

КОЛЬМАТАЦИЯ ПЬЕЗОМЕТРОВ КАК ИНДИКАТОР РАЗВИТИЯ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ НАРУШЕНИЙ В НАСЫПНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЯХ

Д. А. Максимов

¹ Горный институт — обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук», Апатиты, Россия

Аннотация: Рассмотрен механизм формирования фильтрационного нарушения в теле насыпного гидротехнического сооружения (ГТС) в результате выноса частиц сооружения, происходящего из-за смещения баланса удерживающих и сдвигающих сил, действующих на частицы материала сооружения. Так как частицы, смещенные фильтрующимся потоком, оседают на фильтровой части пьезометров, сделано предположение о том, что кольматация фильтров пьезометров может служить индикатором наличия и развития в теле насыпных ГТС локальных фильтрационных нарушений. Для подтверждения сделанного предположения были проанализированы данные комплексного обследования ограждающих дамб хвостохранилища обогатительной фабрики горнорудного предприятия Мурманской области. В результате рекогносцировочного обследования был обнаружен кольматированный и заиленный пьезометр. Экспресс-налив показал снижение фильтрационного свойства данного пьезометра относительно выбранного эталонного. Георадарные обследования дамбы позволили выявить зоны неоднородности, находящиеся ниже уровня фильтрующихся вод, что дало возможность связать данные неоднородности с фильтрационными процессами в теле сооружения. По данным визуального обследования у подошвы ГТС в створе с кольматированным пьезометром был обнаружен выход фильтрующихся вод, сопровождающийся суффозионным выносом частиц материала сооружения. Кроме развития локального фильтрационного нарушения, суффозионный вынос частиц материала сооружения приводил и к оседанию вымытых частиц на фильтре пьезометра, за чем последовали его кольматация и заиливание. Таким образом, видно, что развитие локального фильтрационного нарушения сопровождалось кольматацией фильтра пьезометра. В связи с этим можно рассматривать кольматацию пьезометра как индикатор наличия и развития фильтрационных нарушений в теле насыпного ГТС.

Ключевые слова: гидротехническое сооружение, дамба, кольматация, пьезометр, фильтрация, суффозия, визуальное наблюдение, георадиолокация.

Для цитирования: Максимов Д. А. Кольматация пьезометров как индикатор развития фильтрационных нарушений в насыпных гидротехнических сооружениях // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 5–1. — С. 270–279. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_51_0_270.

Clogging of piezometer filters as indicator of impaired permeability of rock-fill embankments

D. A. Maksimov

Mining Institute – Subdivision of the Federal Research Centre «Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences», Apatity, Russia

Abstract: The article reviews the mechanism of permeability irregularity in a rock-fill embankment body as a result of removal of particles of the structure due to imbalance of confining and shear forces applied to these particles. Since the particles displaced by the seepage flow are deposited on filters of piezometers, it is assumed that clogging of the filters can serve as an indicator of the initiation and development of local permeability irregularity in rock-fill hydraulic structures. To confirm this assumption, the author has analyzed the integrated survey data on dams of tailings storage at a dressing plant in the Murmansk Region. The reconnaissance survey has detected a clogged and silted piezometer. Express pouring has shown impaired permeability of this piezometer as compared with the selected reference piezometer. GPR surveys of the dam have revealed heterogeneity zones below the level of seepage water, which allows relating the heterogeneities with permeation processes in the body of the hydraulic structure. The visual observation has found out a water outlet at the bottom of the dam, in the cross section with the clogged piezometer. The outlet was accompanied by suffusion removal of particles of the structure material. Alongside with the local permeation irregularity, suffusion caused settling of particles on the piezometer filter, with its resultant clogging and siltation. Thus, the growth of the local permeability irregularity is accompanied with clogging of filter of piezometer. So, the piezometer filter clogging can be considered as an indicator of impaired permeability and its development in the body of a rock-fill hydraulic structure.

Key words: hydraulic structure, dam, clogging, piezometer, permeation, suffusion, visual observation, georadar.

For citation: Maksimov D. A. Clogging of piezometer filters as indicator of impaired permeability of rock-fill embankments. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(5–1):270–279. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_51_0_270.

Введение

Насыпные гидротехнические сооружения (ГТС) нашли широкое распространение и играют важную роль во многих сферах деятельности человека. Например, только благодаря накоплению и управлению водными потоками рек могут существовать гидроэлектростанции; защитные дамбы предотвращают ущерб, который может нанести вода тем или иным сооружениям; а современное горнорудное производство немислимо без организованных площадок складирования отходов – хвостохранилищ, работа

которых невозможна без надежности дамб обвалования. В связи с этим, аварии на насыпных ГТС зачастую приводят к катастрофическому ущербу: загрязнению или затоплению огромных территорий, значительному ущербу инфраструктуре, а зачастую и к многочисленным жертвам [1–4]. Кроме того, существует и специфический ущерб, характерный для отдельного вида ГТС. Например, пусть и небольшое по масштабу разрушение ограждающих дамб хвостохранилища ведет к нарушению технологической цепочки работы горнорудного пред-

приятия, которое можно упрощенно описать цепочкой: разведка-добыча-переработка-реализация/складирование. Нарушение работы хвостохранилища ведет к невозможности складирования отходов переработки руд — хвостов, а также разрушению прудка хвостохранилища — важного элемента в обороте технических вод предприятия. Вследствие отсутствия возможности складирования хвостов останавливается работа обогатительной фабрики, что приводит к невозможности выпускать готовую продукцию и остановке всего предприятия и связанных с ним производств.

В связи с этим значительное внимание уделяется надежности насыпных ГТС, которая зависит от многих факторов. К основным критериям, определяющим состояние сооружения, можно отнести его деформационные и фильтрационные параметры.

Методы

Контроль за фильтрационными процессами, происходящими в теле насыпного ГТС осуществляется с помощью пьезометров — специально оборудованных скважин, позволяющих измерять уровень воды в фильтровой колонне. Пьезометры располагаются створами, перпендикулярными оси сооружения, что позволяет отслеживать положение депрессионной кривой в теле ГТС. Однако кроме равномерного потока фильтрующейся воды, которая может быть описана положением депрессионной кривой, существуют локальные фильтрационные нарушения, приводящие к перераспределению фильтрационных потоков и другим явлениям. При этом данные нарушения крайне опасны: порядка 31 % аварий на насыпных ГТС происходит именно в результате локальных протечек [5].

В настоящее время не существует методики идентификации и изучения подобных нарушений, которые могли бы применяться персоналом эксплуатирующего ГТС предприятия. Так, например, существующие геофизические методы, которые позволяют выявлять локальные нарушения в теле сооружений, крайне дорогостоящи для регулярного и масштабного обследования протяженных дамб и плотин, и используются прежде всего для решения отдельных задач на небольших участках сооружений. Однако можно выделить георадарное зондирование — геофизический метод, который в меньшей степени подвержен перечисленным недостаткам и может быть эффективно использован при обследовании ГТС и других целей, особенно на заранее выделенных участках [6—8].

Для выделения проблемных участков хорошо подходит визуальное обследование, которое является основным методом, применяемым для оценки множества факторов, влияющих на ГТС [9—10]. Кроме того, при использовании специальных индикаторов визуальное наблюдение позволяет находить локальные фильтрационные нарушения [11]. Впрочем, визуальное обследование не всегда позволяет выявлять фильтрационные нарушения на ранних стадиях формирования, на которых искомые нарушения не проявляются на поверхности сооружения.

В связи с этим актуальной является задача выявления локальных фильтрационных нарушений на ранних стадиях их формирования без привлечения дорогостоящих геофизических и геологических методов, используя при этом существующую систему контрольно-измерительной аппаратуры (КИА). Например, сеть пьезометрических скважин ГТС.

Результаты

Для определения индикаторов развития локальных фильтрационных нарушений, получаемых по данным измерений воды в пьезометрах, рассмотрим процесс формирования локального фильтрационного нарушения.

При проектировании насыпных ГТС важнейшую роль играет определение коэффициента устойчивости сооружения в целом и отдельных его элементов. Коэффициент устойчивости определяется как соотношение удерживающих и сдвигающих сил, действующих на элементы сооружения. Кроме баланса сил, действующих на элементы ГТС, важен и баланс удерживающих и сдвигающих сил, действующих на отдельно взятую частицу материала сооружения. При соблюдении баланса сил, действующего на частицы сооружения, выноса частиц не происходит. На данный баланс влияет множество факторов, например, положение депрессионной кривой, скорость фильтрации воды, механическое воздействие, применение методов повышения противofильтрационных свойств материала сооружения и другие. При смещении баланса в сторону сдвигающих частицы сил начинается процесс механического выноса частиц материала сооружения. Вынос частиц на отдельном участке сооружения приводит к снижению противofильтрационных свойств ГТС на данном участке, что приводит к дополнительной концентрации фильтрующихся потоков на данном участке, в результате процесс выноса частиц усиливается. Происходит формирование локального фильтрационного нарушения.

Если на участке развивающегося выноса частиц и формирующегося локального фильтрационного нарушения располагается пьезометр, вымываемые частицы могут задерживаться

и оседать на фильтре пьезометра, что приводит к кольматации фильтра и/или заилению пьезометра. Таким образом, можно предположить, что одним из индикаторов, который может свидетельствовать о формировании локального фильтрационного нарушения, может служить кольматация пьезометров существующей КИА.

Для подтверждения или опровержения данной гипотезы рассмотрим результаты мониторинга насыпной дамбы хвостохранилища обогатительной фабрики одного из горнорудных предприятий Кольского полуострова. На рассматриваемой дамбе проводились комплексные инженерные изыскания, которые включали обследование пьезометрической сети, измерение глубин воды, экспресс-наливы в пьезометры, а также визуальные наблюдения и георадарное обследование. При обследовании системы КИА дамб хвостохранилища выбранного предприятия были проведены работы на 14 пьезометрах. Для данного исследования был выбран наиболее интересный участок системы ГТС хвостохранилища. Схема проведения работ на участке дамбы представлена на рис. 1.

Как видно из рис. 1, на выбранном участке ГТС располагается 3 створа по 2 пьезометра в каждом, на которых было выполнено рекогносцировочное обследование, измерение уровня воды и экспресс-налив, а также визуальное обследование на нижних полках и вдоль подошвы дамбы и георадарное профилирование по полкам дамбы. Рекогносцировочное обследование не выявило механических повреждений пьезометров. Общая информация по проведенному промеру глубин и экспресс-наливу в пьезометрах дамбы представлена в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что в пьезометрах 2–1, 3–1 и 4–1 не наблюдалось

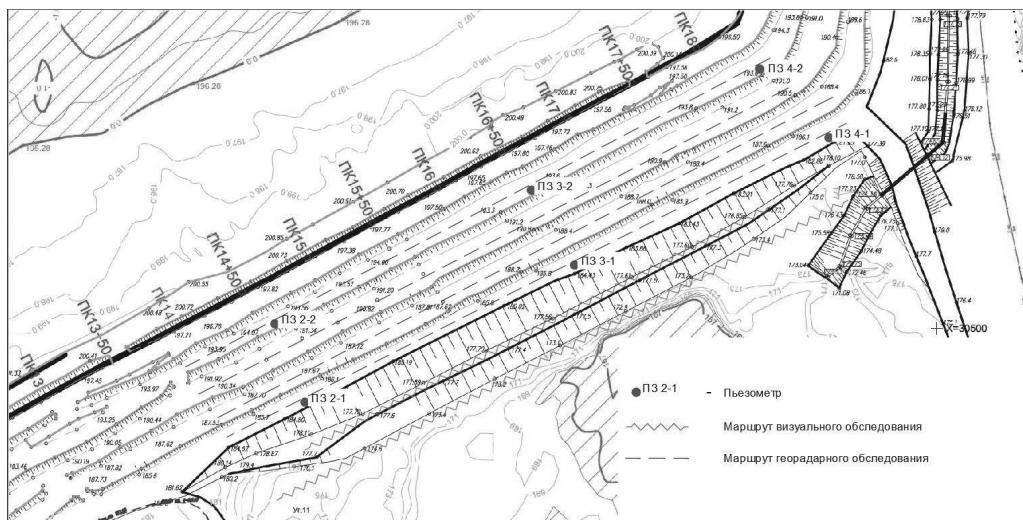


Рис. 1. Схема работ, проводившихся на участке дамбы
 Fig. 1. Operation flowchart at test site of dam

Таблица 1
 Общая информация по промеру глубин воды
 General information on water depth measurement

Номер пьезометра	Дата проведения работ	Глубина уровня воды до налива, м	Глубина уровня воды после налива (спустя 5 часов), м	Примечание
2–2	26.06.2020	12,40	11,48	
3–2	26.06.2020	12,40	12,40	Налив осуществить не удалось
4–2	26.06.2020	сухой	7,30 (сухой)	глубина пьезометра 7,3м
2–1	26.06.2020	6,00	6,00	
3–1	26.06.2020	8,60	8,13	
4–1	26.06.2020	6,05	5,66	

каких-либо отклонений от нормальной работы. Это может быть связано с расположением пьезометров на пионерной дамбе и небольшой глубиной заложения. Так, даже при развитии локальных фильтрационных нарушений очаг вымывания частиц материала сооружения находится ниже верхней границы фильтра пьезометра и не может привести к колюматации значимой его части.

Также из табл. 1 видно, что налив в пьезометр 3–2 не удалось осуще-

ствить даже в напорном режиме подачи воды, однако вода в пьезометре присутствует и находится на глубине 12,40 м. Это объясняется попаданием фильтра пьезометра в водоносный слой с высокой проницаемостью. Кроме того, из табл. 1 видно, что глубина пьезометра 4–2 значительно отличается от первоначальной глубины заложения – 15 м, что является проявлением интересующей нас колюматации и заиливания пьезометра. При этом видно, что налив воды в пьезометр

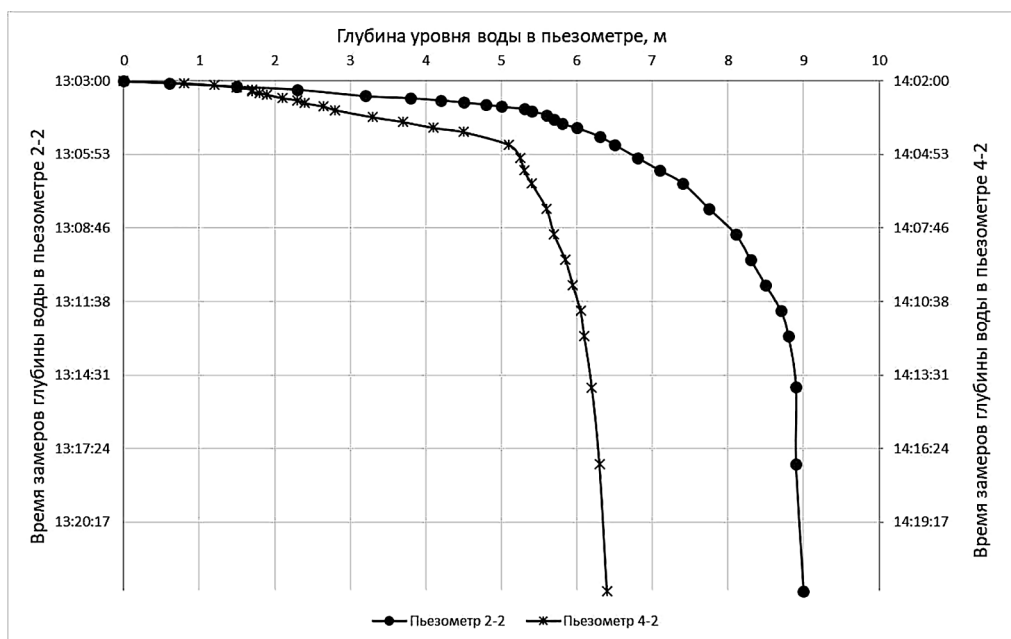


Рис. 2. График восстановления уровня воды в пьезометрах после экспресс-налива
 Fig. 2. Graphic chart of water-level recovery in piezometers after express pouring

удалось осуществить, и после налива уровень воды восстанавливался до осушения пьезометра, что свидетельствует о проницаемости фильтра пьезометра 4–2, что может свидетельствовать как о неполной кольматации фильтра, так и о частичной его промывке при проведении налива. В связи с этим свидетельствовать о кольматации фильтра пьезометра может не сам график восстановления уровня воды, а сравнение этого графика с графиком эталонного пьезометра, находящегося в аналогичных условиях (рис. 2). В нашем случае эталонным может считаться пьезометр 2–2, при обследовании которого не было выявлено каких-либо отклонений. Глубина и конструкция пьезометров 2–2 и 4–2 полностью идентичны.

Из сопоставления графиков восстановления уровня воды в пьезометрах 2–2 и 4–2 после экспресс-налива видно, что уровень воды в пьезометре 4–2 восстанавливался медленней, чем

в пьезометре 2–2. Так, например, глубина воды 6 м была достигнута в пьезометре 2–2 через 2 мин после начала восстановления, а в пьезометре 4–2 — лишь через 8,5 мин.

На основании представленных данных, можно сделать выводы, во-первых, о заилинии пьезометра 4–2 водонепроницаемыми средне- и крупнозернистыми песками, а во-вторых, о кольматации фильтра данного пьезометра. Таким образом, на основании данных исследований пьезометрической сети ГТС хвостохранилища удалось выявить участок дамбы, на котором происходит кольматация пьезометра. Соответственно, если верно сделанное предположение о влиянии на кольматацию фильтра пьезометра развития фильтрационного нарушения, то на рассматриваемом участке дамбы должны наблюдаться и другие признаки подобных нарушений. Для идентификации фильтрационных нарушений рассмотрим

результаты визуального и георадарного обследования сооружения.

Так, георадарное обследование дамбы хвостохранилища в предыдущие циклы наблюдений позволили выявить наличие зон неоднородностей [12]. При этом зоны неоднородности выделяются ниже уровня фильтрующихся вод, что свидетельствует об их взаимосвязи с фильтрационными процессами в теле ГТС (рис. 3). Однако геофизические методы не позволяют однозначно устанавливать характер и параметры выделяемых зон, кроме того, на результат георадарного обследования оказывают значительное влияние субъективные факторы, возникающие при интерпретации полученных данных [13]. В связи с этим в комплексе с георадарным обследованием был применен такой

прямой метод обследования, как визуальное наблюдение с использованием системы индикаторов наличия локальных фильтрационных нарушений [11].

В ходе визуального обследования нижележащих полок ГТС были обнаружены выходы воды у подошвы сооружения (рис. 4).

Обнаруженные выходы воды расположены в створе с пьезометром 4—2, что подтверждает наличие локальных фильтрационных нарушений именно на данном участке дамбы. При этом видно, что в зоне выходов воды на поверхность имеются небольшие наносы пылеватых песков хвостовых отложений. Это свидетельствует, во-первых, о фильтрационном происхождении наблюдаемой воды, а не о природном, например, о наличии родника в основании соору-

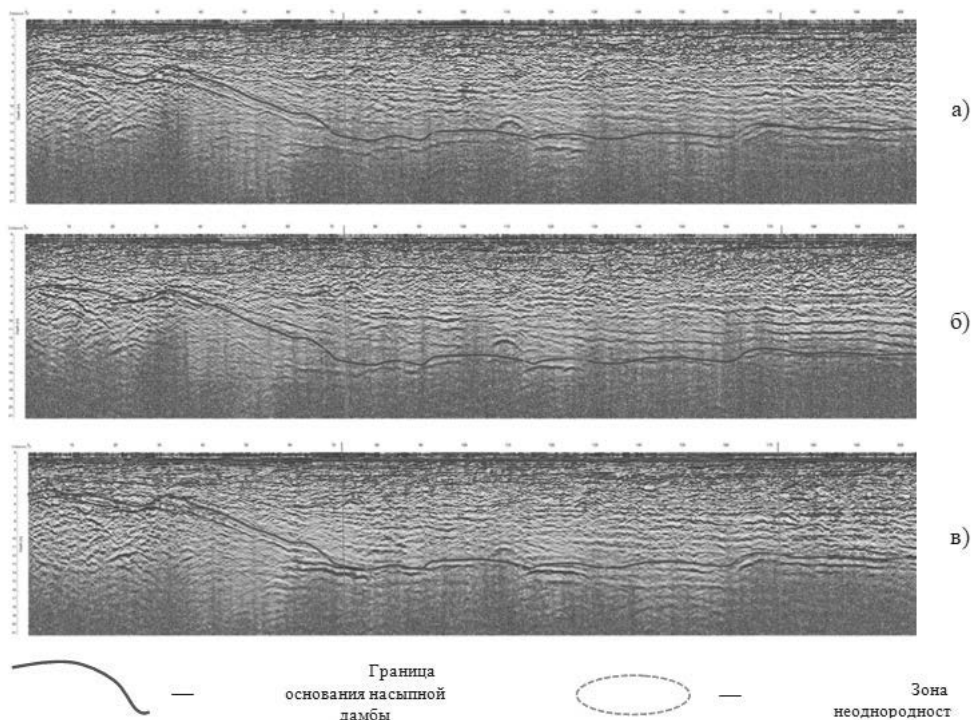


Рис. 3. Фрагменты радарограмм ежемесячного обследования дамбы хвостохранилища с выделенными зонами неоднородности. а) — март, б) — апрель, в) — май. [12]
Fig. 3. Fragments of monthly GPR radarograms of tailings dam with specified zones of heterogeneity: (a) March, (b) April, (c) May [12]



Рис. 4. Выходы воды у подножия дамбы
Fig. 4. Water outlet at dam bottom

жения. Во-вторых, наблюдаемые отложения служат дополнительным свидетельством нарушения на данном участке дамбы баланса сдвигающих и удерживающих сил, действующих на частицы материала сооружения, в результате чего частицы сооружения были вымыты на поверхность, что служит дополнительным подтверждением утверждения о связи кольматации с выносом частиц сооружения.

Таким образом, как и было предположено, на участке дамбы, где расположен пьезометр 4–2, наблюдаются индикаторы развития локальных фильтрационных нарушений, которые сопровождается выносом частиц материала ГТС, что привело к кольматации и заилению пьезометра. Таким образом, данные наблюдений подтверждают предположение о том, что кольматация пьезометров может служить признаком развития на участке насыпного ГТС фильтрационного нарушения.

Заключение

В результате обследования сети пьезометров насыпных ГТС хвостох-

ранища был выделен пьезометр 4–2 с кольматацией и заилением фильтра. Частичная кольматация фильтра пьезометра 4–2 была подтверждена по данным сопоставления графиков восстановления уровней воды после экспресс-налива в пьезометрах 4–2 и 2–2 (эталонный).

Георадарное обследование дамбы позволило выявить зоны неоднородности, лежащие ниже уровня фильтрующихся вод, что свидетельствует о связи зон неоднородностей с фильтрационными процессами в дамбе.

По результатам визуального наблюдения у основания сооружения в створе с пьезометром 4–2 наблюдается локальный выход фильтрующихся вод. Обнаруженный выход фильтрующихся вод сопровождается выносом частиц материала сооружения. Таким образом, на основании наблюдений был сделан вывод о том, что на участке ГТС, на котором расположен закольматированный пьезометр 4–2, наблюдаются признаки наличия локального фильтрационного нарушения, сопровождающегося выносом частиц материала ГТС, что привело в том числе к кольматации фильтра пьезометра. Таким образом, кольматацию фильтра пьезометра 4–2 можно рассматривать как проявление локального фильтрационного нарушения. То есть можно сказать, что сделанное в статье предположение о кольматации пьезометров как индикаторе наличия и развития фильтрационного нарушения в насыпном ГТС было подтверждено.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Dasher E. D. Dams are coming down, but not always by choice: the geography of Texas dams, Dam Failures, and Dam Removals // Texas water journal, Vol. 11, No. 1, 2020. pp. 89–129
- 2 Adamo N., Al-Ansari N., Sissakian V. K., Laue J. Dam Safety: The Question of Tailings Dams // Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering, Vol.11, No.1, 2020, pp. 1–26 (DOI: 10.47260/jesge/1111)

3 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)

4 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 (DOI: 10.21443/1560 – 9278 – 2017 – 20 – 1/1 – 13 – 20)

5 Azam S., Li Q. Tailings Dam Failures: A Review of the Last One Hundred Years // Geotechnical News. 2010. p. 50 – 53.

6 Hui L., Haitao M. Application of Ground Penetrating Radar in Dam Body Detection // Procedia Engineering, No. 26, 2011, pp. 1820 – 1826 (DOI: 10.1016/j.proeng.2011.11.2372)

7 Tomecka-Suchoń S. Ground penetrating radar use in flood prevention // Acta Geophysica, No. 67(3), 2019, pp. 1955 – 1965 (DOI: 10.1007/s11600 – 019 – 00353 – 8)


8 Anchuela Ó, Frongia P., Di Gregorio F., Casas-Sainz A. Internal characterization of embankment dams using ground penetrating radar (GPR) and thermographic analysis: a case study of the Medau Zirimilis Dam (Sardinia, Italy) // Engineering Geology, No. 237, 2018, pp. 129 – 139 (DOI: 10.1016/j.enggeo.2018.02.015)

9 Adamo N., Al-Ansari N., Sissakian V. K., Laue J., Knutsson S. Dam Safety: Use of instrumentation in Dams // Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering, Vol.11, No.1, 2020, pp. 145 – 202 (DOI: 10.47260/jesge/1115)

10 Adamo N., Al-Ansari N., Sissakian V. K., Laue J., Knutsson S. Dam Safety: Monitoring of Tailings Dams and Safety Reviews // Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering, Vol.11, No.1, 2020, pp. 249 – 289 (DOI: 10.47260/jesge/1117)

11 Максимов Д. А. Индикаторы наличия в теле насыпного гидротехнического сооружения локальных нарушений фильтрационной устойчивости // Проблемы недропользования. 2018. № 2 (17). С. 98 – 105. (DOI: 10.25635/2313 – 1586.2018.02.098)

12 Калашник А. И., Запорожец Д. В., Лебедик А. В. Мониторинг строительства и эксплуатации ограждающих дамб хвостохранилища ГОК «Олений ручей» // Мониторинг природных и техногенных процессов при ведении горных работ: Сб. докл. Всеросс. науч.-техн. конф. с междунар. участием, 24 – 27 сентября 2013 г. Апатиты, 2013. С. 188 – 193.

13 Дьяков А. Ю. Георадар как инструмент для решения горных задач // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2019. № 12 – 1(39). С. 64 – 68. (DOI: 10.24411/2500 – 1000 – 2019 – 11846) 

REFERENCES

1 Dasher E. D. Dams are coming down, but not always by choice: the geography of Texas dams, Dam Failures, and Dam Removals. *Texas water journal*, Vol. 11, no. 1, 2020. pp. 89 – 129

2 Adamo N., Al-Ansari N., Sissakian V. K., Laue J. Dam Safety: The Question of Tailings Dams. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*, Vol.11, no.1, 2020, pp. 1 – 26 (DOI: 10.47260/jesge/1111)

3 Akhmetov E. M., Asemov K. M., Zhumataeva M. O. Research of accidents of hydraulic structures and safety control methods. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*. 2020. no. 3. Vol. 331. pp. 70 – 83. (DOI: 10.18799/24131830/2020/4/2595) [In Russ]

4 Melnikov 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 (DOI: 10.21443/1560 – 9278 – 2017 – 20 – 1/1 – 13 – 20 [In Russ])

5 Azam S., Li Q. Tailings Dam Failures: A Review of the Last One Hundred Years. *Geotechnical News*. 2010. pp. 50 – 53.

6 Hui L., Haitao M. Application of Ground Penetrating Radar in Dam Body Detection. *Procedia Engineering*, no. 26, 2011, pp. 1820 – 1826 (DOI: 10.1016/j.proeng.2011.11.2372).

7 Tomecka-Suchoń S. Ground penetrating radar use in flood prevention. *Acta Geophysica*, no. 67(3), 2019, pp. 1955 – 1965 (DOI: 10.1007/s11600 – 019 – 00353 – 8).

8 Anchuella Ó, Frongia P., Di Gregorio F., Casas-Sainz A. Internal characterization of embankment dams using ground penetrating radar (GPR) and thermographic analysis: a case study of the Medau Zirimilis Dam (Sardinia, Italy). *Engineering Geology*, no. 237, 2018, pp. 129 – 139 (DOI: 10.1016/j.enggeo.2018.02.015).

9 Adamo N., Al-Ansari N., Sissakian V. K., Laue J., Knutsson S. Dam Safety: Use of instrumentation in Dams. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*, Vol.11, no.1, 2020, pp. 145 – 202 (DOI: 10.47260/jesge/1115).

10 Adamo N., Al-Ansari N., Sissakian V. K., Laue J., Knutsson S. Dam Safety: Monitoring of Tailings Dams and Safety Reviews. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*, Vol.11, no.1, 2020, pp. 249 – 289 (DOI: 10.47260/jesge/1117).

11 Maksimov D. A. Indicators of the presence of local disturbances of filtration stability in the body of the embankment hydraulic structure. *Problemy nedropol'zovaniya*. 2018. no. 2 (17). pp. 98 – 105. (DOI: 10.25635/2313 – 1586.2018.02.098) [In Russ]

12 Kalashnik A. I., Zaporozhets D. V., Lebedik A. V. *Monitoring stroitel'stva i ekspluatatsii ograzhdayushchih damb hvostohranilishcha GOK «Olenij ruchej»* [Monitoring of construction and operation of the enclosing dams of the Oleniy Ruchey tailings pond]. Monitoring of natural and mining-induced processes in mining operations: All-Russian scientific and engineering conference with international participation, 24 – 27 September 2013. Apatity, 2013. Pp. 188 – 193. [In Russ]

13 Dyakov A. Yu. GPR as a tool for solving mining tasks. *Mezhdunarodnyj zhurnal gumanitarnyh i estestvennyh nauk*. 2019. no. 12 – 1(39). pp. 64 – 68. (DOI: 10.24411/2500 – 1000 – 2019 – 11846). [In Russ]

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Максимов Дмитрий Анатольевич – научный сотрудник, maximoffda@gmail.com, Горный институт – обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук», Апатиты, Россия.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Maksimov D. A., Scientific researcher, Mining Institute Kola Science Centre RAS. Apatity, Russia, maximoffda@gmail.com, Mining Institute – Subdivision of the Federal Research Centre «Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences», Apatity, Russia.

Получена редакцией 27.01.2021; получена после рецензии 25.03.2021; принята к печати 10.04.2021.

Received by the editors 27.01.2021; received after the review 25.03.2021; accepted for printing 10.04.2021.

