ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2021;(8):154-163
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 627.8:624.131.439:004.4 DOI: 10.25018/0236_1493_2021_8_0_154

МОНИТОРИНГ ЛОКАЛЬНЫХ НАРУШЕНИЙ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ДАМБАХ ХВОСТОХРАНИЛИЩ ГОРНОРУДНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ КОМПЛЕКСОМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И ВИЗУАЛЬНЫХ МЕТОДОВ

Д.А. Максимов[1], А.Ю. Дьяков[1]

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

Аннотация: Предложена идея мониторинга локальных нарушений фильтрационных процессов в теле насыпных гидротехнических сооружений с помощью комплексирования визуального и георадарного методов. Визуальное обследование позволяет оценить процессы, протекающие в теле сооружения по проявлениям этих процессов на его поверхности. Георадиолокация позволяет исследовать процессы, имеющие место в теле сооружения с помощью электромагнитных волн. Комплексирование выбранных методов позволяет эффективно использовать их преимущества и нивелировать недостатки. Предыдущие исследования показали, что комплексное использование данных методов позволяет проводить идентификацию локальных нарушений фильтрационных процессов. В качестве подтверждения предложенной в статье идеи представлены результаты ежегодного мониторинга насыпной ограждающей дамбы хвостохранилища горнорудного предприятия методами георадарного и визуального обследования. Мониторинг был направлен на контроль участков дамбы, на которых в предыдущих исследованиях были выделены локальные нарушения фильтрационных процессов. Данные визуального обследования позволили выявить развитие деформационных и фильтрационных процессов, происходивших в теле сооружения и проявлявшихся на его поверхности в период проведения наблюдений. По результатам георадарного профилирования были выявлены грунты, находящиеся в водонасыщенном состоянии, также была выявлена зональная фильтрационная неоднородность слагающих дамбу грунтов и уточнена структура ограждающей дамбы. Выполнено категорирование грунтов по их свойствам и водонасыщенности в разрезах дамбы в зависимости от скорости электромагнитной волны. Результаты проведенных изысканий показывают хорошее соответствие с данными измерений уровня воды в пьезометрических скважинах.

Ключевые слова: визуальные наблюдения, георадарное обследование, мониторинг, гидротехнические сооружения, дамбы, фильтрационные процессы, деформации, протечки.

Для цитирования: *Максимов Д. А., Дьяков А. Ю.* Мониторинг локальных нарушений фильтрационных процессов в дамбах хвостохранилищ горнорудных предприятий комплексом геофизических и визуальных методов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 8. – С. 154–163. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_8_0_154.

© Д.А. Максимов, А.Ю. Дьяков. 2021.

Monitoring of local permeation abnormalities in mine tailings dams using geophysical and visual observation methods

D.A. Maksimov[1], A.Yu. Dyakov[1]

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

Abstract: The article puts forward an idea of local permeation abnormality monitoring in bodies of hydrotechnical fill structures by means of complexing of visual observations and ground-penetrating radar method. Visual observation assesses processes in such bodies by certain signs displayed on their surface. Ground-penetrating radar examines these processes with assistance of electromagnetic waves. Complexing of these methods enables efficient use of their advantages at the shortcomings abated. The earlier studies showed that these methods, when integrated, identified local abnormalities of permeation processes. This article proves the proposed idea by the annual monitoring data obtained in a filling damp of a tailings pond by the methods of ground-penetrating radar and visual observations. The monitoring was aimed to control the dam areas with previously detected deformations and influent seepages inside the dam body and on its surface. The ground-penetrating radar data helped identify water-saturated soil areas, specify zonal permeation heterogeneity of the dam body and update the dam structure. The rating of the dam soils was performed by their properties and water saturation per the dam sections versus velocities of electromagnetic waves. The research results agree well with the measurement data on water levels in pressure-observation wells.

Key words: visual observations, ground-penetrating radar, monitoring, hydrotechnical structures, dams, flow processes, deformations, influent seepage.

For citation: Maksimov D. A., Dyakov A. Yu. Nazvanie. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(8):154-163. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_8_0_154.

Введение

Гидротехнические сооружения (ГТС) играют важную роль во многих сферах жизни человечества: промышленности, энергетики, управлении водными ресурсами и других. Например, от надежности работы таких насыпных ГТС, как ограждающие дамбы хвостохранилища, зависит работа и зачастую существование всего горнорудного предприятия, к которым они относятся. Аварии на подобных сооружениях приводят к значительному экономическому, экологическому и социальному ущербу. В связи с этим значительное внимание уделяется контролю за состоянием грунтовых ГТС [1, 2]. Так, например, мониторинг насыпных ограждающих дамб хвостохранилищ горнорудных предприятий предписывается и регламентируется целым рядом нормативных документов [3—5].

Несмотря на описанные меры, попрежнему остаются явления, которые плохо поддаются контролю в рамках классической системы мониторинга, направленной на контроль фильтрационных процессов, характеризующихся положением депрессионной кривой, фильтрующихся в теле ГТС, вод. Вместе с тем, данная система практически упускает из виду происходящие в теле сооружения локальные фильтрационные процессы, которые зачастую являются

Аварии ГТС, приведшие к гибели людей
Fatal break-downs at hydrotechnical structures

Страна	Предприятие	Год	Причина	Жертвы
Бразилия, штат Минас-Жерайс	Железнорудная шахта в городе Брумандинью компании Vale	25 января 2019 г.	прорыв дамбы с выносом токсичной грязи	270 чел.
Кения, Субукиа	дамба «Патель»	10 мая 2018 г.	прорыв дамбы	48 чел.
Лаос, провинция Аттапо	ГЭС Сепиан-Се Нам Ной	25 июля 2018 г.	прорыв плотины	31 чел.
Россия, Красноярский край	Золотодобывающая артель «Сисим» холдинга «Сибзолото»	19 октября 2019 г.	прорыв дамбы технологического водоема	17 чел.
Индия, штат Махараштра	Дамба Тиваре	3 июля 2019 г.	прорыв дамбы	16 чел.

причиной аварий на насыпных ГТС [6]. Чрезвычайные и опасные ситуации, связанные с эксплуатацией ГТС, возникали ранее и могут возникнуть в будущем на различных объектах [7]. Так, например, только за последние два года произошло несколько крупных прорывов насыпных ГТС, которые привели не только к разрушению примыкающей инфраструктуры, но и к большому количеству жертв. В таблице приведены данные по авариям ГТС, произошедшие в 2018 и 2019 гг. и приведшие к гибели людей.

При этом, как показывает статистика причин возникновения аварий на насыпных ГТС, локальные протечки являются причиной порядка 31% всех аварий на подобных сооружениях [8].

Методы

Одним из способов изучения локальных фильтрационных процессов является комплексное обследование сооружения с помощью визуального и георадарного метода [9]. Комплексирование данных методов позволяет использовать преимущества визуального и георадарного обследования и минимизировать недостатки. Например, визуальное обследование позволяет точно определить, описать и интерпретировать процессы, проявляющиеся на поверхности сооружения, но не характеризовать процессы, происходящие в его теле. Георадиолокация же наоборот, не дает данных о процессах, происходящих на поверхности сооружения, но позволяет с определенной точностью проследить процессы, имеющие место в теле сооружения [10, 11]. При этом визуальный и георадарный методы можно отнести к неразрушающим методам контроля, имеющим общие преимущества: гибкость применения и непрерывность получаемых данных, возможность проведения работ без нарушения поверхности и тела сооружения, что позволят их эффективно компенсировать для поиска локальных нарушений фильтрационных процессов [12].

Однако успешное комплексирование данных методов для выявления нарушений не позволяет однозначно говорить об эффективности его использования для регулярного мониторинга нарушений с целью их параметризации и оценки динамики развития. В данной статье будет рассмотрен опыт по ежегодному мониторингу насыпной дамбы хвостохранилища одного из горнорудных предприятий Мурманской области с помощью комплексного визуального и георадарного обследования.

При визуальном обследовании проводилась параллельная фотодокументация элементов сооружения и выявленных проявлений фильтрационных и деформационных процессов. Фотодокументация проводилась с помощью фотоаппарата Fujifilm FinePix HS30EXR, который позволяет производить фотосъемку с приближением до 30 раз, что делает возможным фотодокументацию выявленных нарушений с вышележащих уступов сооружения.

При георадиолокации использовался георадарный комплекс RAMAC с рядом антенн. Наилучшие результаты показало использование экранированных антенн с частотой сигнала 100 МГц, которые позволяют производить зондирование на глубину до 30 м.

Результаты

Наблюдения проводились на участке дамбы хвостохранилища горнорудного предприятия, на котором ранее были выявлены локальные нарушения фильтрационных процессов [9]. Ввиду особенностей организации системы классического мониторинга комплексное визуальное и георадарное обследование проводилось ежегодно в осенний период. Визуальное обследование проводилось в соответствии с требованиями и положениями нормативных документов [13, 14].

Рис. 1. Вид сверху участка обследуемой дамбы (август 2016 г.)
Fig. 1. Top view of test dam area (August 2016)

Первые визуальные проявления локальных нарушений фильтрационных свойств были выявлены в августе 2016 г. (рис. 1). Как видно из фотоснимка, наблюдается масштабное проседание поверхности полки сооружения. Наибольшие деформации наблюдаются у подошвы вышележащего уступа ГТС. Одновременно с деформированием поверхности полки на данном участке наблюдался выход фильтрующихся вод, что может указывать на взаимосвязь данных явлений.

Август 2017 **Сентябрь 2017**

Рис. 2. Вид сверху участка обследуемой дамбы (август–сентябрь 2017 г.)
Fig. 2. Top view of test dam area (August–September 2017)

Рис. 3. Вид сверху участка обследуемой дамбы (Октябрь 2018)

Fig. 3. Top view of test dam area (October 2018)

Визуальные наблюдения в 2017 г. не выявили развития локальных нарушений: геометрия зоны деформирования не изменилась, водоприток на полку не увеличился. В связи с этим, организацией, эксплуатирующей сооружение, в сентябре 2017 г. были проведены работы по восстановлению поверхности полки с помощью отсыпки (рис. 2).

Однако уже в следующем 2018 г. на данном участке наблюдалось значительное увеличения водопритока фильтрующихся вод на тело дамбы. Вместе с усилившимся водопритоком наблюдалось размытие поверхностью полки (рис. 3).

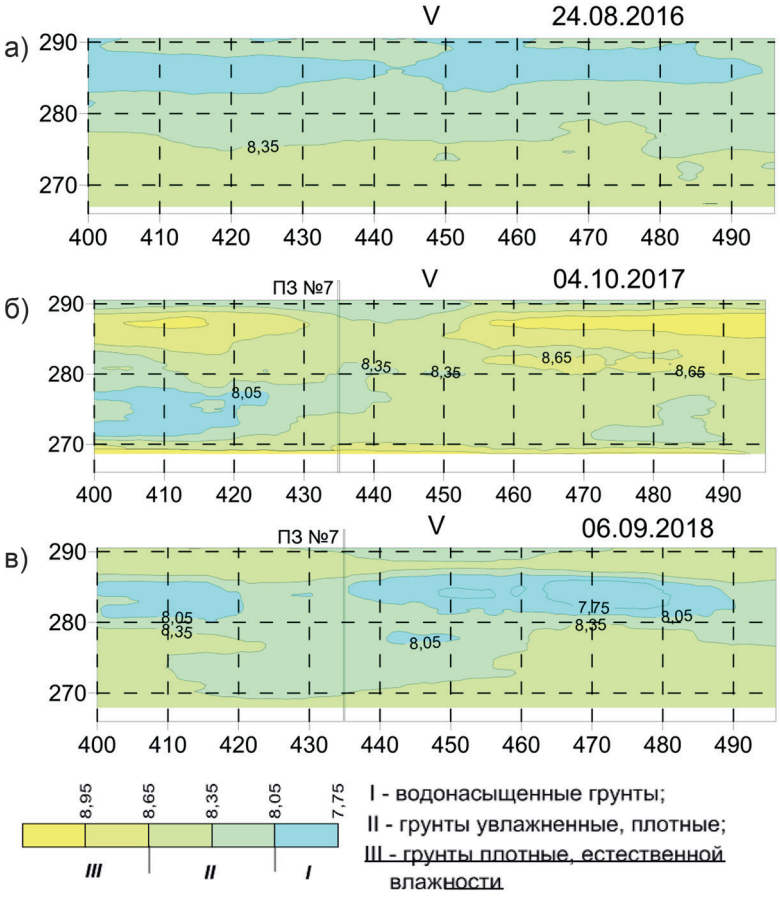

Рис. 4. Результаты георадиолокационного зондирования дамбы: август 2016 г. (а), октябрь 2017 г. (б), сентябрь 2018 г. (в)

Fig. 4. Ground-penetrating radar data on dam: August 2016 (a), October 2017 (b), September 2018 (v)

Проведенное георадарное обследование вышележащей полки дамбы за этот период времени позволило получить данные о состоянии массива насыпного ГТС. Основные результаты представлены в виде радарограмм скорости электромагнитной волны V за 2016, 2017, 2018 гг. (рис. 4, *а, б, в*).

Интерпретация результатов георадарного обследования августа 2016 г. (рис. 4, *а*) позволяет установить, что приповерхностная зона глубиной до 289 — 290,5 (1–1,5 м), подверженная проникновению осадков, характеризуется начальной невысокой скоростью V = = 8,15–8,24 см/нс. В интервале высотных отметок 283–288 м по всей длине радарограммы фиксируется зона резкого падения величин скоростей до значений V = 7,30–7,80 см/нс (синяя палитра), что может свидетельствовать о значительном намокании грунтов. Состояние обследуемого участка на момент измерений по георадарным данным находится в опасном состоянии и может повлечь за собой значительные деформационные проявления при дальнейшей эксплуатации. На данных визуального обследования нижележащего горизонта проявляются первые локальные нарушения и деформации рис. 1.

Анализ результатов измерений, выполненных в октябре 2017 г. (рис. 4, *б*), позволяет так же отметить начальную невысокую скоростью V = 8,1–8,22 см/нс в приповерхностной зоне до 289,5–289 м (1–1,5 м), подверженную проникновению осадков. На глубине 282,5–280 м (8–10 м) радарограммы фиксируется повышение скоростей до V = 8,36–8,71 см/нс, что обусловлено, предположительно, ростом плотности и снижением влажности грунтов. В интервале высотных отметок 280–270 м, в начале радарограммы 405–420 м, фиксируется локальная зона резкого падения величин скоростей до значений V = 7,35–7,71 см/нс (синяя палитра), что может свидетельствовать о значительном намокании грунтов. Выполненным ранее комплексным георадарным и сейсмическим обследованием этого участка установлены значения скоростей электромагнитных волн для категорирования грунтов по их свойствам и водонасыщенности: I — водонасыщенные грунты (значение скоростей менее 8,05 см/нс); II — грунты увлажненные, плотные (8,05 — 8,65 см/нс); III — грунты плотные, естественной влажности (значение скоростей более 8,65 см/нс) [15]. Таким образом, обследуемый участок дамбы в этот период времени находится в устойчивом состоянии без каких-либо значительных фильтрационных потоков.

По георадарным данным, полученным в сентябре 2018 г., где визуально уже наблюдалось значительное увеличение водопритока фильтрующихся вод на тело дамбы с размытием нижележащей поверхности полки (рис. 3), выявлено значительное намокание грунтов в теле дамбы. Радарограмма практически повсеместно характеризуется низкими скоростными значениями V = 7,30–8,05 см/нс (синяя палитра) с большей локализацией в интервале глубин 280 — 287 м (рис. 4, *в*). Полученные данные почти во всем совпадают с картиной распределения скоростей электромагнитных волн в 2016 г., что может свидетельствовать о повторении опасных проявлений в теле дамбы.

В качестве подтверждения результатов, полученных в ходе визуальных и георадарных работ, рассмотрим график изменения уровня воды в пьезометрах на обследуемом участке (рис. 5).

На рассматриваемом участке дамбы находятся два пьезометра: 2пз и 4пз. Пьезометр 2пз находится на обследуемой полке, а 4пз — на нижележащей, что объясняет разницу абсолютных отметок уровня воды в них. Также из-за

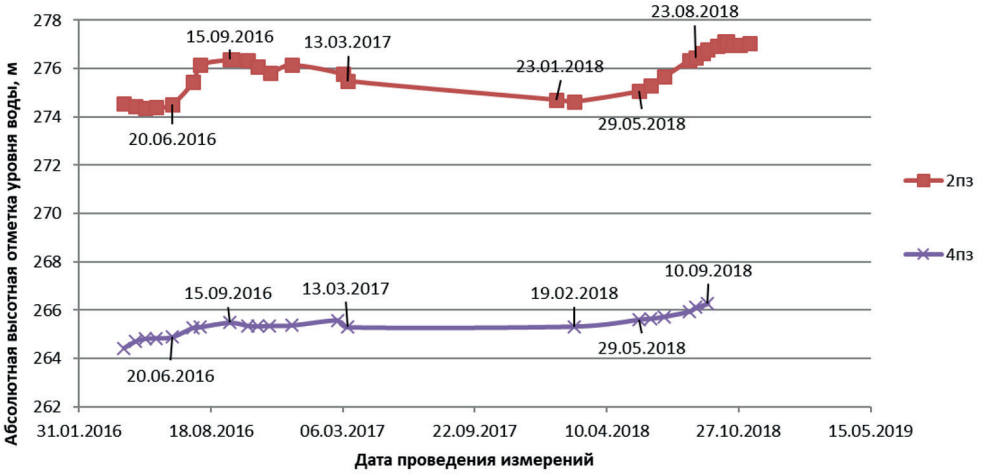

Рис. 5. График изменения уровня воды по данным пьезометров 2пз и 4пз
Fig. 5. Water level variation by data from pressure pipes 2pz and 4pz

того, что пьезометр 4пз находится на нижележащей полке ГТС, график изменения уровня воды не так ярко характеризует наблюдаемые процессы.

Из графика на рис. 5 видно, что в период с июня по сентябрь 2016 г. наблюдалось повышение уровня фильтрующихся вод. Вместе с тем деформации полки были обнаружены в сентябре 2016 г. (рис. 1). Такое отставание данных визуального наблюдения может быть обусловлено тем, что локальные фильтрационные процессы в теле сооружения развиваются постепенно, и требуется некоторое время для того, чтобы они проявились на поверхности.

С сентября 2016 г. наблюдается стабилизация фильтрационных процессов, сопровождающаяся постепенным понижением уровня фильтрующихся вод. В период с марта 2017 г. по январь 2018 г. измерения уровня воды в пьезометрах не проводилось, однако видно, что за этот период уровень воды снижался. В этот период по данным визуальных и георадарных наблюдений не фиксировалось развитие деформационных и фильтрационных процессов (рис. 2, 4, *б*). Однако уже с мая 2018 г. данные измерений уровня воды в пьезометрах показали рост уровня воды, что подтверждает данные, полученные с помощью георадарного и визуального метода обследования.

Таким образом, результаты комплексного ежегодного обследования участка насыпного ГТС показывают, что данные методы могут быть эффективно использованы не только для обнаружения, но и мониторинга развития локальных фильтрационных процессов. При этом данные, полученные с помощью визуального и георадарного метода, согласуются с данными, полученными по результатам измерения уровня воды в пьезометрах на данном участке.

Заключение

В статье представлены результаты регулярного ежегодного мониторинга насыпного ограждающей дамбы хвостохранилища горнорудного предприятия Мурманской области с помощью комплексного визуального и георадарного обследования.

Выполнены георадарные исследования для мониторинга состояния ограждающей дамбы в зоне отработки техно-

генного месторождения. Установлено, что слагающие дамбу грунты находятся во влажном и водонасыщенном состоянии (2016, 2018) выявлена зональная фильтрационная неоднородность слагающих дамбу грунтов (2017), уточнена структура ограждающей дамбы. Выполнено категорирование грунтов по их свойствам и водонасыщенности в разрезах дамбы 2016—2017 гг. в зависимости от скорости электромагнитной волны.

Проведенные визуальные наблюдения позволили выявить динамику деформирования полки сооружения и водопритока на поверхность полки воды, фильтрующейся через тело дамбы. Наблюдались годы активного деформирования и водопритока (2016, 2018) и относительно стабильный 2017 г.

Результаты проведенных исследований предоставляют основу для интерпретации георадарных данных при решении задач идентификации и локализации водонасыщенных участков в теле грунтовых сооружений, а также прогнозирования наиболее уязвимых мест (зон) насыпного грунтового гидротехнического сооружения.

Представленные данные ежегодных работ демонстрируют возможность мониторинга локальных нарушений фильтрационных свойств насыпных гидротехнических сооружений с помощью комплексирования визуального и георадарного метода.

Выполненный анализ пьезометрических данных показал их соответствие результатам визуального и георадарного обследования, что дополнительно подтверждает эффективность применения рассматриваемых методов для идентификации и мониторинга локальных нарушений фильтрационных процессов в теле насыпных ГТС.

Таким образом, можно сделать вывод, что комплексирование визуального и георадарного методов обследования может эффективно применяться для мониторинга локальных нарушений фильтрационных процессов в теле насыпных ГТС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Adamo N., Al-Ansari N., Sissakian V., Laue J., Knutsson S.* Dam safety: the question of tailings dams // Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering. 2020, vol. 11, no. 1, pp. 1—26. DOI: 10.47260/jesge/1111.

2. *Adamo N., Al-Ansari N., Sissakian V., Laue J., Knutsson S.* Dam safety and dams hazards // Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering. 2020, vol. 10, no. 6, pp. 23—40.

3. *О безопасности* гидротехнических сооружений: Федеральный закон № 117-ФЗ от 23 июня 1997 г.

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

5. *СП 58.13330.2012* Свод правил. Гидротехнические сооружения.

6. *Максимов Д. А.* Механизмы негативного влияния локальных нарушений фильтрационной устойчивости на надежность насыпных гидротехнических сооружений // Проблемы недропользования. — 2018. — № 2(17). — С. 90—97. DOI: 10.25635/2313-1586.2018.02.090.

7. *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. — Т. 20. — № 1-1. — С. 13—20. DOI: 10.21443/1560-9278-2017-20-1/1-13-20.

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

9. *Максимов Д. А.*, *Дьяков А. Ю.* Комплексирование визуального и георадарного метода обследования с применением цифровых технологий в целях мониторинга локальных нарушений фильтрационных процессов в теле насыпного ГТС // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № S37. — С. 409–416. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-37-409-416.

10. *Rey J., Martínez J., Montiel V., Cañadas F., Ruiz N.* Characterization of the sedimentary fabrics in ornamental rocks by using GPR // Near Surface Geophysics. 2017, vol. 15, no. 5, pp. 457 — 465. DOI: 10.3997/1873-0604.2017015.

11. *Elkarmotya M., Colla C., Gabrielli E., Papeschi P., Bonduà S., Bruno R.* In-situ GPR test for three-dimensional mapping of the dielectric constant in a rock mass // Journal of Applied Geophysics. 2017, vol. 146, pp. 1 — 15. DOI: 10.1016/j.jappgeo.2017.08.010.

12. *Волосухин Я. В.*, *Бандурин М. А.* Проведение эксплуатационного мониторинга с применением неразрушающих методов контроля и автоматизация моделирования технического состояния гидротехнических сооружений // Мониторинг. Наука и безопасность. — 2011. — № 3. — С. 88 — 93.

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

14. *Правила* организации и проведения натурных наблюдений и исследований на плотинах из грунтовых материалов РД 153-34.2-21.546-2003.

15. *Abramov N. N.*, Dyakov A.Yu., *Kalashnik A. I.* Identification of water-saturated zones in a protective hydraulic earthen structure by synchronous electromagnetic and seismic sounding // Power Technology and Engineering. 2019, vol. 53, no. 2, pp. 167 — 171. DOI: 10.1007/s10749-019-01055-3. ГИАБ

REFERENCES

1. Adamo N., Al-Ansari N., Sissakian V., Laue J., Knutsson S. Dam safety: the question of tailings dams. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*. 2020, vol. 11, no. 1, pp. 1 — 26. DOI: 10.47260/jesge/1111.

2. Adamo N., Al-Ansari N., Sissakian V., Laue J., Knutsson S. Dam safety and dams hazards. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*. 2020, vol. 10, no. 6, pp. 23 — 40.

3. *O bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheniy: Federal'nyy zakon № 117-FZ ot 23 iyunya 1997 g.* [On the safety of hydraulic structures: Federal Law No. 117-FZ of 23 June, 1997]. [In Russ].

4. *Pravila bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheniy nakopiteley zhidkikh promyshlennykh otkhodov PB 03-438-02* [Safety rules for hydraulic structures of liquid industrial waste storage facilities PB 03-438-02]. [In Russ].

5. *Svod pravil. Gidrotekhnicheskie sooruzheniya SP 58.13330.2012* [Handbook of instructions. Hydraulic structures. SP 58.13330.2012]. [In Russ].

6. Maksimov D. A. Mechanisms of negative influence of local filtration stability disturbances on the made ground hydrotechnical facilities reliability. *Problemy nedropol'zovaniya*. 2018, no. 2(17), pp. 90 — 97. [In Russ]. DOI: 10.25635/2313-1586.2018.02.090.

7. 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 of MSTU*. 2017, vol. 20, no. 1-1, pp. 13 — 20. [In Russ]. DOI: 10.21443/1560-9278-2017-20-1/1-13-20.

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

9. Maksimov D. A., Dyakov A.Yu. Integration of visual and georadar observation methods by using digital technologies to monitor the local disturbances of filtration processes in bulk hydraulic facilities. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. S37, pp. 409–416. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-37-409-416. [In Russ].

10. Rey J., Martínez J., Montiel V., Cañadas F., Ruiz N. Characterization of the sedimentary fabrics in ornamental rocks by using GPR. *Near Surface Geophysics*. 2017, vol. 15, no. 5, pp. 457 — 465. DOI: 10.3997/1873-0604.2017015.

11. Elkarmotya M., Colla C., Gabrielli E., Papeschi P., Bonduà S., Bruno R. In-situ GPR test for three-dimensional mapping of the dielectric constant in a rock mass. *Journal of Applied Geophysics*. 2017, vol. 146, pp. 1 — 15. DOI: 10.1016/j.jappgeo.2017.08.010.

12. Volosoukhin Y. V., Bandourin M. A. Operational monitoring with application of nondestructive control methods and automatic control of modeling of hydraulic facilities technical state. *Monitoring. Nauka i bezopasnost'*. 2011, no. 3, pp. 88 — 93. [In Russ].

13. *Instruktsiya o poryadke vedeniya monitoringa bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheniy predpriyatiy, organizatsiy, podkontrol'nykh organam Gosgortekhnadzora Rossii RD 03-259-98* [Instructions on the procedure for monitoring the safety of hydraulic structures of enterprises and organizations controlled by the State Committee for Supervision of Industrial and Mining Practices (Gosgortechnadzor) of Russia RD 03-259-98]. [In Russ].

14. *Pravila organizatsii i provedeniya naturnykh nablyudeniy i issledovaniy na plotinakh iz gruntovykh materialov RD 153-34.2-21.546-2003* [Rules for organizing and conducting in-situ observations and studies on ground dams RD 153-34.2-21.546-2003]. [In Russ].

15. Abramov N. N., Dyakov A.Yu., Kalashnik A. I. Identification of water-saturated zones in a protective hydraulic earthen structure by synchronous electromagnetic and seismic sounding. *Power Technology and Engineering*. 2019, vol. 53, no. 2, pp. 167 — 171. DOI: 10.1007/s10749-019-01055-3.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Максимов Дмитрий Анатольевич[1] — научный сотрудник,
e-mail: maximoffda@gmail.com,
Дьяков Андрей Юрьевич[1] — научный сотрудник,
e-mail: dyakov@goi.kolasc.net.ru,
[1] Горный институт КНЦ РАН.
Для контактов: Максимов Д.А., e-mail: maximoffda@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

D.A. Maksimov[1], Scientific Researcher,
e-mail: maximoffda@gmail.com,
A.Yu. Dyakov[1], Scientific Researcher,
e-mail: dyakov@goi.kolasc.net.ru,
[1] Mining Institute, Kola Scientific Centre
of Russian Academy of Sciences, 184209, Apatity, Russia.
Corresponding author: D.A. Maksimov, e-mail: maximoffda@gmail.com.

Получена редакцией 22.10.2020; получена после рецензии 11.05.2021; принята к печати 10.07.2021.
Received by the editors 22.10.2020; received after the review 11.05.2021; accepted for printing 10.07.2021.