обводной канал

Ссылка для цитирования: Докукин М.Д., Запорожченко Э.В., Знаменский Д.В. Хвостохранилища – объекты повышенной селевой опасности. В сб.: Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 6-й Международной конференции (Душанбе–Хорог, Таджикистан). Том 1. – Отв. ред. С.С. Черноморец, К.С. Висхаджиева. – Душанбе: ООО «Промоушн», 2020, с. 25–38.

Tailings dams - facilities of increased debris-flow hazard

M.D. Dokukin¹, E.V. Zaporozhchenko², D.V. Znamensky³

¹High-Mountain Geophysical Institute, Nalchik, Russia, inrush@bk.ru

²Debris Flow Association, Pyatigorsk, Russia, ednad17@mail.ru

³CBDB-CT 11 Head, and Independent Consulting Engineer, Brasília, Brazil,
dvzname@gmail.com

Abstract. The article provides data on man-made disasters with human losses that occurred at the Fundao and Corrego do Feijao tailings dams in the Brazilian state of Minas Gerais in 2015 and 2019 and gives their main parameters and consequences. On this background specific features are described of the situation developing around the Tyrnauz tailings dam (Russia), which has not been functioning since 1997 and contains finely dispersed and toxic tungsten-molybdenum ore dressing products. The possible, but not previously taken into account results of the impact of debris flow and flow with suspended materials on the tailings dam facilities are characterized. Analysis of the critical situations of 2002 and 2014 is conducted. The condition of hydraulic structures not adapted to the current state is assessed. Recommendations on the prevention of a probable

ecological catastrophe are given. The possibility of more significant consequences for the population and infrastructure of the lower territory (the Baksan River valley, below the Gizhgir River mouth) in comparison with the Brazilian events of 2015 and 2019 is underlined. Similar accidents in Bulgaria in 1966, in Italy in 1985, in the Kabardino-Balkarian Republic, the Magadan Region and the Krasnoyarsk Territory of Russia in 2017, 2009 and 2019, respectively, in India and Myanmar in 2019 are compared.

Key words: *ecological risk, tailings dams, tunnel, debris flow regime, by-pass channel*

Cite this article: Dokukin M.D., Zaporozhchenko E.V., Znamensky D.V. Tailings dams – facilities of increased debris-flow hazard. In: Chernomorets S.S., Viskhadzhieva K.S. (eds.) Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 6th International Conference (Dushanbe–Khorog, Tajikistan). Volume 1. Dushanbe: “Promotion” LLC, 2020, p. 25–38.

Введение

Во всем мире в хранилища отходов черных и цветных металлов ежегодно поступает около 3 млрд м³. Общий объем складирования продуктов передела только железорудных предприятий России составил к началу XXI века около 1 млрд. м³. До последнего времени отношение к хвостохранилищам, как к своеобразным свалкам горного производства, не способствовало проведению представительных исследований этих специфических геотехнических систем. Между тем рукотворные свалки относятся к объектам повышенной экологической опасности не только из-за известного их негативного воздействия на воздушные бассейны, почвенный покров, поверхностные и подземные воды, но и как источник стремительного развития катастрофического процесса, связанного с особенностями состояния масс, складированного в хвостохранилищах материала, удерживающих его дамб и плотин, как правило, сооружаемых в долинах боковых притоков главных речных артерий бассейна. Естественный сток при этом переводится в обход созданной рукотворной емкости. По завершению разработок месторождений или по исчерпанию объемных возможностей хвостохранилищ последние обычно не удостоиваются должного эксплуатационного внимания – искусственные обводные тракты и дренажные системы перестают нормально функционировать. Прорывы дамб обвалования или подпорных плотин в паводочные периоды приводят к потокам разрушительной энергетики. Такие катастрофы на фоне планетарного климатического тренда происходят все чаще: меняется природный гидрологический режим, ухудшаются параметры прочности комплекса гидротехнических сооружений, гидрогеологические (фильтрационные) условия (истечению разжиженных дисперсных продуктов из хвостохранилищ при недостаточной сейсмоустойчивости удерживающих составляющих подпорного комплекса могут способствовать и землетрясения). В связи с вышеизложенным, показательна ситуация, складывающаяся вокруг крупнейшего на Северном Кавказе хвостохранилища бывшего Тырныаузского горно-обогатительного комбината (ГОКа). Поэтому крайне важны уроки трагических событий, связанных с хвостохранилищами Бразилии последних лет (2015, 2019 гг.), с другими аналогичными бедствиями.

Сравнительный анализ обстоятельств и последствий аварий реальных объектов складирования отходов горных производств

Россия – Бразилия: Тырныауз – Минас-Жерайс

Поступление отходов обогащения вольфрамо-молибденовых руд в Тырныаузское хвостохранилище (рис. 1) прекратилось в 1997 г. и более не возобновлялось.

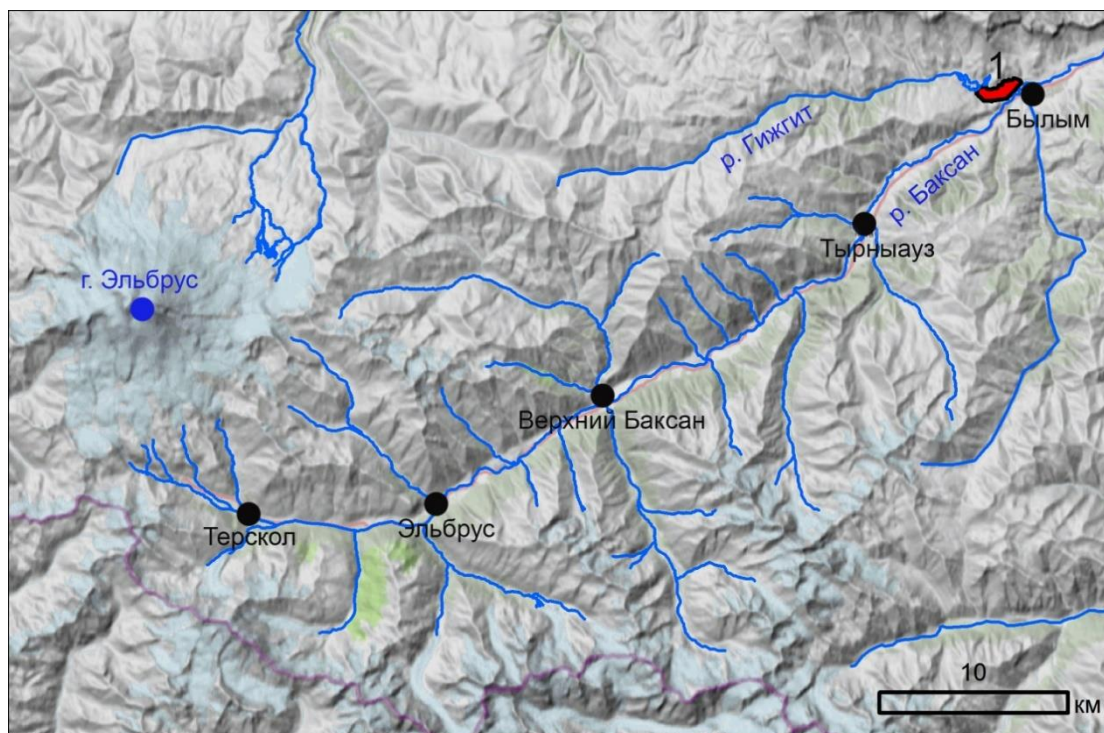


Рис. 1. Схема расположения Тырныаузского хвостохранилища (Эльбрусский район Кабардино-Балкарской Республики, Россия): 1 – хвостохранилище, красный контур

Fig. 1. Layout of the Tyrnauz tailings dam (Elbrus district of the Kabardino-Balkarian Republic, Russia): 1 – tailings dam, red outline

К этому времени было накоплено (путем транспортировки по 15 км пульпопроводу) 118 млн. м³ мелко- и тонкозернистых масс, содержащих соединения высокой степени опасности. Высота наращиваемого подпорного сооружения по схеме «вверх по долине» («upstream») достигла 168 м. В 2002 и 2014 гг. к участку водоем-отстойника (рис. 2) в неожиданном селевом режиме подошли волны потоков, расходы которых до двух раз (140 м³/с) превышали пропускную способность ориентированного чисто на водную составляющую обводного тоннельного тракта (65 м³/с). Система, предусматривавшая недопущение речных вод к пляжной зоне намытых (до 1998 г.) хвостов, оказалась к такому повороту событий не готовой. В результате до уровня прорыва (перелива) невысоких дамб обвалования в 2002 г. оставались считанные сантиметры [Запорожченко, Докукин, 2019a]. После 1997 г. у сухого пляжа хвостоотвалов сформировалось два водоема общим объемом около 1,5 млн. м³, способные быть вовлеченными в пополнение триггерного (под развитие прорывного процесса) расхода очередного водного или селевого паводка (рис. 3).

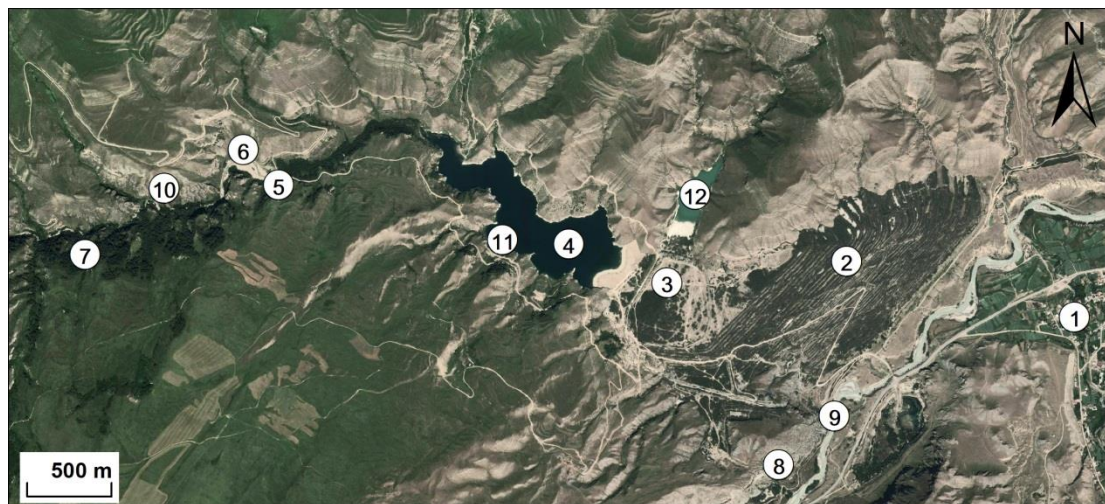


Рис. 2. Кабардино-Балкарская Республика. Россия. Участок нижнего течения р. Гижгит. Космоснимок (Google Earth): 1 – пос. Былым; 2 – основная плотина Тырныаузского хвостохранилища; 3 – пляж намывных масс; 4 – водоем-отстойник; 5 – входной портал тоннеля 2; 6 – селевые отложения 2002 и 2014 гг.; 7 – входной портал тоннеля 3; 8 – выходной портал тоннеля 2 – устье р. Гижгит; 9 – р. Баксан; 10 – р. Гижгит между тоннелями 2 и 3; 11 – входной портал тоннеля 1 (затоплен); 12 – левобережный водоем

Fig. 2. Kabardino-Balkarian Republic. Russia. Section of the Gizhgits River downstream. Satellite image (Google Earth): 1 – Bylym Village; 2 – the main dam of the Tyrnyauz tailings dam; 3 – beach of washed-in masses; 4 – sedimentation reservoir; 5 – entrance portal of tunnel 2; 6 – debris flow deposits of 2002 and 2014; 7 – entrance portal of the tunnel 3; 8 – exit portal of the tunnel 2 – Gizhgits river mouth; 9 – Baksan river; 10 – Gizhgits river between tunnels 2 and 3; 11 – entrance portal of tunnel 1 (flooded); 12 – left bank reservoir

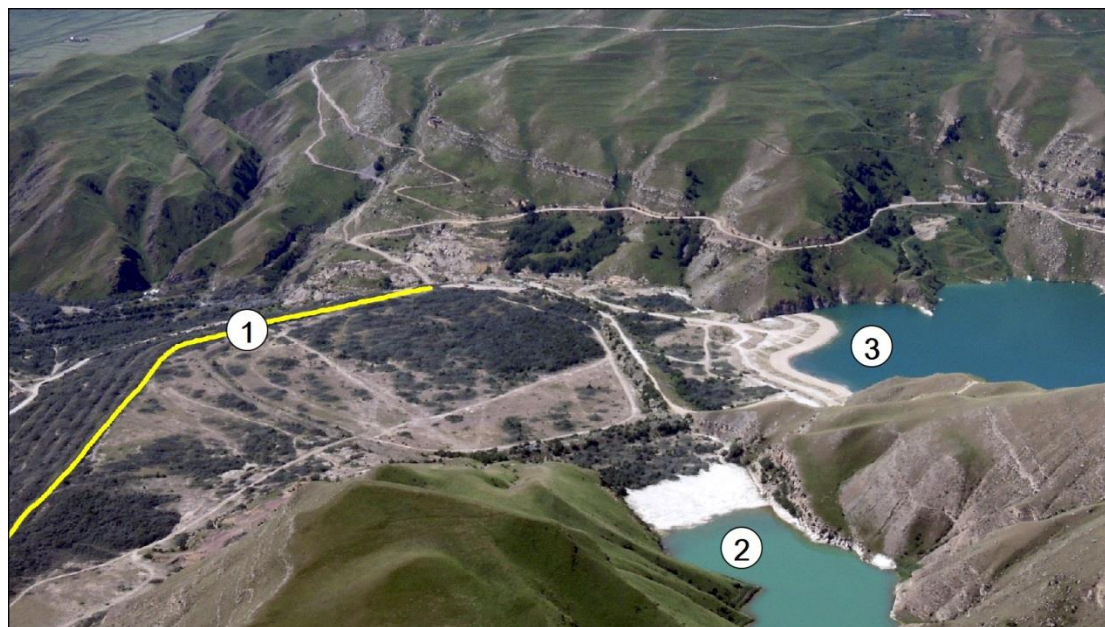


Рис. 3. Тырныаузское хвостохранилище. 10 июля 2018 г. Вид с вертолета: 1 – гребень плотины; 2 – левобережный водоем; 3 – водоем-отстойник. Фото М.Д. Докукина

Fig. 3. Tyrnyauz tailings dam. July 10, 2018. View from a helicopter: 1 – the crest of the dam; 2 – left bank reservoir; 3 – sedimentation reservoir. Photo by M.D. Dokukin

С тех пор, особенно после повторения селевого события в 2014 г. (рис. 4), ситуация на заброшенном комплексе производства прошлых лет сохраняется угрожающей.

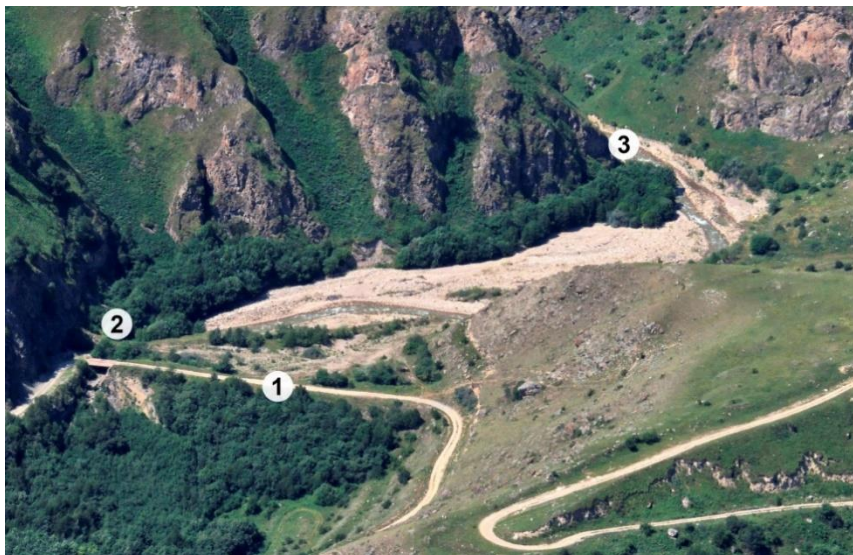


Рис. 4. Отложения селевых масс 2002 и 2014 гг. у тоннеля 2 Тырнаузского хвостохранилища: 1 – подпорная плотина; 2 – входной портал; 3 – русло р. Гижгит. Вертолетный снимок М.Д. Докукина 15.07.2016 г.

Fig. 4. Deposits of 2002 and 2014 debris flow masses near tunnel 2 of the Tyrnauz tailings dam: 1 – retaining dam; 2 – entrance portal; 3 – bed of the Gizhgит River. Photo from helicopter by M.D. Dokukin July 15, 2016

Сценарий, подобный ожидаемому с Тырнаузским хвостохранилищем, был реализован в случае с хвостохранилищем Фундан (Бразилия) в паводочный период ноября 2015 г. Около 43 млн. м³ материала железорудного передела грязевым валом высотой в 10 м поступило в близко расположенное (к транзитному руслу) водохранилище, и все 7 млн. м³ водной массы последнего влились в подошедший селевой поток, резко повысив его разрушительные возможности. Погибло 19 человек. Отложения твердого материала по руслу основной реки-приемника распространились на 120 км, а взвешенные токсичные наносы на расстояние более 650 км. Плотина хвостохранилища на момент разрушения её гребня имела высоту 110 м [Запорожченко, Докукин, 2019b].

В паводочный период января 2019 г. в результате роста фильтрационного давления была разрушена плотина выведенного из эксплуатации комплекса хвостохранилища Фейхао (Бразилия, разработчик месторождения – та же железорудная компания Vale SA) высотой 86 м (рис. 5).

Исход разжиженного материала хвостов – 11,7 млн м³, дальность выноса твердой составляющей возникшего селевого потока – 9,4 км, число погибших – около 270 человек. К счастью (рис. 6), плотина расположенного ниже водохранилища (в устье бокового притока третьего порядка), устояла [Запорожченко, Докукин, 2019c].



Рис. 5. Фейхао. Бразилия. 25 января 2019 г. Через 20 сек после первых деформаций плотины хвостохранилища. Кадр видеоролика <https://www.youtube.com/watch?v=SZ8ma4XOgow>

Fig. 5. Corrego do Feijao. Brazil. January 25, 2019. 20 seconds after the first deformations of the tailings dam. Video frame <https://www.youtube.com/watch?v=SZ8ma4XOgow>



Рис. 6. Фейхао. Бразилия. 28 марта 2019 г. Вертолетный снимок участка нижнего бьефа разрушенной плотины хвостохранилища и сохранившегося правобережного водоема (спущен после января 2019 г.). Фото Вашингтон Алвес (Reuters)

Fig. 6. Corrego do Feijao. Brazil. March 28, 2019. Helicopter image of the lower pool section of destroyed tailings dam and the preserved right-bank reservoir (drained after January 2019). Photo by Washington Alves (Reuters)

Катастрофы - аналоги

Заброшенное с 1994 г. хранилище золоторудных отходов Карамкенского ГОКа (Магаданская обл., Россия), было частично опустошено в 2009 г. при непредвиденном поступлении на поверхность сухого пляжа вод дождевого паводка руч. Туманный (рис. 7), сформировавшего разрушительный селевой поток, сопровождаемый

человеческими жертвами, токсичным загрязнением основного водотока, гибелью гидробиоты. Высота дамбы хвостохранилища около 27 м, общий объем хвостов 4,6 млн м³, участие в потоке приняло лишь меньшая их часть - менее 1 млн м³ [Запорожченко, 2019d].

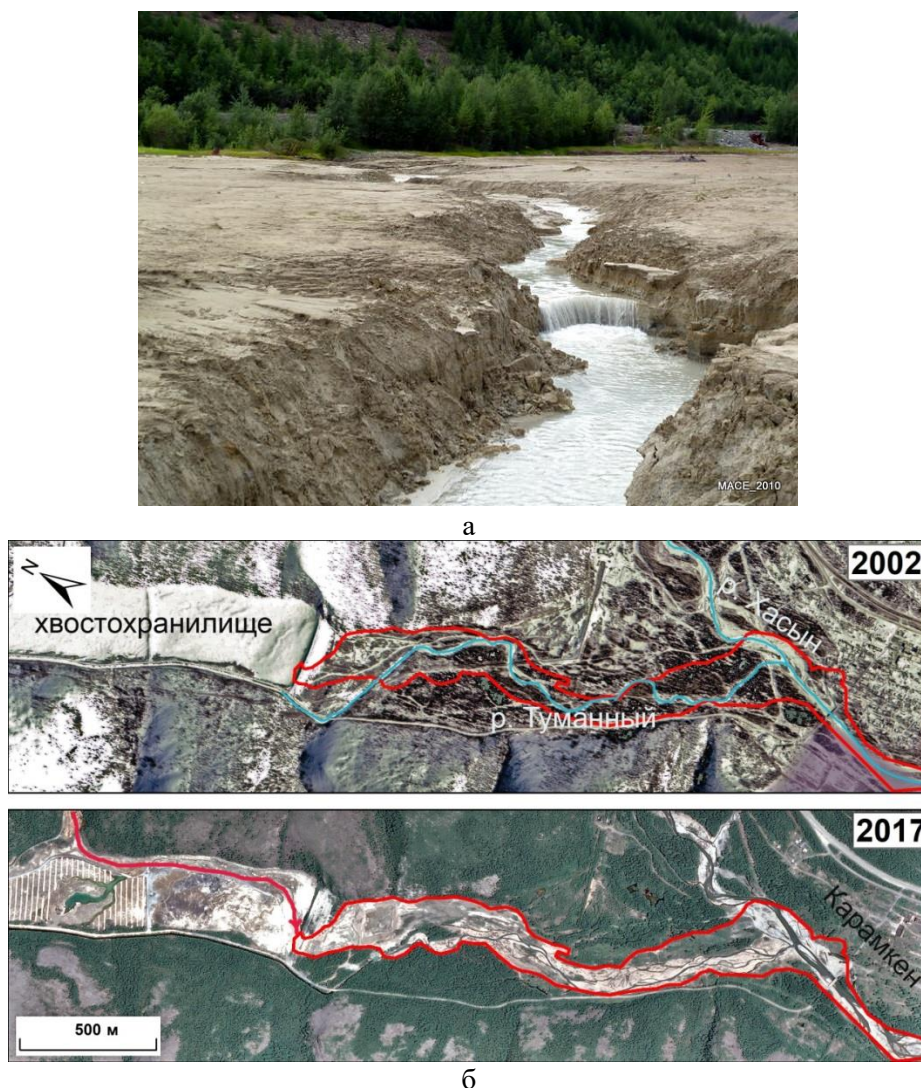


Рис. 7. Магаданская область. Россия. Посёлок Карамкен 29 августа 2009 г.: а – по водоему-отстойнику пролегло русло руч. Туманного, который продолжает размывать токсичные отложения продуктов обогащения, складированных в хвостохранилище бывшего Карамкенского ГОКа <https://primamedia.ru/news/132326/>; б – космоснимки Google Earth до и после прорыва дамбы. Красный контур – зона воздействия селевого потока

Fig. 7. Magadan region. Russia. The Karamken settlement, August 29, 2009: а – the bed of the Tumannyy stream runs along the sedimentation water body, which continues to erode toxic deposits of enrichment products stored in the tailings dam of the former Karamken GOK <https://primamedia.ru/news/132326/>; б – Google Earth satellite images before and after the dam break. Red outline – debris flow impact area

1 сентября 2017 г. интенсивные дожди в верховьях р. Адыл-Суу (Северный Кавказ, Россия) вызвали прорыв перемычки озера Башкара – естественного водоема в кармане конечной морены отступающего одноименного ледника [Черноморец и др., 2018]. Сценарий возникшего при этом селевого потока не отличался от связанного с разрушением дамб и плотин хвостохранилищ (значительный перепад отметок верхнего и нижнего бьефов). Разница состояла в параметрах твердой фазы обрушившихся в транзитный тракт селевых масс. В случае с Башкаринской катастрофой она определялась

составом новейшей морены (значительное количество крупного обломочного материала) и окатанным характером (галька, валуны) флювиогляциальных отложений, поступавших в основной поток от его эрозионной деятельности. События 1 сентября 2017 г. сопровождались значительными разрушениями существующей инфраструктуры и человеческими жертвами (рис. 8).



а



б

Рис. 8. Верховья р. Адыл-Суу, Кабардино-Балкарская Республика, Россия. После прорыва озера Башкара. Сентябрь 2017 г.: а – бывший жилой блок контейнерного типа базы отдыха «Джантуган», б – автомобиль с территории базы в селевых отложениях. Фотографии Э.В. Запорожченко

Fig. 8. Upper reaches of the Adyl-Suu River, Kabardino-Balkarian Republic, Russia. After the Bashkara Lake breakthrough. September 2017: а – former container-type residential unit of the Dzhan-tugan recreation center, б – a car from recreation center territory in debris flow deposits. Photos by E.V. Zaporozhchenko

19 октября 2019 г. прорывы каскада дамб обвалования из вскрышных крупнообломочных пород разрабатываемого золоторудного рассыпного месторождения в долине р. Малая Сейба (Красноярский край, Россия) образовал селевой поток по складуемым продуктам гидромониторного перебива, унесший жизни 17 человек расположенного под дамбой рабочего поселка [Мильман, 2019] (рис. 9). Высота селевых валов достигала 4-5 м.



а



б

Рис. 9. Р. Малая Сейба. Красноярский Край, Россия. Прорыв каскада дамб золоторудного месторождения 19 октября 2019 г: а – 25 октября 2019 г. размывается верхняя дамба каскада искусственных запруд <https://imag.one/news/rosprirrodnadzor-razrabotku-mestorozhdeniya-z/1351115>, б – космоснимки Sentinel 2A до и после прорыва запруд. Красный контур – зона поражения селевым потоком

Fig. 9. Malaya Seiba River. Krasnoyarsk Territory, Russia. Breakthrough of a cascade of gold ore deposit dams October 19, 2019: а – October 25, 2019, the upper dam of cascade of artificial barrages erodes <https://imag.one/news/rosprirrodnadzor-razrabotku-mestorozhdeniya-z/1351115>, б – Sentinel 2A satellite images before and after breakthrough of barrages. Red outline – area affected by debris flow

1 мая 1966 г. в Болгарии в г. Згориград в долине Лева погибло 488 человек (в том числе 12 детей), около 2000 получили ранения, а более 150 домов были разрушены от обрушения дамбы хвостохранилища свинцово-цинкового рудника «Мир» и схода селевого потока с объёмом отложений около 0,5 млн м³ (рис. 10).



Рис. 10. Болгария. Згориград. 1 мая 1966 г. Отложения от прорыва хвостохранилища свинцово-цинкового рудника «Мир». Фото <http://blog.arhivatora.com>

Fig. 10. Bulgaria. Zgorigrad. May 1, 1966. Sediments from the breakthrough of the of the «Mir» lead-zinc mine tailings dam. Photo <http://blog.arhivatora.com>

19 июля 1985 г. в Италии (Тренто) произошла катастрофа на двухкаскадном хвостохранилище Валь-ди-Ставе. Около 180 тыс. м³ (всего лишь!) отходов флюоритового обогащения было вынесено на 4,2 км вниз по течению, но при высокой урбанизации подкомандной территории это привело к гибели 268 человек в г. Става и г. Тесеро, потери 62-х зданий [Genevois R., Tecca P.R., 2018]. Разрушение плотины верхней ступени системы хвостохранилищ вызвало переполнение и прорыв нижней. Образовавшаяся волна грязеподобных масс («шлама») со скоростью до 100 км/ч достигла главной водной артерии р. Авизио (рис. 11).

9 апреля 2019 г. в городе Мури в индийском штате Джаркханд красноцветный шлам разработки (компания Hindalco Industries Limitid) месторождения бокситов хлынул на прилегающую к оползшей дамбе обвалования территорию (площадь зоны поражения 146 тыс. м²) с проходящей по ней железной дорогой (рис. 12). В результате 1 человек погиб и было много раненых.



Рис. 11. Италия. г. Става. 19 июля 1985 г. Фрагменты аэрофотоснимков до и после обрушения дамб хвостохранилищ (а, б), фрагмент космического снимка WorldView2 от 07.10.2017 (в); фото г. Тесеро и долины р. Авицио до и после катастрофы, фото П. Треттель, обработка М.Д. Докукина (г, д)

Fig. 11. Italy. Stava. July 19, 1985. Fragments of satellite images before and after the collapse of the tailings dams (a, б), a fragment of the WorldView2 satellite image dated 07.10.2017 (в); photo of Tesero and the Avisio River valley before and after the disaster, photo by P. Trettel, photo manipulation by M.D. Dokukin (г, д)

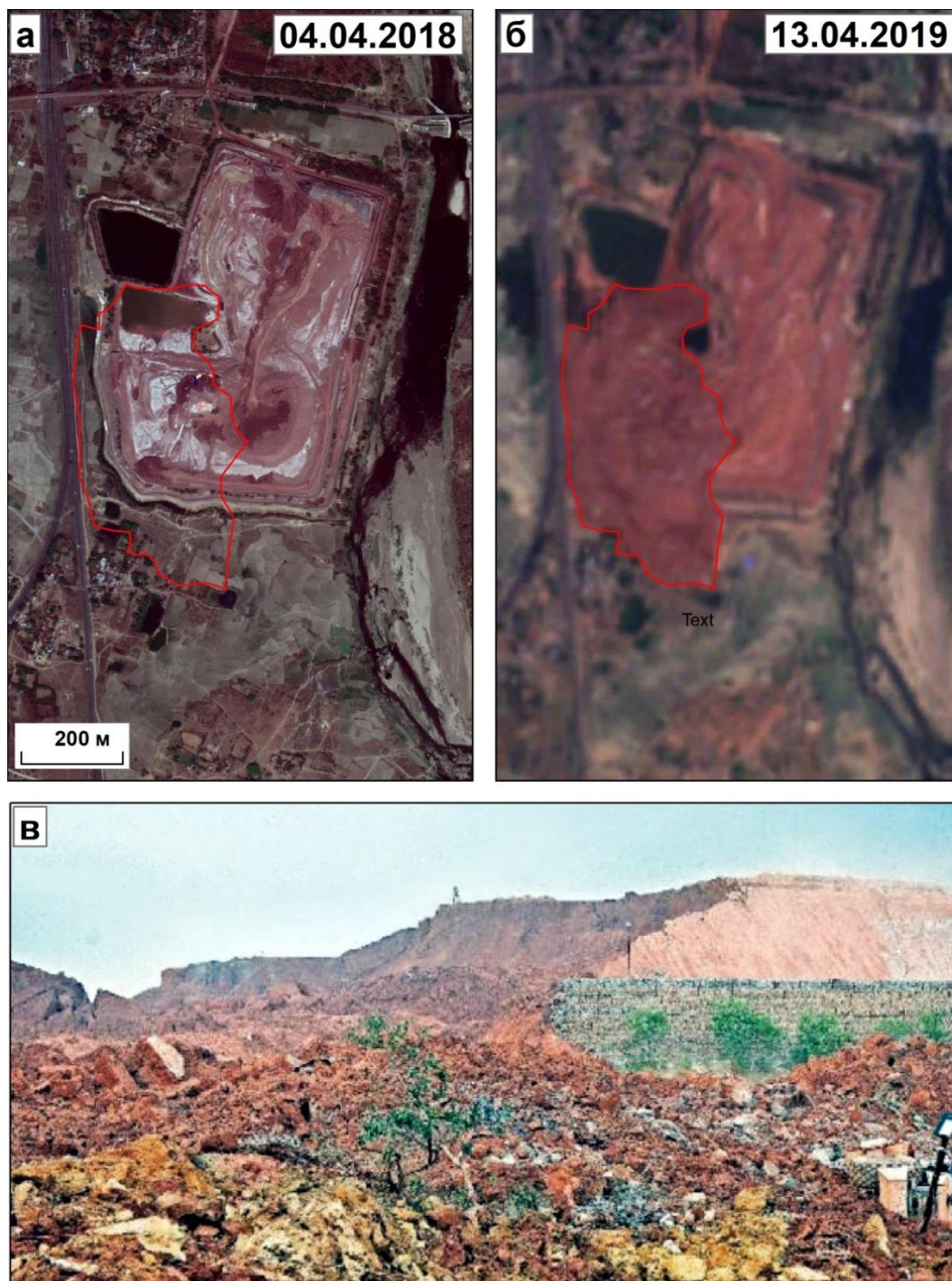


Рис. 12. Мури. Штат Джаркханд, Индия. 9 апреля 2019 г. Оползень на хвостохранилище месторождения бокситов. Космические снимки: а – Google Earth, б – Sentinel 2A, в – фото Bhaskar.com

Fig. 12. Muri. Jharkhand State, India. April 9, 2019 Landslide on the tailings dam of the bauxite deposit. Sattelite images: а – Google Earth, б – Sentinel 2A, в – photo by Bhaskar.com

22 апреля 2019 г. произошедший размыв дамбы хранилища отходов обогащения нефритового месторождения в штате Качин на севере Мьянмы стал причиной смерти 57 работников горнодобывающей компании (рис. 12). Подобная катастрофа в том же штате 21 ноября 2015 г. унесла 113 жизней. Там же, и по той же причине, 14 декабря 2015 г. погибло еще 21 человек.



Рис. 13. Качин. Мьянма. 23 апреля 2019 г. Селевые отложения в нижнем бьефе прорванной дамбы хвостохранилища, накрывшей выработки нефритового месторождения. Image from Zaw Moe Htat via AP and Pressfrom.info.<https://blogs.agu.org/landslideblog/2019/04/25/balakh-village-1/>

Fig. 13. Kachin. Myanmar. April 23, 2019. Debris flow deposits in the lower pool of the broken tailings dam, which covered the workings of the jade deposit. Image from Zaw Moe Htat via AP and Pressfrom.info.<https://blogs.agu.org/landslideblog/2019/04/25/balakh-village-1/>

В Тырнаузском хвостохранилище накоплено около 120 млн м³ тиксотропного материала при высоте удерживающего эти массы сооружения около 170 м. Функционируют два водоема объемом около 1,5 млн м³, непосредственно примыкающих к массиву хвостов и тоннельный обводной тракт (безремонтный период около 30 лет) пропускной способностью $\leq 65 \text{ м}^3/\text{с}$ при уже проходивших в XXI веке селевых паводков с расходом существенно большим $65 \text{ м}^3/\text{с}$. Сход новых селевых (наносоводных) паводков в сложившейся ситуации грозит масштабной катастрофой расположенному в нижнем бьефе плотины населенному пункту (с. Былым), инфраструктуре Приэльбрусья, возникновением разрушительного паводка по главной реке (Баксан). Необходимо безотлагательное строительство обводного открытого (действующие нормативы запрещают прием селевых расходов в тоннельные выработки) инженерного водного тракта на расходы, существенно превышающие существующие возможности. Учитывая класс требующего защиты комплекса сооружений (I-й), характер и водонасыщенность хвостовых масс, эти расходы ориентировочно оцениваются цифрами: $P_{0,1\%} = 270 \text{ м}^3/\text{с}$ и $P_{0,01\%} = 430 \text{ м}^3/\text{с}$.

Заключение

Очевидное планетарное потепление климата отражается увеличением частоты и энергетической мощности паводочных расходов ливневого происхождения на реках северного склона Главного Кавказского хребта, повышая, в частности, риск возникновения экологической катастрофы на Тырнаузском хвостохранилище, являющимся, видимо, самым опасным объектом такого рода в России.

Этому обстоятельству способствуют:

- большой объем материалов захоронения дисперсных и токсичных отходов обогащения, находящихся в водонасыщенном состоянии при неработающей дренажной системе;
- несоответствие идеологии и параметров тоннельной схемы обводного речного тракта реально складывающимся природно-техногенным условиям;
- командование над урбанизированной территорией, непосредственно примыкающей к нижнему бьефу плотины хвостохранилища;
- бесконтрольность сооружений комплекса, уже подвергшихся негативному воздействию селевых потоков и капитально (с 1998 г.) не ремонтировавшихся.
- потенциально высокая фоновая сейсмическая опасность участка размещения плотины и чаши хвостохранилища; при землетрясениях расчетной балльности плотина, с её классом, высотой и существующими параметрами, необходимой устойчивостью не обладает.

Кроме того, гидрохимические характеристики выходов фильтрационных вод и вод устьевой части искусственного русла реки не отвечают нормам безопасности.

После 1960 г. в мире произошло порядка 120 трагических событий, связанных с такими специфическими геотехническими объектами, как хранилища отходов разработок полезных ископаемых (в Бразилии, Англии, Китае, Перу, Чили, Болгарии, США, Японии, Испании, Южной Африке, Германии, Югославии, Зимбабве, Канаде, Филиппинах, Италии, Австрии, Гвиане, Новой Зеландии, Боливии, Румынии, Швеции, Венгрии, Финляндии, Армении, Мексике, Индии, Израиле, Мьянме и России). Около 65 катастроф приходится на 40 лет XX века, около 55 – на 20 лет XXI века, из них 8 случились в 2019 г., в т.ч. 3 – в Бразилии. Прогноз всегда основан на экстраполяции. Главное видеть тенденции, имеющие будущее. Игнорировать уроки прошлого при этом недопустимо.

Список литературы

- Запороженко Э.В., Докукин М.Д. (2019а). Об угрозе разрушения Тырнаузского хвостохранилища на р. Гижгит в Кабардино-Балкарской Республике. Геориск, Том XIII, 1: 72-85.
- Запороженко Э.В., Докукин М.Д. (2019b). Хвостохранилище на р. Гижгит в Кабардино-Балкарской Республике (Россия) и его проблемы. IX International scientific and technical conference “Modern problems of water management, environmental protection, architecture and construction”. Tbilisi, Georgia: pp 301-310.
- Запороженко Э.В., Докукин М.Д. (2019с). Тырнаузское хвостохранилище – объект повышенного экологического риска. Устойчивое развитие горных территорий Кавказа. Коллективная монография. Том II. РАН, Москва: 224-237.
- Запороженко Э.В., (2019d). Вглядываясь в прошлое. РИА – КМВ, 212 с.: ил. Пятигорск: 30-60.
- Мильман З. (2019). Плотины слепоты. Российская газета, №236 (7994) от 21 октября 2019 г.
- Черноморец С.С., Петраков Д.А., Алейников А.А., Беккиев М.Ю., Висхаджиева К.С., Докукин М.Д., Калов Р.Х., Кидяева В.М., Крыленко В.В., Крыленко И.Н., Рец Е.П., Савернюк Е.А., Смирнов А.М. (2018). Прорыв озера Башкара (Центральный Кавказ, Россия) 1 сентября 2017 года. Криосфера земли, Том XXII, №2: 70-80.
- Genevois R., Tecca P.R. (2018). The mud/debris flow of the Stava (Italy) tailings dams break. Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 5th International Conference. Tbilisi, Georgia, 1-5 October 2018. Ed. by S.S. Chernomorets, G.V. Gavardashvili. Tbilisi: Publishing House “Universal”, P. 87-95.
- Robertson Peter K. et al. (2019). Report of the Expert Panel on the Technical Causes of the Failure of Feijão Dam. <http://www.b1technicalinvestigation.com>