

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОГЕННОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ФОНА УНАЛЬСКОГО ХВОСТОХРАНИЛИЩА ЭКСПРЕСС-МЕТОДАМИ

В.А. Фоменко<sup>1</sup>, З.Э. Маковозова<sup>2</sup>, А.А. Соколов<sup>1</sup>, М.А. Аксенова<sup>1</sup>, А.С. Лукьянов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Филиал Южного федерального университета в г. Геленджике, Геленджик, Россия,  
e-mail: anso@sfedu.ru

<sup>2</sup> Северо-Кавказский горно-металлургический институт, Владикавказ, Россия

<sup>3</sup> Открытый университет экономики, управления и права, Москва, Россия

**Аннотация:** Приведены данные по исследованию техногенного сейсмического фона Унальского хвостохранилища разработанными экспресс-методами. Рассмотрено текущее состояние и эволюционные изменения тела Унальского хвостохранилища за последние десятилетия с точки зрения анализа сейсмического риска для всей геосистемы, представлены результаты оценки техногенного сейсмического фона хвостохранилища сетью сейсмостанций, работа которых проводилась в режиме реального времени в полевых условиях. На основе проведенных исследований авторов определена существенная связь исследуемой природно-техногенной системы с возможными зонами землетрясений Садоно-Унальской котловины, описана методология измерений для повышения информативности мониторинга в режиме онлайн, формирования и улучшения имеющейся базы информативных инструментальных исследований, с помощью которой можно будет определять зоны техногенных и природных воздействий. Проведенные исследования показывают, что сейсмический мониторинг техногенных объектов, как эксплуатирующихся, так и прошедших этап рекультивации – это эффективный параметр контроля за состоянием активных геодинамических систем, который позволяет осуществить планирование и своевременную профилактику необходимых мероприятий по предупреждению и минимизации опасных геологических процессов, связанных с геодинамикой территории. В результате проведенных исследований по предложенной методологии с применением экспресс-методов с помощью сейсмостанции DR-4040 и Дельта-Геон 001 в режиме реального времени были получены данные для дальнейшей оценки техногенного влияния транспортных потоков на само тело хвостохранилища с возможностью определения коэффициента затухания и напряженно-деформируемого состояния тела хвостохранилища.

**Ключевые слова:** сейсмический мониторинг, геодинамика, хвостохранилище, сейсмоактивность, напряженно-деформируемое состояние, сейсмограмма, влияние транспортных потоков, экспресс-методы.

**Благодарность:** Исследования выполнены в Южном федеральном университете за счет средств Российского научного фонда (проект № РНФ/23-37-ГЛ, № 23-77-00015).

**Для цитирования:** Фоменко В. А., Маковозова З. Э., Соколов А. А., Аксенова М. А., Лукьянов А. С. Исследование техногенного сейсмического фона Унальского хвостохранилища экспресс-методами // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 5. – С. 104–116. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2024\_5\_0\_104.

---

## Analysis of induced seismic background at Unal tailings pond by express-methods

B.A. Fomenko<sup>1</sup>, Z.E. Makovozova<sup>2</sup>, A.A. Sokolov<sup>1</sup>, M.A. Aksenova<sup>1</sup>, A.S. Lukyanov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Branch of Southern Federal University in Gelendzhik, Gelendzhik, Russia,  
e-mail: anso@sfedu.ru

<sup>2</sup> North Caucasus Mining and Metallurgical Institute (State Technological University),  
Vladikavkaz, Russia

<sup>3</sup> Open University of Economics, Management and Law, Moscow, Russia

---

**Abstract:** The article describes the research data on the induced seismic background at Unal tailings pond from the developed express-methods. The current situation and the evolution of the body of Unal tailings pond within the latest decades are addressed in terms of the seismic risk assessment for the whole geosystem, and the induced seismic background estimates obtained using a network of seismic stations during their real-time field-operation are presented. Based on the accomplished research, the authors identify an essential correlation between the test nature-and-technology system and potential earthquake zones in the Sadon–Unal basin. The methodology of measurements aimed to improve information content of online-monitoring, as well as to compose and update the instrumental research data base meant for the identification of manmade and natural influence zones is described. The implemented investigation proves that the seismic monitoring of manmade objects, both in operation and after reclaiming, is an efficient control parameter for active geodynamic systems, and assists in planning and execution of appropriate activities to prevent or minimize hazardous geological processes connected with geodynamics. The research carried out using the proposed methodology, express-methods and seismic stations DR-4040 and Delta-Geon 001 provided the real-time data for the subsequent assessment of the induced effect exerted by transportation flows on the body of the tailings pond, with the determination of the attenuation factor and the stress–strain behavior of the body of the tailings pond.

**Key words:** seismic monitoring, geodynamics, tailings pond, seismic activity, stress–strain behavior, seismogram, influence of transportation flows, express-methods.

**Acknowledgements:** The study was carried out at the Southern Federal University and was supported by the Russian Science Foundation, Projects Nos. RNF/23-37-GL and 23-77-00015.

**For citation:** Fomenko B. A., Makovozova Z. E., Sokolov A. A., Aksenova M. A., Lukyanov A. S. Analysis of induced seismic background at Unal tailings pond by express-methods. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2024;(5):104-116. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2024\_5\_0\_104.

---

### Введение

Изучение геодинамических процессов на объектах горнодобывающей промышленности необходимо для определения особенностей геодинамической обстановки горных территорий, выявления потенциальных участков разгрузки внутренней энергии, которые при неблагоприятном стечении факторов тех-

ногенного и природного характера могут привести к обширному развитию опасных геологических процессов, особенно если исследуемый объект расположен в зоне повышенной сейсмичности [1 – 3].

Современная геодинамическая обстановка в районе Садоно-Унальской котловины, где расположен объект ис-



Рис. 1. Рекультивированное хвостохранилище (август 2023 г.)

Fig. 1. Reclaimed tailings dump (August 2023)

следования — Унальское хвостохранилище, за последнее десятилетие характеризуется нарастающей угрозой риска возникновения катастрофических оползневых процессов, имеющих весьма разрушительные последствия. Вектор воздействия оползневых процессов условно может идти по двум траекториям: непосредственно разрушить объекты, расположенные в зоне развития оползня, либо перекрыть русло р. Ардон с образованием временных подпрудных озер, прорыв которых приведет к новым мощным паводкам и селям.

Северная Осетия известна как регион разведки и добычи полиметаллических руд, ведущихся с середины XIX в. Инфраструктура горнопромышленного сектора республики всегда была приурочена к весьма активным с геодинамической точки зрения территориям, Садоно-Унальская котловина не является исключением. Унальское хвостохранилище, расположенное в пределах котловины, вмещало в себя отходы от переработки руд Мизурской обогатительной фабрики. Хвостохранилище примыкает к федеральной автомобильной дороге «Транскам». На момент исследований хвостохранилище не функционирует, прошло этап рекультивации (рис. 1).

Целью авторских исследований, описанных в настоящей статье, является исследование техногенного сейсмического

фона Унальского хвостохранилища разработанными экспресс-методами, в основе которых лежит комплексный анализ в режиме онлайн потока данных от нескольких сейсмостанций, расположенных в местах предположительных изменений напряженно-деформируемого состояния тела хвостохранилища, определенных по визуальным нарушениям поверхности рельефа.

Задачи, решаемые в ходе исследований:

- изучение геодинамических особенностей территории Унальского котловинного хвостохранилища;
- выявление эффективного метода оценки техногенного сейсмического фона в ходе экспедиционных исследований на выведенных из эксплуатации техногенных объектах добывающей промышленности;
- определение взаимосвязи между геодинамической нагрузкой техногенной территории и степенью риска развития опасных геологических процессов в теле хвостохранилища.

Известно, что гидротехнические сооружения горных хвостохранилищ имеют специфические горно-геологические условия расположения, потому что зачастую возводятся в условиях ущелья и примыкают к горным рекам и находятся, как правило, в сейсмически активных зонах. Такое сочетание различных

опасных природных факторов может оказывать значительное влияние на всю природно-техногенную систему в целом при условии нарушений условий эксплуатации хвостохранилищ [4–6]. С учетом этого становится очевидным, что одной из важных задач мониторинга массивов отвалов, реликтов хвостов и непосредственно горных пород является прогноз опасных геологических процессов, отличающихся высокой скоростью протекания в горных условиях, и, как следствие, трудно прогнозируемых [7–10]. Создание экспресс-методов мониторинга техногенного сейсмического фона для комплексной системы прогноза и профилактики геологических процессов в зонах разгрузки внутренней энергии на Унальском техногенном полигоне — основная задача проведенных исследований.

### Объект исследований

Район Унальского хвостохранилища расположен в долине между Боковым и Скалистым хребтами (Садоно-Унальская котловина), в бассейне р. Ардон и ее притоков (р. Уналдон, Майрамдон). Садоно-Унальская котловина образована регрессивной эрозией рек в области распространения подверженных денудации песчано-сланцевых толщ среднеюрских отложений.

Рельеф широкой (до 0,8–1 км) речной поймы расчленен многочисленными рукавами. В геологическом строении

территории принимают участие верхне-четвертичные аллювиальные отложения, слагающие полого-наклонную третью террасу бассейна р. Терек. Общая мощность этих отложений достигает 7–10 м.

В южной части республики выделяется система разрывных нарушений сейсмогенного характера, представленная несколькими субпараллельными зонами. Первая зона располагается на территории Главного хребта от Мамисонского перевала на западе до Трусовского на востоке, а вторая — в бассейне р. Ардон и ее притоков.

В пределах второй зоны нарушения имеют параллельную протяженность, образуя пересекающиеся линии близширотного или северо-западного простирания. Единичные нарушения простираются в зоне развитых речных долин. Следует отметить, что для сейсмогравитационных образований второй зоны на склонах долин характерны многочисленные оползни, осыпи и площадные срывы горных масс, в частности, к ним следует отнести Луарский и Зинцарский I и Зинцарский II оползни [11]. Данные по параметрам описанных выше оползней и факторам активизации склоновых геологических процессов представлены в табл. 1 и табл. 2 соответственно.

По оценке потенциальной опасности Владикавказской зоны возможных землетрясений (далее ВОЗ), определенной

Таблица 1

### Параметры крупных оползней Садоно-Унальской котловины Parameters of landslides in the Sadono-Unal basin

Оползень	Площадь, км <sup>2</sup>	Мощность отложений, м	Состав отложений
Луарский	1,7	35–80	порфириты, песчаники, аргиллиты, суглинки
Зинцарский I	30	20–40	глины, щебень, крупнообломочные породы
Зинцарский II	65	9	алевролиты, аргиллиты, известняки, мергели, доломиты, суглинки, щебень

Таблица 2

**Факторы активизации склоновых геологических процессов**  
**Factors of activation of slope geological processes**

Факторы	Роль факторов
Постоянные: 1. Геологическое строение (состав пород, тектоническая нарушенность) 2. Геоморфологические условия	Количество и состав рыхлого материала на склонах, возможность проявления оползневых процессов, генезис селевых очагов, обводненность склонов
Медленно изменяющиеся: 1. Неотектонические движения 2. Сейсмическая активность	Мобилизация рыхлого материала, активизация оползневых и селевых процессов

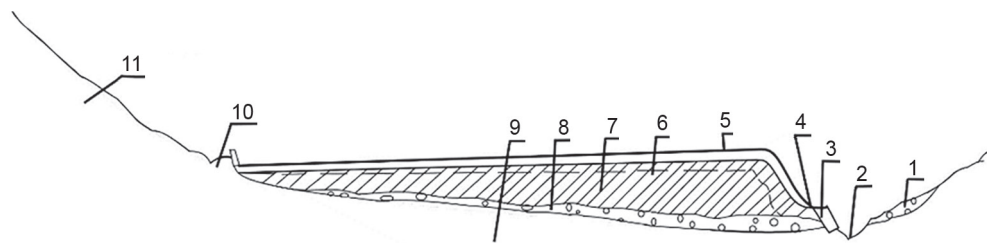
в  $M_{max}$ , она является одной из наиболее опасных для Северного Кавказа. Здесь наблюдались пятибалльное землетрясение 8 ноября 1881 г. с  $M = 4,7$ , восьмибалльное Северо-Осетинское в 1923 г. с  $M = 4,8$  и шестибалльное 1879 г. с  $M = 4,6$  [12 – 14]. На участке горных территорий, на котором расположено Унальское хвостохранилище, исследователями фактологически не подтверждена зона ВОЗ, отраженная в цепочке землетрясений на протяжении от Садона до Алагира и южнее. В некоторых исследованиях предполагается наличие Ардонского разлома, в пределах которого в 2007 г. регистрировались слабые землетрясения западнее Алагира.

Рассматриваемая зона ВОЗ в настоящее время испытывает сейсмическое затишье, однако это не означает, что и впредь данная зона будет сейсмически

тихой, поскольку в настоящее время само Унальское хвостохранилище по северо-западному склону по периметру огибает примыкающая автодорога Транскам. Сейсмический фон хвостохранилища будет обусловлен внешним фоном геологической среды с наложенными колебаниями от проезжающего автотранспорта. Колебания поверхности хвостохранилища будут обусловлены в основном эти двумя факторами.

Для рассмотрения роли геологического строения в активизации геодинамических процессов многими исследователями обращалось пристальное внимание на литологический состав пород территории [12].

Обводненность тела хвостохранилища по обнаруженным разрывам и просадкам поверхности (рис. 2) зависит в основном от величины осадков и павод-



- 1 – аллювиальные отложения правого берега; 2 – ложе реки Ардон; 3 – бетонная опорная стена;  
 4 – отступ для дороги обслуживания; 5 – поверхностная отсыпка, укрепленная растительностью;  
 6 – слой сухого тела; 7 – тело хвостохранилища; 8 – аллювиальные отложения левого берега;  
 9 – аргиллиты; 10 – полотно автодороги; 11 – левый борт геологических пород с водосборной площадью

Рис. 2. Разрез тела хвостохранилища

Fig. 2. Section of the tailings dump body

ковых вод, попадающих на поверхность хвостохранилища, которые не имеют стока и не образуют застойных озер на поверхности, в результате чего возникают обводненные зоны тела хвостохранилища. Представляется опасным комбинация таких факторов, как длительные осадки, техногенное сейсмическое воздействие автостреды и землетрясений [15 – 18].

Сочетание высокой влажности тела хвостохранилища, сейсмических техногенных и тектонических воздействий могут быть причиной возникновения дальнейших локальных просадок, проседаний грунта, разрывов поверхности, как следствие приводящих к возникновению структурных перестроек в теле хвостохранилища с дальнейшим созданием условий возникновения зеркала скольжения тела по уклону в сторону р. Ардон. В случае попадания из разломов хвостохранилища, образовавшихся по причине техногенных сейсмических воздействий, загрязнений в р. Ардон и далее в р. Терек распространение загрязнения окружающей среды может достигать Каспийского моря. В связи с этим разработка экспресс-методов, позволяющих в режиме онлайн осуществлять мониторинг техногенного сейсмического воздействия для дальнейшего анализа и оценки возможных последствий нарушения экологической безопасности, является актуальной задачей [19 – 22].

### **Материалы и методы**

Для оценки общего сейсмического фона была выбрана методика измерений с использованием опорного измерителя на базе сейсмической станции DR-4040, в совокупности с одной станцией Дельта-Геон 001 и тремя станциями Дельта-Геон 001, расположенными на поверхности хвостохранилища в местах предполагаемых нарушений поверх-

ности рельефа, связанных, по мнению авторов, с изменением напряженно-деформируемого состояния тела хвостохранилища [23, 24].

Экспресс-методы для мониторинга сейсмического фона Унальского хвостохранилища основаны на комплексном анализе потока данных в режиме онлайн от нескольких сейсмостанций, расположенных в особо опасных точках измерений. Реализация экспресс-методов мониторинга происходит в три этапа.

На первом этапе по разработанной авторами методологии происходит выбор расположения локальных пунктов измерений на поверхности хвостохранилища, который обоснован нарушением его целостности. Выявленные в результате экспериментальных исследований путем нивелирования отклонения нарушенной поверхности от первоначальной составляют более 2 м. Локальные пункты должны обеспечивать устойчивую запись и передачу данных в режиме онлайн с сейсмостанций, установленных на наиболее твердой поверхности грунта, вблизи обнаруженного места нарушения целостности поверхности.

На втором этапе происходит выбор и установка необходимого оборудования. Авторы для исследований выбрали сейсмостанцию DR-4040, технические характеристики которой представлены в табл. 3. DR-4040 — полностью синхронная многоканальная полевая система сбора сейсмических данных с высоким разрешением и широким динамическим диапазоном.

Используемые при изготовлении данного сейсмического регистратора современные электронные компоненты и аппаратурно-техническая архитектура обеспечивают непрерывную запись в абсолютном реальном времени и точно программируемые интервалы между точками отбора. Поправки к системе фазо-



Таблица 3

**Характеристики DR-4040****Characteristics of DR-4040**

Наименование	Функциональные и качественные характеристики	Значение функциональных и качественных характеристик (численное значение или наличие/отсутствие)
1	2	3
Полевой сейсмический регистратор DR-4040	Число каналов	4
	Эффективное разрешение	до 20 бит
	Диапазон входного напряжения, В	+5
	Формат данных	Miniseed/CSS
	Генератор реального времени	TCXO 1 ppm
	Частоты опроса, отсч/с	1 – 2000
	Усиление	1,2,4,8
	Подавление синфазных помех, дБ	90
	Шум (п-п), мкВ	5
	Графический дисплей	VGA, 5 дюймов
	Напряжение питания, В	10 – 16
	Потребляемая мощность, Вт	4
	Габариты, мм	250×210×110
	Вес, кг	1,7

вой автоподстройки вносятся автоматически по мере необходимости, основываясь на сигналах от GPS-приемника. DR-4040 выдает калибровочный сигнал на датчики. В системе используются широко распространенные устройства памяти — Compact Flash, micro-SD, USB, SATA накопители для сбора и переноса информации.

Система поддерживает подключение к рабочим станциям, работающим на UNIX или Windows по протоколу TCP/IP через проводную или беспроводную сеть. При такой конфигурации данные могут непосредственно записываться на сетевые диски. Система DR-4040 также имеет собственный FTP-сервер для доступа к данным и сервер удаленного администрирования.

Также для полноты информативности мониторинга по площади поверхности хвостохранилища были выбраны 4 сейс-

мостанции Дельта-Геон 001. Регистратор Дельта-Геон 001 может работать в следующих режимах: непрерывный режим регистрации; регистрация по обнаружению сейсмического события; регистрация в заранее заданные промежутки времени (по календарю). Непрерывный режим обеспечивает запись сейсмического события по команде оператора. Длина записи ограничивается размером съемного Flash-диска, подключаемого к регистратору через слот PCMCIA. В режиме «по обнаружению» сигнальный процессор с помощью высокоэффективного алгоритма обнаружения обеспечивает запись полезного сейсмического события, уменьшая объем информации для последующей обработки. Режим регистрации по календарю позволяет включить и выключить непрерывную запись, режим записи по обнаружению — выполнить калибровку сейсмоприемников

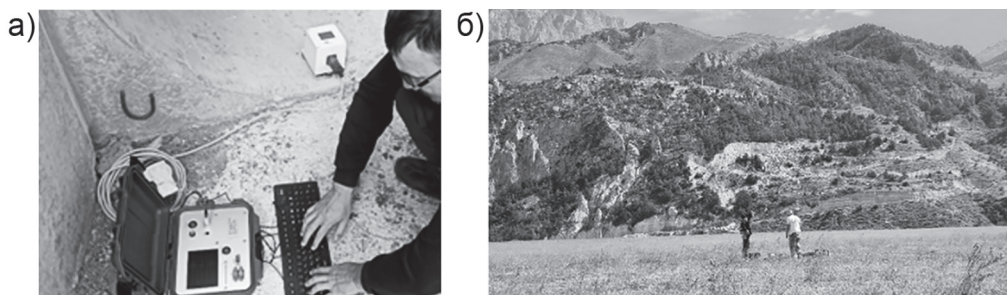


Рис. 3. Пункты измерения сейсмического фона: опорный (а); локальный (б)  
 Fig. 3. Seismic background measurement points: reference (a); local (b)

в заданное время. Выбранные сейсмостанции по заданным параметрам удовлетворяют поставленным требованиям для выполнения задач исследований.

Третий этап заключается в одновременном анализе потока данных из контрольного и локальных пунктов, позволяющих в режиме онлайн оценивать сейсмические колебания, как самого источника (проезжающего автотранспорта), так и их распределение (затухание) по площади поверхности хвостохранилища, а также анализировать распространение сейсмических колебаний, вызванных иными возмущающими воздействиями (землетрясения, камнепады, сход лавин, селей и т.д.).

Опорные пункты измерений сейсмических колебаний были организованы

на бетонном ложе около водовода под автострадой (рис. 3, а) и на поверхности хвостохранилища в местах нарушения рельефа (рис. 3, б). Измерения проводились в течение 12 ч непрерывной работы. Измеренные значения DR-4040 и Дельта-Геон 001 коррелируют между собой.

### Обсуждение результатов и выводы

Анализ полученных результатов экспериментальных исследований цикла сейсмограмм, приведенных на рис. 4, позволяют сделать вывод о том, что на частоте 0,25 Гц мгновенные значения скорости около полотна дороги составляют в среднем 0,11 м/с, что свидетельствует о незначительном энергетическом уровне.

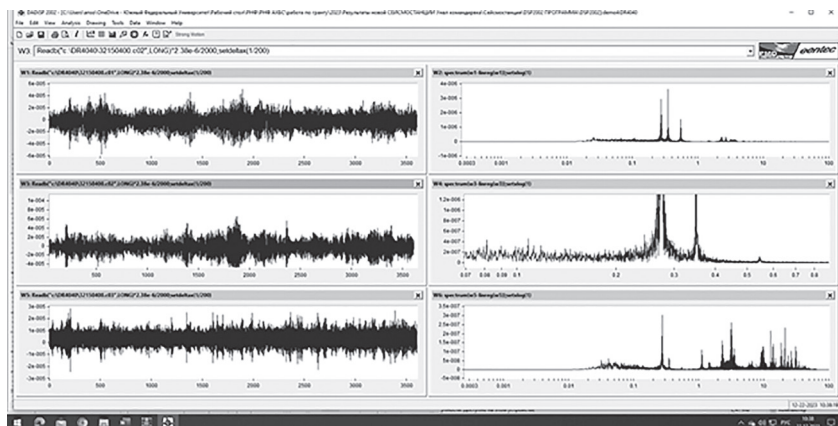


Рис. 4. Сейсмограмма и ее спектр в трех плоскостях  
 Fig. 4. Seismogram and its spectrum in three planes



ческом воздействии на тело хвостохранилища легкового автотранспорта с магистрали.

Проведенные исследования демонстрируют, что сейсмический мониторинг техногенных объектов, как эксплуатирующихся, так и прошедших этап рекультивации, — это эффективный способ контроля за состоянием активных геодинамических систем, который позволяет планирование и своевременную профилактику необходимых мероприятий по предупреждению и минимизации опасных геологических процессов, связанных со специфической геодинамикой территории.

В результате проведенных по проекту РНФ № 23-77-00015 (внутренний № РНФ/23-37-ГЛ) исследований по предложенной методологии с применением экспресс-методов с помощью сейсмостанций DR-4040 и Дельта-Геон 001 в режиме реального времени были получены величины динамического воздействия техногенного характера и определение геотехногенного влияния сейсмического фона транспортных потоков по автомагистрали.

В ходе экспедиции, выполненной в рамках работ по проекту, получены экспериментальные данные для последу-

ющего анализа с целью дальнейшей оценки техногенного влияния транспортных потоков на само тело хвостохранилища с возможностью определения коэффициента затухания и напряженно-деформируемого состояния тела хвостохранилища [24].

### **Заключение**

Для мониторинга техногенных сейсмических воздействий необходимо осуществить монтаж локальных наблюдательных пунктов с постоянно работающими сейсмостанциями, позволяющих производить анализ и оценку влияния техногенного сейсмического воздействия в режиме реального времени, а также анализировать ее корреляцию с изменениями малых 3D-смещений поверхности хвостохранилища, полученных с помощью нивелирования и методов прецизионной геологической локации. В случае невозможности обустройства стационарных пунктов сейсмического наблюдения антивандального исполнения возможно в некоторой степени частично компенсировать их регулярными полевыми наблюдениями, полученными в ходе экспедиций (в зависимости от сезона), осуществляя измерения с помощью предложенных экспресс-методов.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Жукова С. А., Журавлева О. Г., Онуприенко В. С., Стрешнев А. А. Особенности сейсмического режима массива горных пород при отработке удароопасных месторождений Хибинского массива // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 7. — С. 5–17. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_7\_0\_5.
2. Marzak H., Mutke G. Seismic activation of tectonic stresses by mining // Journal Seismology. 2013, vol. 17, no. 4, pp. 1139–1148. DOI: 10.1007/s10950-013-9382-3.
3. Фидарова М. И., Заалишвили В. Б., Мельков Д. А. Связь величины макросейсмической интенсивности с различными показателями инструментальных записей колебаний грунтовой толщи // Геология и геофизика Юга России. — 2023. — Т. 13. — № 1. — С. 59–75. DOI: 10.46698/VNC.2023.17.83.005.
4. Бутюгин В. В. Геоэкологические принципы эксплуатации хвостохранилища в криолитозоне // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. — 2006. — № 1(12). — С. 140–147.
5. Разумов Е. Е., Простов С. М., Мулёв С. Н., Рукавишников Г. Д. Алгоритмы обработки сейсмической информации // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 2. — С. 17–29. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_2\_0\_17.

6. Bosikov I. I., Klyuev R. V., Dmitrak Yu. V. Analysis of hazardous processes in the natural-industrial system / *Advances in Raw Material Industries for Sustainable Development Goals*. 2021, pp. 422 – 429. DOI: 10.1201/9781003164395-53.

7. Aimbetova I. O., Koishieva G. Z., Imbetova E. O., Moldagazyeva Z. I., Myrkheeva D. N. Heat-insulating products from polymetallic plant waste in the Turkestan region, the Republic of Kazakhstan // *International Journal of Energy for Clean Environment*. 2023, vol. 24, no. 1, pp. 1 – 14. DOI: 10.1615/InterJEnerCleanEnv.2022043034.

8. Aimbetova I., Kuzmin A., Mirkeeva D., Aimetova E., Kalimoldina L. An effect of hydrothermal synthesis time on the specific capacitance of vanadium pentoxide // *International Journal of Energy for Clean Environment*. 2023, vol. 24, no. 2, pp. 15 – 26. DOI: 10.1615/InterJEnerCleanEnv.2022043086.

9. Cesca S., Grigoli F. Full waveform seismological advances for microseismic monitoring // *Advances in Geophysics*. 2015, vol. 56, pp. 169 – 228. DOI: 10.1016/bs.agph.2014.12.002.

10. Goldswain G. Advances in seismic monitoring technologies / *Proceedings of the Second International Conference on Underground Mining Technology*. Australian Centre for Geomechanics. Perth, 2020, pp. 173 – 188. DOI: 10.36487/acg\_repo/2035\_05.

11. Хацаева Ф. М., Томаев В. А. Оползневая опасность бассейнов горных рек Республики Северная Осетия–Алания // *Современные проблемы науки и образования*. – 2015. – № 1-1. – С. 1821.

12. Письменный А. Н., Январёв Г. С. Моделирование геодинамического потенциала горных склонов и пространственный прогноз активизации экзогенных геологических процессов с использованием ГИС-технологий (на примере горной части Республики Северная Осетия–Алания) // *Региональная геология и металлогения*. – 2005. – № 25. – С. 205 – 210.

13. Рейснер Г. И., Иогансон Л. И. Комплексная типизация земной коры как основа для решения фундаментальных и прикладных задач // *Бюллетень МОИП. Отдел геологический*. – 1997. – Т. 72. – № 3. – С. 5 – 13.

14. Рогожин Е. А., Собисевич А. Л., Нечаев Ю. В., Собисевич Л. Е., Овсяченко А. Н. Геодинамика, сейсмоструктура и вулканизм Северного Кавказа. – М., 2001. – С. 150 – 152.

15. Маковозова З. Э., Аксенова М. А., Кесвани Четан, Умиров Б. З. Вопросы оценки влияния опасных экзогенных процессов на устойчивость природно-техногенных систем на примере Фиагдонского хвостохранилища // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2023. – № 7. – С. 76 – 87. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_7\_0\_76.

16. Яицкая Н. А., Бригида В. С. Геоинформационные технологии при решении трехмерных геоэкологических задач: пространственная интерполяция данных. Геология и геофизика Юга России. – 2022. – Т. 12. – № 1. – С. 162 – 173. DOI: 10.46698/VNC.2022.86.27.012.

17. Яицкая Н. А., Бригида В. С., Гаврина О. А., Копылов А. С. Фотограмметрическая оценка деформационных процессов на оползневых склонах при обеспечении устойчивого развития территорий Кавказа // *Устойчивое развитие горных территорий*. – 2023. – Т. 15. – № 3. – С. 558 – 567. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-3-558-567.

18. Шестопалов В. Л., Фоменко В. А., Соколов А. А., Мирошников А. С. Сравнительный анализ деформационных методов мониторинга сейсмической активности горных районов Черноморского побережья и Камчатки // *Устойчивое развитие горных территорий*. – 2021. – Т. 13. – № 4. – С. 535 – 543. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-4-535-543.

19. Shabanov M. V., Marichev M. S., Minkina T. M., Mandzhieva S. S., Nevidomskaya D. G. Assessment of the impact of industry-related air emission of arsenic in the soils of forest ecosystems // *Forests*. 2023, vol. 14, no. 3, article 632. DOI: 10.3390/f14030632.

20. Зиновьева О. М., Колесникова Л. А., Меркулова А. М., Смирнова Н. А. Управление экологическими рисками на горнодобывающих предприятиях // *Уголь*. – 2022. – № 3. – С. 76 – 80. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-3-76-80.

21. Шабанов М. В., Маричев М. С., Неvidомская Д. Г., Минкина Т. М. Влияние кислых сульфатных вод на загрязнение почв террикона в Карабашском рудном районе // *Устойчивое развитие горных территорий*. – 2023. – Т. 15. – № 4. – С. 888 – 900. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-4-888-900.

22. Kulikova E. Risk assessment of dangerous natural processes and phenomena in mining operations / *Recent Researches in Earth and Environmental Sciences*. Springer, 2019, pp. 21 – 33. DOI: 10.1007/978-3-030-18641-8\_3.

23. Malyukova L. S., Martyushev N. V., Tynchenko V. V., Kondratiev V. V., Bukhtoyarov V. V., Konyukhov V. Y., Bashmur K. A., Panfilova T. A., Brigida V. Circular mining wastes management for sustainable production of *Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze // *Sustainability*. 2023, vol. 15, no. 15, article 11671. DOI: 10.3390/su151511671.

24. Фоменко В. А., Соколов А. А., Лолаев А. Б., Аймбетова И. О. Некоторые результаты работ по оценке эманаций рудона Унальского хвостохранилища // *Устойчивое развитие горных территорий*. – 2022. – Т. 14. – № 4. – С. 576–585. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-4-576-585. **MIAB**

## REFERENCES

1. Zhukova S. A., Zhuravleva O. G., Onuprienko V. S., Streshnev A. A. Seismic behavior of rock mass in mining rockburst-hazardous deposits in the Khibiny Massif. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 7, pp. 5–17. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_7\_0\_5.

2. Marcak H., Mutke G. Seismic activation of tectonic stresses by mining. *Journal Seismology*. 2013, vol. 17, no. 4, pp. 1139–1148. DOI: 10.1007/s10950-013-9382-3.

3. Fidarova M. I., Zaalishvili V. B., Melkov D. A. Correlation between the magnitude of macroseismic intensity and various indicators of instrumental records of fluctuations in the soil stratum. *Geology and geophysics of Russian South*. 2023, vol. 13, no. 1, pp. 59–75. [In Russ]. DOI: 10.46698/VNC.2023.17.83.005.

4. Butyugin V. V. Geocological principles of exploitation of tailing tips in cryolite zone. *RUDN Journal of Engineering Research*. 2006, no. 1(12), pp. 140–147. [In Russ].

5. Razumov E. E., Prostov S. M., Mulev S. N., Rukavishnikov G. D. Seismic information processing algorithms. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 2, pp. 17–29. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_2\_0\_17.

6. Bosikov I. I., Klyuev R. V., Dmitrak Yu. V. Analysis of hazardous processes in the natural-industrial system. *Advances in Raw Material Industries for Sustainable Development Goals*. 2021, pp. 422–429. DOI: 10.1201/9781003164395-53.

7. Aimbetova I. O., Koishieva G. Z., Imbetova E. O., Moldagazyeva Z. I., Myrkheeva D. N. Heat-insulating products from polymetallic plant waste in the Turkestan region, the Republic of Kazakhstan. *International Journal of Energy for Clean Environment*. 2023, vol. 24, no. 1, pp. 1–14. DOI: 10.1615/InterJEnerCleanEnv.2022043034.

8. Aimbetova I., Kuzmin A., Mirkeeva D., Aimetova E., Kalimoldina L. An effect of hydrothermal synthesis time on the specific capacitance of vanadium pentoxide. *International Journal of Energy for Clean Environment*. 2023, vol. 24, no. 2, pp. 15–26. DOI: 10.1615/InterJEnerCleanEnv.2022043086.

9. Cesca S., Grigoli F. Full waveform seismological advances for microseismic monitoring. *Advances in Geophysics*. 2015, vol. 56, pp. 169–228. DOI: 10.1016/bs.agph.2014.12.002.

10. Goldswain G. Advances in seismic monitoring technologies. *Proceedings of the Second International Conference on Underground Mining Technology*. Australian Centre for Geomechanics. Perth, 2020, pp. 173–188. DOI: 10.36487/acg\_repo/2035\_05.

11. Khatsaeva F. M., Tomaev V. A. Opolznewa danger of mountain river basins of the Republic of Northern Osetia–Alania. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2015, no. 1-1, pp. 1821. [In Russ].

12. Pismenny A. N., Yanvarev G. S. Modelling of geodynamic potential of mountain slopes and spatial forecast of activation of exogenous geological processes using GIS-technologies (on the example of the mountainous part of the Republic of North Ossetia–Alania). *Regional geology and metallogeny*. 2005, no. 25, pp. 205–210. [In Russ].

13. Reisner G. I., Ioganson L. I. Complex typification of the earth's crust as a basis for solving fundamental and applied problems. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Geological series*. 1997, vol. 72, no. 3, pp. 5–13. [In Russ].

14. Rogozhin E. A., Sobisevich A. L., Nechaev Yu. V., Sobisevich L. E., Ovsyuchenko A. N. *Geodinamika, seysmotektonika i vulkanizm Severnogo Kavkaza* [Geodynamics, seismotectonics and volcanism of the North Caucasus], Moscow, 2001, pp. 150–152.

15. Makovozova Z. E., Aksenova M. A., Keswani Chetan, Umirov B. Z. Effect of hazardous exogenous processes on nature and manmade system stability: A case-study of a Fiagdon tailings pond. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023, no. 7, pp. 76–87. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_7\_0\_76.

16. Yaitskaya N. A., Brigida V. S. Geoinformation technologies in solving three-dimensional geological problems. *Geology and geophysics of Russian South*. 2022, vol. 12, no. 1, pp. 162 – 173. [In Russ]. DOI: 10.46698/VNC.2022.86.27.012.
17. Yaitskaya N. A., Brigida V., Gavrina O. A., Kopylov A. S. Photogrammetric assessment of deformation processes on landslide slopes while ensuring sustainable development of Caucasus Territories. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2023, vol. 15, no. 3, pp. 558 – 567. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-3-558-567.
18. Shestopalov V. L., Fomenko V. A., Sokolov A. A., Miroshnikov A. S. Comparative analysis of deformation methods for seismic activity monitoring in mountainous areas of the Black Sea coast and Kamchatka. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2021, vol. 13, no. 4, pp. 535 – 543. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-4-535-543.
19. Shabanov M. V., Marichev M. S., Minkina T. M., Mandzhieva S. S., Nevidomskaya D. G. Assessment of the impact of industry-related air emission of arsenic in the soils of forest ecosystems. *Forests*. 2023, vol. 14, no. 3, article 632. DOI: 10.3390/f14030632.
20. Zinovieva O. M., Kolesnikova L. A., Merkulova A. M., Smirnova N. A. Environmental risk management at mining enterprises. *Ugol'*. 2022, no. 3, pp. 76 – 80. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-3-76-80.
21. Shabanov M. V., Marichev M. S., Nevidomskaya D. G., Minkina T. M. Acidic sulphate water influence on terricon soil pollution in the Karabash ore district. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2023, vol. 15, no. 4, pp. 888 – 900. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-4-888-900.
22. Kulikova E. Risk assessment of dangerous natural processes and phenomena in mining operations. *Recent Researches in Earth and Environmental Sciences*. Springer, 2019, pp. 21 – 33. DOI: 10.1007/978-3-030-18641-8\_3.
23. Malukova L. S., Martyushev N. V., Tynchenko V. V., Kondratiev V. V., Bukhtoyarov V. V., Konyukhov V. Y., Bashmur K. A., Panfilova T. A., Brigida V. Circular mining wastes management for sustainable production of *Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze. *Sustainability*. 2023, vol. 15, no. 15, article 11671. DOI: 10.3390/su151511671.
24. Fomenko V. A., Sokolov A. A., Lolaev A. B., Aimbetova I. O. Some results of the work on the evaluation of radon emanations at Unal tailings. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2022, vol. 14, no. 4, pp. 576 – 585. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-4-576-585.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Фоменко Владимир Александрович<sup>1</sup> – канд. техн. наук,  
доцент, e-mail: vafomenko@sfedu.ru,  
ORCID ID: 0000-0003-4725-3673,  
Маковозова Залина Элгуджаевна – канд. геол.-минерал. наук,  
доцент, зав. кафедрой, Северо-Кавказский  
горно-металлургический институт  
(государственный технологический университет),  
e-mail: geologistik@bk.ru,  
ORCID ID: 0009-0000-3555-4394,  
Соколов Андрей Андреевич<sup>1</sup> – канд. техн. наук,  
доцент, зав. кафедрой, e-mail: anso@sfedu.ru,  
ORCID ID: 0000-0002-1127-9612,  
Аксенова Мария Анатольевна<sup>1</sup> – ассистент кафедры,  
e-mail: maaksenova@sfedu.ru,  
ORCID ID: 0009-0005-5482-4691,  
Лукьянов Александр Сергеевич – студент,  
Открытый университет экономики, управления и права,  
e-mail: alexandr.luckjanov@yandex.ru,  
ORCID ID: 0009-0005-5123-7344,

<sup>1</sup> Филиал Южного федерального университета в г. Геленджике.

**Для контактов:** Соколов А.А., e-mail: anso@sfedu.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*B.A. Fomenko*<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,  
e-mail: vafomenko@sfedu.ru,

ORCID ID: 0000-0003-4725-3673,

*Z.E. Makovozova*, Cand. Sci. (Geol. Mineral.),

Assistant Professor, Head of Chair,

North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy

(State Technological University),

362021, Vladikavkaz, Russia, e-mail: geologistik@bk.ru,

ORCID ID: 0009-0000-3555-4394,

*A.A. Sokolov*<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,

Head of Chair, e-mail: anso@sfedu.ru,

ORCID ID: 0000-0002-1127-9612,

*M.A. Aksenova*<sup>1</sup>, Assistant of Chair,

e-mail: maaksenova@sfedu.ru,

ORCID ID: 0009-0005-5482-4691,

*A.S. Lukyanov*, Student, Open University of Economics,

Management and Law, 109029, Moscow, Russia,

e-mail: alexandr.luckjanov@yandex.ru,

ORCID ID: 0009-0005-5123-7344,

<sup>1</sup> Branch of Southern Federal University in Gelendzhik,

353461, Gelendzhik, Russia.

**Corresponding author:** A.A. Sokolov, e-mail: anso@sfedu.ru.

Получена редакцией 19.01.2024; получена после рецензии 21.02.2024; принята к печати 10.04.2024.

Received by the editors 19.01.2024; received after the review 21.02.2024; accepted for printing 10.04.2024.



---

## ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

---

### О ВЛИЯНИИ ПЛАСТИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕТОНОВ

(2024, № 1, СБ 1, 44 с.)

*Бамборин Михаил Юрьевич* – канд. техн. наук, ФГУП «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами», e-mail: MYBamborin@noraо.ru, ORCID ID: 0000-0001-8993-7059.

Приведены результаты исследования свойств бетонов с добавлением суперпластифицирующих добавок поликарбоксилатной и полинафталинсульфонатной природы на физико-механические свойства бетона. Представлены результаты испытаний на прочность полученных композиций бетона, водонепроницаемость, морозостойкость и стойкость к коррозии.

### ON THE EFFECT OF PLASTICIZING ADDITIVES ON THE TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF CONCRETE

*M.Yu. Bamborin*, Cand. Sci. (Eng.), National Operator for Radioactive Waste management FSUE, 119017, Moscow, Russia, e-mail: MYBamborin@noraо.ru, ORCID ID: 0000-0001-8993-7059.

The results of a study of the properties of concretes with the addition of superplasticizing additives of polycarboxylate and poly-naphthalene sulfonate nature on the physical and mechanical properties of concrete are presented. The results of tests on the strength of the obtained concrete compositions, water resistance, frost resistance and corrosion resistance are presented.