

ДИНАМИКА ДЕФОРМАЦИОННЫХ И ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА УЧАСТКЕ НАСЫПНОГО ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ ПО ДАННЫМ ВИЗУАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА

Д.А. Максимов

Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия, e-mail: maximoffda@gmail.com

Аннотация: Представлены результаты семилетнего визуального обследования участка насыпного гидротехнического сооружения (ГТС). Показано развитие локального нарушения фильтрационных процессов в теле сооружения. С января по апрель 2013 г. проявлений фильтрационных и деформационных процессов обнаружено не было. Однако уже в мае 2013 г. наблюдалось скачкообразное развитие деформационных процессов, после чего начался период постепенного деформирования поверхности полки, продлившийся с мая 2013 г. по апрель 2014 г., закончившись повторным скачкообразным развитием деформирования полки в мае 2014 г. В период с мая 2014 г. по сентябрь 2018 г. постепенного деформирования не наблюдалось, но было зафиксировано два этапа кратковременного деформирования поверхности полки. Также в августе 2016 г. наряду с кратковременной деформацией был впервые обнаружен выход на поверхность полки воды, фильтрующейся через тело дамбы. С августа 2016 г. водоприток неравномерно увеличивался, сопровождаясь периодами усиления и ослабления интенсивности выхода фильтрующихся вод. Такая динамика фильтрационных процессов сопровождалась деформированием поверхности полки. По результатам проведенных многолетних ежемесячных визуальных наблюдений был составлен временной ряд событий, наблюдавшихся на обследуемом участке. Временное распределение наблюдаемых событий свидетельствует о периодичном характере их проявления на поверхности обследуемого участка, при этом есть тенденция к увеличению водопритока на поверхность полки. Таким образом, по данным визуальных наблюдений была получена картина о динамике деформационных и фильтрационных процессов, которая свидетельствует о наличии на данном участке локального фильтрационного нарушения, а также о его развитии в течение периода наблюдения. Кроме того, на основании представленных данных можно сделать вывод о том, что визуальное обследование может быть использовано не только для идентификации, но и отслеживания динамики развития локальных фильтрационных нарушений в теле сооружения.

Ключевые слова: гидротехническое сооружение, мониторинг, визуальное обследование, деформации, протечки.

Для цитирования: Максимов Д. А. Динамика деформационных и фильтрационных процессов на участке насыпного гидротехнического сооружения по данным визуального мониторинга // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 10. – С. 80–89. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_10_0_80.

Dynamics of deformation and seepage in rockfill hydrotechnical facility by visual monitoring data

D.A. Maksimov

Mining Institute, Kola Scientific Centre of Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia,
e-mail: maximoffda@gmail.com

Abstract: The article reports the seven years-long visual monitoring data on a test site of a rock-fill hydrotechnical facility (RFHF). The evolution of local permeation abnormalities in the body of RFHF is described. No seepage and deformation were observed between January and April in 2013. In May 2013, deformation developed by jumps, continued from May 2013 to April 2014, and ended again as jumped deformation of the dam shoulder in May 2014. Between May 2014 and September 2018, no gradual deformation was observed but two stages of short-term deformation of the dam shoulder were recorded. For another thing, in August 2016, alongside with the short-term deformation, water seepage from the body of the dam to its surface was for the first time revealed. Since August 2016, the inflow of seepage water nonuniformly increased, with periods of intensification and attenuation. Such flow dynamics was accompanied with the dam shoulder deformation. From the evidence of long-term monthly visual monitoring, the time series of the observed events on the test site was composed. The time distribution of the observed events is reflective of their periodicity on the dam shoulder surface, with a clear trend of increase in the seepage water inflow. In this manner, by the data of visual observations, the pattern of deformation and seepage dynamics indicates the presence of local permeation abnormality and its enlargement within the observation period. Furthermore, the obtained data allow a conclusion to be drawn that visual inspection can help identify local permeation abnormalities in bodies of hydrotechnical facilities and trace their growth dynamics.

Key words: hydrotechnical facility, monitoring, visual inspection, deformation, leakages.

For citation: Maksimov D. A. Dynamics of deformation and seepage in rockfill hydrotechnical facility by visual monitoring data. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(10):80-89. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_10_0_80.

Введение

Насыпные гидротехнические сооружения (ГТС) играют важную роль во многих сферах человеческой деятельности: промышленности, энергетике, защите окружающей среды, управлении водными ресурсами и других [1, 2]. Так, например, насыпные ГТС используются для ограждения и накопления большого количества воды, хвостовых отложений и других веществ. В связи с этим, аварии на подобных сооружениях приводят к катастрофическим последствиям. В качестве примера рассмотрим последствия нескольких аварий на насыпных дамбах

хвостохранилищ, произошедших за последние 10 лет:

- в результате разрушения дамбы хвостохранилища медного рудника Согбизамине в Перу, произошедшего 10 июля 2019 г., высвободилось 67 488 м³ хвостов, которые разлились на площади 41 574 м² [3];
- 25 января 2019 г. произошла авария на хвостохранилище горнорудной компании Córregodo Feijão (Бразилия), в результате которой выплеснулись хвосты объемом 12 млн м³, погибло 259 чел. [4];
- разрушение дамбы хвостохранилища, произошедшее 9 марта 2018 г. в Ав-

стралии, на руднике, разрабатывающем месторождение меди и золота Cadia, привело к потере 1,33 млн т хвостов [5];

- в результате аварии на дамбе хвостохранилища компании Xiangjiang Wanji Aluminium, произошедшего 8 августа 2016 г. в провинции Хэнань (Китай) было потеряно 2 млн м³ хвостов, деревня Лоян была практически полностью уничтожена, а 300 соседних деревень — эвакуированы [6]. По прогнозам прямой экономической ущерб от дефицита сырья, вызванного аварией, составил 621 млн долл.;

- разрушение дамбы хвостохранилища в Бенто-Родригес (Бразилия), произошедшее 5 ноября 2015 г. привело к гибели 17 чел. и порядка 16 чел. пострадало [7]. В результате около 60 млн м³ хвостов попали в реки Бразилии и Атлантический океан. По соглашению с правительством Бразилии компания Самарко выплатила 20 млрд бразильских реалов;

- 4 августа 2014 г. в результате разрушения дамбы хвостохранилища рудника Mount Polley (Канада), на котором добывалась медь и золото, в близлежащие водоемы, являющиеся источником питьевой воды, попало 10 млн м³ загрязненных технических вод и 4,5 млн м³ хвостов [8];

- прорыв дамбы хвостохранилища рудника Buenavistadel Cobre (Мексика), произошедший 12 августа 2014 г., привел к выбросу 40 000 м³ раствора сульфата меди в реку Баканучи, а из нее в реку Сонора, являющуюся источником питьевой воды для порядка 22 000 чел. [9];

- 4 октября 2010 г. в результате разрушения дамбы хвостохранилища рудника по производству алюминия компании Ajkai Timföldgyár (Венгрия) выплеснулись хвосты оценочным объемом около 1,1 млн м³ (38,8 куб. футов), причинив огромный ущерб окружающей среде

[10]. Загрязненная территория составила порядка 15 км². В результате катастрофы погибло 10 чел. и более 150 получили химические ожоги, в восточной части Айки было повреждено 350 домов. Только правительство Венгрии потратило на устранение аварии 30 млрд форинтов (около 4 млрд руб.). 12 октября 2010 г. компания MAL Hungarian Aluminium была национализирована.

В связи с катастрофическими масштабами последствий аварий на насыпных ГТС обеспечению их надежности и устойчивости уделяется значительное внимание. Однако, несмотря на это, в сфере обеспечения безопасности таких сооружений все еще остаются слабые места. Например, существующие системы мониторинга ГТС не могут быть эффективно использованы для обнаружения и оценки локальных фильтрационных процессов, несмотря на то, что они являются причиной порядка 31% аварий [11].

Методы

Одним из путей решений данной проблемы является использование визуального обследования насыпного ГТС [12]. Согласно предписаниям нормативных документов, на насыпных ГТС должно обязательно проводится визуальное обследование. Инструкции, приведенные в нормативных документах, предписывают наблюдение за значительным количеством элементов сооружения и их параметров, таких как соответствие элементов ГТС проекту, состояние откосов, берм и гребня дамб, состояние дренажных устройств, санитарное состояние территории, уровень воды и отходов в накопителе и других [13–16].

Такой масштабный и всесторонний охват контролируемых параметров делает невозможным регламентацию отдельных узкоспециализированных индикаторов, а также методик их интерпрета-

ции, что приводит к неэффективности использования описанных инструкций при решении отдельных задач, таких как идентификация локальных фильтрационных нарушений. В связи с этим возникает необходимость разработки методик и инструкций, дополняющих и детализирующих инструкции, предписанные нормативными актами. С этой целью ранее был разработан специализированный комплекс геоиндикаторов, направленный на поиск и обнаружение в теле насыпных ГТС локальных фильтрационных нарушений по визуальным проявлениям этих нарушений на поверхности [17].

В данной статье представлены результаты визуального обследования участка насыпного ГТС в период с января 2013 г. по декабрь 2019 г. На этом участке в полевых условиях было проведено опробование разработанной системы индикаторов, а также показана динамика наблюдавшихся деформационных и фильтрационных процессов.

В качестве тестового полигона был выбран участок насыпного ГТС, на котором в архиве были отмечены аномальные колебания уровня воды в пьезомет-

рах и деформации полки. Визуальное обследование сопровождалось фотодокументацией выявленных нарушений и элементов сооружения в целом. Для фотодокументации использовался фотоаппарат Fujifilm Fine Pix HS30EXR. За счет возможности производить фотосъемку с приближением до 30 раз фотоаппарат позволяет фиксировать выявленные нарушения с вышележащих уступов сооружения.

Результаты

Период начала наблюдений с января по апрель 2013 г. можно охарактеризовать как стабильный, в ходе которого не было выявлено признаков нарушений фильтрационных и деформационных процессов. Однако уже в мае 2013 г. произошло скачкообразное развитие деформации полки на рассматриваемом участке (рис. 1).

Как видно из рис. 1, в ходе периода кратковременного деформирования произошли многочисленные локальные проседания поверхности полки. С мая 2013 г. начался период постепенного деформирования, который продлился до апреля 2014 г. и сопровождался посте-



Рис. 1. Динамика деформирования поверхности полки в период май 2013 г. — май 2014 г.

Fig. 1. Deformation dynamics of dam shoulder surface in May 2013–May 2014

пенным проседанием небольших участков рассматриваемой полки. В мае 2014 г. произошло повторное кратковременное деформирование поверхности сооружения на обследуемом участке (рис. 1), после которого наступил относительно стабильный период, в течение которого новых деформаций выявлено не было. В периоды постепенного и кратковременного деформирования наблюдалось соответственно постепенное и скачкообразное проседание поверхности полки. При этом проявлений фильтрующихся вод в данный период на поверхности сооружения обнаружено не было. Однако подобный характер деформирования является индикатором наличия в теле сооружения фильтрационных нарушений. Это может свидетельствовать о наличии на участке нарушения фильтрационных процессов, которое на данном этапе развития может не проявляться на поверхности сооружения.

На протяжении больше чем двух лет с мая 2014 г. по сентябрь 2018 г. постепенного деформирования поверхности полки сооружения не наблюдалось. Однако в этот период было зафиксировано два этапа кратковременного дефор-

мирования поверхности полки: в мае 2015 г. и августе 2016 г. (рис. 2).

Как видно из рис. 2, деформации снова носили характер проседания. Подобное периодическое возникновение схожих деформаций на протяжении почти 2,5 лет (с января 2013 г. по май 2015 г.) уже позволяет с высокой долей уверенности предполагать наличие на этом участке локального нарушения фильтрационных процессов, происходящих в теле сооружения. Так вода, фильтрующаяся в теле сооружения, могла приводить к вымыванию частиц материала ГТС на данном участке с формированием в теле сооружения полостей или ослабленных зон. При достижении ими критических размеров, определяемых свойствами грунтов, происходило кратковременное или постепенное обрушение вышележащих слоев материала сооружения. В связи с данным предположением были предприняты действия по поиску следов выноса материала сооружения и других индикаторов нарушения фильтрационных процессов на нижележащих полках сооружения и в его основании. Однако в ходе визуального обследования у подошвы сооруже-



Рис. 2. Кратковременное деформирование полки в мае 2015 г. и августе 2016 г.

Fig. 2. Short-term deformation of dam shoulder surface in May 2015 and in August 2016

ния признаков фильтрационных нарушений обнаружено не было, что может объясняться наличием у основания сооружения водного объекта, маскирующего искомые проявления.

Однако в августе 2016 г. наряду с кратковременной деформацией был впервые обнаружен выход на поверхность полки воды, фильтрующейся через тело дамбы (рис. 2), который сопровождался выносом мелких частиц сооружения. Наблюдения показали, что вынос материала сооружения не мог происходить с поверхности ГТС по причине, например, атмосферных осадков. Таким образом, во-первых, в августе 2016 г. к наблюдаемым деформациям поверхности полки добавилось еще два индикатора наличия на данном участке локального фильтрационного нарушения. Во-вторых, наблюдаемая динамика проявлений фильтрационных и деформационных процессов на поверхности сооружения позволила сделать предположение о дальнейшем развитии нарушения.

С августа 2016 г. по июль 2018 г. водоприток на поверхность полки был небольшим и не вызвал опасений у эксплуатирующей организации, а наблю-

давшиеся деформации были устранены отсыпкой поверхности полки сооружения.

С июля по октябрь 2018 г. наблюдается постепенное усиление водопритока на поверхность полки (рис. 3). Пик водопритока был зафиксирован в октябре 2018 г., после чего в зимний период он начал постепенно снижаться до умеренных значений, однако уже в апреле 2019 г. произошел новый скачек объемов воды, инфильтрующихся на поверхность сооружения.

Усиление фильтрационных процессов сопровождалось новым циклом деформационных процессов. Так, в октябре и ноябре 2018 г. были зафиксированы всплески кратковременных деформационных процессов (рис. 3), которые впоследствии сменились периодом постепенного деформирования поверхности полки сооружения, продлившегося до мая 2019 г.

Одновременная интенсификация выхода на поверхность полки фильтрующейся воды и новые этапы скачкообразного деформирования служат подтверждением сделанного предположения о связанности этих процессов, а также о после-



Рис. 3. Вид сверху участка обследуемой дамбы (октябрь–ноябрь 2018 г.)

Fig. 3. Topside view of test dam site (October–November 2018)

довательном развитии фильтрационного нарушения.

Таким образом, видно, что за период с января 2013 г. по декабрь 2019 г. на рассматриваемом участке насыпного ГТС неоднократно наблюдались проявления деформационных и фильтрационных процессов. Результаты визуального обследования рассматриваемого участка были объединены во временном ряду, представленном на рис. 4. Кроме фильтрационных и деформационных процессов на временной ряд были нанесены периоды восстановления поверхности полки с помощью отсыпки. Для лучшей наглядности временная шкала на рис. 4 была сокращена за счет удаления месяцев, в которых не наблюдалось изменения каких-либо деформационных и фильтрационных процессов, а также иных событий.

Временной ряд, представленный на рис. 4, показывает динамику развития фильтрационных и деформационных процессов во времени. Из временного ряда

видно развитие наблюдаемых фильтрационных процессов: появление воды на полке, усиление водопритока, характеризующееся периодическими всплесками и затуханием. Также видно, что деформационные процессы происходили в течение всего рассматриваемого периода времени, а выход фильтрующихся вод на поверхность полки начался только с августа 2016 г. Такая картина может быть связана с тем, что первые 3,5 года наблюдений фильтрационные процессы, приводящие к деформированию полки сооружения, происходили в скрытой форме и не проявлялись на поверхности, но уже приводили к ее деформированию.

Кроме того, из представленного временного ряда наблюдавшихся на поверхности сооружения явлений хорошо заметен периодичный характер деформаций полки и неравномерное развитие фильтрационных процессов, сопровождающееся периодами усиления выхода на поверхность фильтрующихся вод и

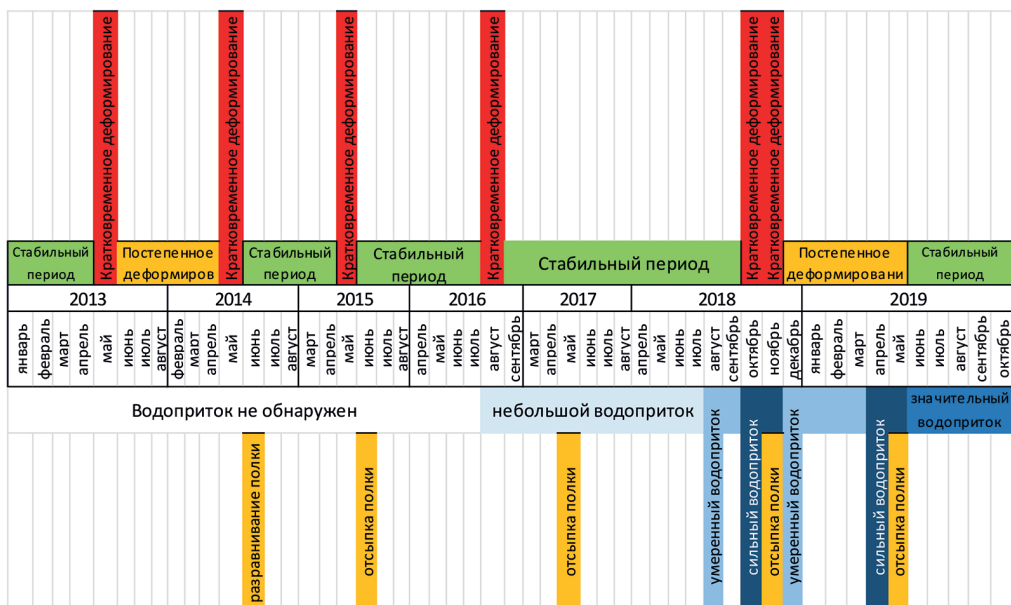


Рис. 4. Временной ряд событий, наблюдавшихся на обследуемом участке

Fig. 4. Time series of events observed on test site

периодами стабилизации водопритока на умеренном уровне.

Заключение

Подводя итог, можно сказать, что визуальное обследование выбранного участка насыпного ГТС позволило обнаружить и проследить динамику проявления деформационных и фильтрационных процессов на поверхности в период с 2013 по 2019 гг. По данным наблюдений был составлен временной ряд наблюдаемых явлений. Из полученного ряда видно, что в первые 3,5 года наблюдались как периоды кратковременного деформирования поверхности полки, например, в мае 2013, 2014 и 2015 гг., так и периоды постепенного деформирования, например, в период с мая 2013 по апрель 2014 гг. Кроме того, были зафиксированы и относительно стабильные периоды, характеризующиеся отсутствием проявлений деформационных процессов, например, с января по апрель 2013 г. В августе 2016 г. был впервые зафиксирован выход на поверхность фильтрующихся вод, а также проявление следов выноса частиц материалов сооружения. В дальнейшем наблюдалась интенсификация инфильтрации воды на

поверхность сооружения и параллельное развитие деформационных процессов. Рост водопритока на поверхность полки носил неравномерный характер: наблюдались периоды усиления и периоды его стабилизации на умеренном уровне.

Таким образом, визуальное обследование позволило получить картину динамики фильтрационных и деформационных процессов на обследуемом участке. Можно сделать вывод о том, что визуальное обследование с использованием разработанной ранее системы индикаторов позволяет не только выявлять, но наблюдать динамику развития локального фильтрационного нарушения. Также представленные результаты свидетельствуют о том, что использованная система визуальных индикаторов фильтрационных нарушений может эффективно дополнять существующие методики и инструкции по проведению визуального обследования насыпных ГТС. Таким образом, использованную систему индикаторов целесообразно применять при визуальном обследовании насыпных ГТС параллельно с использованием инструкций, изложенных в нормативных актах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ахметов Е. М., Асемов К. М., Жуматаева М. О.* Исследование аварий на гидротехнических сооружениях и методы контроля их безопасности // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2020. — № 3. — Т. 331. — С. 70–83. DOI: 10.18799/24131830/2020/4/2595.
2. *Мельников Н. Н., Калашник А. И., Калашник Н. А., Запорожец Д. В.* Применение современных методов для комплексных исследований состояния гидротехнических сооружений региона Баренцева моря // Вестник Мурманского государственного технического университета. — 2017. — № 1-1. — Т. 20. — С. 13–20.
3. *Adamo N., Al-Ansari N., Sissakian V. K., Laue J., Knutsson S.* Dam safety: the question of tailings dams // Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering. 2021, vol. 11, no. 1, pp. 1–26. DOI: 10.47260/jesge/1111.
4. *Cambridge M., Shaw D.* Preliminary reflections on the failure of the Brumadinho tailings dam in January 2019 // Dams and Reservoirs. 2019, vol. 29, pp. 113–123. DOI: 10.1680/jdare.19.00004.

5. Chua S., Fuhrmann T., Garthwaite M. Leveraging open-access remote sensing imagery to monitor dam infrastructure: Case study of the Cadia tailings dam collapse, Australia / NZSOLD/ANCOLD Conference Materials, 2019, pp. 1 – 9.

6. Major tailings dam burst reported in China. URL: <http://www.mining.com/major-tailings-burst-reported-in-china/>

7. Demajorovic J., Lopes J., Demajorovic A. The Samarco dam disaster. A grave challenge to social license to operate discourse // Resources Policy. 2019, vol. 61, pp. 273 – 282. DOI: 10.1016/j.resourpol.2019.01.017.

8. McMahan K. Mount polley mine August 2014 tailings dam embankment breach response and approach to remediation / British Columbia Mine Reclamation Symposium Materials. 2016, pp. 170 – 189. DOI: 10.14288/1.0354683.

9. Bazúa-Rueda E., Bernal-González M., Amabilis-Sosa L., Cano-Rodríguez M., García-Gómez R., Ramírez-Burgos L., Bernal I., Sánchez-Tovar S., Solís-Fuentes J., Duran M. Mining, water and society: recycling of mining effluents as a social solution to the use of water in Mexico // Water Availability and Management in Mexico. 2020, pp. 389 – 411. DOI: 10.1007/978-3-030-24962-5_19.

10. Mayes W. M., Burke I. T., Gomes H. I., Anton Á. D., Molnár M., Feigl V., Ujaczki É. Advances in understanding environmental risks of red mud after the Ajka Spill, Hungary // Journal of Sustainable Metallurgy. 2020, vol. 2, no. 4, pp. 332 – 343. DOI: 10.1007/s40831-016-0050-z.

11. Azam S., Li Q. Tailings dam failures: a review of the last one hundred years // Geotechnical News. 2010, vol. 28, pp. 50 – 54.

12. Максимов Д. А. Визуальное обследование в системе мониторинга насыпных гидротехнических сооружений // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2019. – № 12-2 (39). – С. 134 – 138.

13. ГОСТ Р 55260.1.4-2012 Гидроэлектростанции. Часть 1-4. Сооружения ГЭС гидротехнические. Общие требования по организации и проведению мониторинга.

14. Инструкция о порядке ведения мониторинга безопасности гидротехнических сооружений предприятий, организаций, подконтрольных органам Госгортехнадзора России РД 03-259-98.

15. Правила безопасности гидротехнических сооружений накопителей жидких промышленных отходов ПБ 03-438-02.

16. Свод правил. Гидротехнические сооружения. СП 58.13330.2012.

17. Максимов Д. А. Индикаторы наличия в теле насыпного гидротехнического сооружения локальных нарушений фильтрационной устойчивости // Проблемы недропользования. – 2018. – № 2 (17). – С. 98 – 105. **ЦИБ**

REFERENCES

1. Akhmetov E. M., Asemov K. M., Zhumataeva M. O. Research of accidents of hydraulic structures and safety control methods. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring geosursov*. 2020, no. 3, vol. 331, pp. 70 – 83. [In Russ]. DOI: 10.18799/24131830/2020/4/2595.

2. Mel'nikov N. N., Kalashnik A. I., Kalashnik N. A., Zaporozhets D. V. The use of modern methods for complex studies of the hydrotechnical structures of the Barents sea region. *Vestnik Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2017, no. 1-1, vol. 20, pp. 13 – 20. [In Russ].

3. Adamo N., Al-Ansari N., Sissakian V. K., Laue J., Knutsson S. Dam safety: the question of tailings dams. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*. 2021, vol. 11, no. 1, pp. 1 – 26. DOI: 10.47260/jesge/1111.

4. Cambridge M., Shaw D. Preliminary reflections on the failure of the Brumadinho tailings dam in January 2019. *Dams and Reservoirs*. 2019, vol. 29, pp. 113 – 123. DOI: 10.1680/jdare.19.00004.

5. Chua S., Fuhrmann T., Garthwaite M. Leveraging open-access remote sensing imagery to monitor dam infrastructure: Case study of the Cadia tailings dam collapse, Australia. *NZSOLD/ANCOLD Conference Materials*, 2019, pp. 1 – 9.

6. Major tailings dam burst reported in China. URL: <http://www.mining.com/major-tailings-burst-reported-in-china/>

7. Demajorovic J., Lopes J., Demajorovic A. The Samarco dam disaster. A grave challenge to social license to operate discourse. *Resources Policy*. 2019, vol. 61, pp. 273 – 282. DOI: 10.1016/j.resourpol.2019.01.017.

8. McMahan K. Mount polley mine August 2014 tailings dam embankment breach response and approach to remediation. *British Columbia Mine Reclamation Symposium Materials*. 2016, pp. 170 – 189. DOI: 10.14288/1.0354683.

9. Bazúa-Rueda E., Bernal-González M., Amabilis-Sosa L., Cano-Rodríguez M., García-Gómez R., Ramírez-Burgos L., Bernal I., Sánchez-Tovar S., Solís-Fuentes J., Duran M. Mining, water and society: recycling of mining effluents as a social solution to the use of water in Mexico. *Water Availability and Management in Mexico*. 2020, pp. 389 – 411. DOI: 10.1007/978-3-030-24962-5_19.

10. Mayes W. M., Burke I. T., Gomes H. I., Anton Á. D., Molnár M., Feigl V., Ujaczki É. Advances in understanding environmental risks of red mud after the Ajka Spill, Hungary. *Journal of Sustainable Metallurgy*. 2020, vol. 2, no. 4, pp. 332 – 343. DOI: 10.1007/s40831-016-0050-z.

11. Azam S., Li Q. Tailings dam failures: a review of the last one hundred years. *Geotechnical News*. 2010, vol. 28, pp. 50 – 54.

12. Maksimov D. A. Visual inspection in the monitoring system of ground hydrotechnical facilities. *International journal of humanities and natural sciences*. 2019, no. 12-2 (39), pp. 134 – 138. [In Russ].

13. *Gidroelektrostantsii. Ch. 1-4. Sooruzheniya GES gidrotekhnicheskije. Obshchie trebovaniya po organizatsii i provedeniyu monitoringa. GOST R 55260.1.4-2012* [Hydroelectric power plants. Part 1-4. Hydrotechnical power stations. General requirements for organization and monitoring. State Standard R 55260.1.4-2012]. [In Russ].

14. *Instruktsiya o poryadke vedeniya monitoringa bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheniy predpriyatiy, organizatsiy, podkontrol'nykh organam Gosgortekhnadzora Rossii RD 03-259-98* [Instruction on the procedure for monitoring the safety of enterprises hydrotechnical facilities, organizations controlled by the State Mining and Technical Supervision of Russia RD 03-259-98]. [In Russ].

15. *Pravila bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheniy nakopiteley zhidkikh promyshlennykh otkhodov PB 03-438-02* [Safety Rules for hydrotechnical facilities PB 03-438-02]. [In Russ].

16. *Svod pravil. Gidrotekhnicheskije sooruzheniya. SP 58.13330.2012* [Regulations. Hydrotechnical facilities. SP 58.13330.2012]. [In Russ].

17. Maksimov D. A. Indicators for the presence of local filtration stability disturbances in the ground hydrotechnical facility body. *Problemy nedropol'zovaniya*. 2018, no. 2 (17), pp. 98 – 105. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Максимов Дмитрий Анатольевич – научный сотрудник,
Горный институт КНЦ РАН, e-mail: maximoffda@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

D.A. Maksimov, Researcher, e-mail: maximoffda@gmail.com,
Mining Institute, Kola Scientific Centre of Russian Academy of Sciences,
184209, Apatity, Russia.

Получена редакцией 15.12.2020; получена после рецензии 29.01.2021; принята к печати 10.09.2021.
Received by the editors 15.12.2020; received after the review 29.01.2021; accepted for printing 10.09.2021.