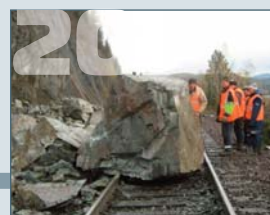
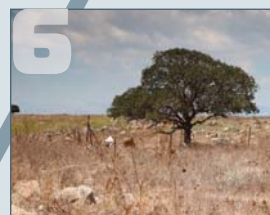


Независимый электронный журнал ГеоИнфо

Динамика эколого-геологических систем.
Стр. 6

Контроль качества инженерных изысканий на всех этапах.
Стр. 14

Специфика конструкций инженерной защиты.
Стр. 20



GEOINFO

ISSN 2949-0677 (ONLINE)

WWW.GEOINFO.RU

НОЯБРЬ • NOVEMBER • TOM IV • 11-2022

ГЕНЕРАЛЬНЫЕ СПОНСОРЫ ПРОЕКТА



ООО «ПЕТРОМОДЕЛИНГ»



Австрийская компания
«TRUMER SCHUTZBAUTEN GMBH»
ООО «РТ ТРУМЕР»



Институт
экологического
проектирования
и изысканий

АО «ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИЗЫСКАНИЙ»



Maccaferri / ГАБИОНЫ МАККАФЕРРИ СНГ



ООО НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

ООО НПП «ГЕОТЕК»



Компания
Mountain Risk Consultancy

СПОНСОРЫ ПРОЕКТА



MalinSoft



Modeling, Integrated Design
& Analysis Software

ООО «МИДАС» / MIDAS IT



Геотехническая лаборатория
АО «МОСТДОРГЕОТРЕСТ»



ООО «НИЖЕГОРОДСТРОЙИЗЫСКАНИЯ»



ООО «ГЕОИНЖЕРВИС» / FUGRO

EngGeo

Обработка и хранение результатов
инженерно-геологических
изысканий

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС «ENGCEO»



ООО «ПРОГРЕССГЕО»



НПО «ТЕРРАЗОНД»



ООО «КОМПАНИЯ «КРЕДО-ДИАЛОГ»

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ



Программный комплекс RosScience

ADVANCED SURVEY
TECHNOLOGIES

ООО «СОВРЕМЕННЫЕ ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ» (ADVANCED SURVEY
TECHNOLOGIES) - ОФИЦИАЛЬНЫЙ
ПРЕДСТАВИТЕЛЬ ROSSCIENCE В РОССИИ



ООО «КБ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ»

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ НЕЗАВИСИМОГО ЭЛЕКТРОННОГО ЖУРНАЛА «ГЕОИНФО»

Ананко Виктор Николаевич

Главный редактор журнала «ГеоИнфо»

Баборькин Максим Юрьевич

Главный аналитик Центра геоинформационных технологий Университета Иннополис, главный геолог ООО «Аэрогеоматика», к.г.-м.н., имеет степень MBA

Бершов Алексей Викторович

Генеральный директор ГК «Петромоделинг», ассистент Кафедры Инженерной и экологической геологии Геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

Гизатуллин Рушан Рафаэлевич

Инженер-геотехник ООО «НИП-Информатика»

Ермолов Александр Александрович

Научный сотрудник Научно-исследовательской лаборатории геоэкологии Севера Кафедры геоморфологии и палеогеографии Географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, к.г.н.

Жидков Роман Юрьевич

Начальник группы разработки программного обеспечения по геологии ГБУ «Мосгоргеотрест», к.г.-м.н.

Зайцев Андрей Александрович

Доцент кафедры "Путь и путевое хозяйство" РУТ (МИИТ), к.т.н.

Исаев Владислав Сергеевич

Старший научный сотрудник Кафедры геокриологии Геологического факультета МГУ, к.г.-м.н.

Королев Владимир Александрович

Профессор Кафедры инженерной и экологической геологии Геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, д.г.-м.н., член-корреспондент Российской академии естественных наук (РАЕН) по секции наук о Земле

Латыпов Айрат Исламгалиевич

Руководитель Лаборатории по исследованию грунтов в строительстве, доцент по специальности «Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение», член национального реестра специалистов в области строительства, эксперт Министерства экологии и природных ресурсов Республики Татарстан, к.т.н.

Маштаков Александр Сергеевич

Главный специалист ООО Арктический научный центр (Роснефть), руководитель Волгоградского отделения Общественной организации Российское геологическое общество, эксперт Российского газового общества, к.г.-м.н.

Мирный Анатолий Юрьевич

Старший научный сотрудник Геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, руководитель проекта «Независимая геотехника», к.т.н.

Миронюк Сергей Григорьевич

Доцент/старший научный сотрудник Кафедры инженерной и экологической геологии Геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, научный сотрудник ООО «Центр морских исследований МГУ им. М.В. Ломоносова», к.г.-м.н.

Пиоро Екатерина Владимировна

Генеральный директор ООО «Петромоделинг Лаб», к.г.-м.н.

Самарин Евгений Николаевич

Профессор Кафедры инженерной и экологической геологии Геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, д.г.-м.н.

Судакова Мария Сергеевна

Старший преподаватель Кафедры сейсмологии и геоакустики Геологического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова, Научный сотрудник института Криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, к.ф.-м.н.

Слободян Владимир Юрьевич

Генеральный директор АО «Институт экологического проектирования и изысканий» (АО «ИЭПИ»)

Труфанов Александр Николаевич

Заведующий лабораторией «Методов исследования грунтов» НИИОСП им. Н.М. Герсевича, АО «НИЦ Строительство», к.т.н., Почетный строитель России

Федоренко Евгений Владимирович

Научный консультант ООО «НИП-Информатика», к.г.-м.н.

Фоменко Игорь Константинович

Профессор Кафедры инженерной геологии МГРИ, д.г.-м.н.

Фролова Юлия Владимировна

Доцент Кафедры инженерной и экологической геологии Геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, д.г.-м.н.

Шац Марк Михайлович

Ведущий научный сотрудник Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН (ИМЗ), к.г.н.



ГЕОИНФО

Электронное издание

Издается с марта 2016 года.

Периодичность: 1 раз в месяц.

ISSN: 2949-0677

Префикс DOI: 10.58339

Редакцией журнала принимаются к рассмотрению статьи по следующим темам: инженерные изыскания для строительства; геотехническое проектирование; инженерная и экологическая геология; механика грунтов, геотехника, проектирование оснований и фундаментов; экология и экологические исследования; проблемы инженерно-геологического риска; методы прогнозирования, предотвращения, минимизации и ликвидации последствий опасных природных процессов и явлений; инженерная защита территории.

Учредитель:

Ананко Виктор Николаевич

Издательство:

ГеоИнфо, ИП Ананко В.Н.

Адрес:

119146, РФ, Москва,
ул. 3-я Фрунзенская, 10/12

Редакция:

Ананко Виктор Николаевич
Главный редактор

Васин Михаил Васильевич
Обозреватель

Дизайн и верстка:

ИП Лившиц С.С.

Официальный сайт:

Geoinfo.ru

Адрес в НЭБ:

https://elibrary.ru/title_about_new.asp?id=80357

Распространяется бесплатно.

За содержание рекламных материалов редакция ответственности не несет.

Дата выхода в свет: 30.11.2022 г.

© Ананко Виктор Николаевич, 2022

© ГеоИнфо, 2022

Фото на обложке: www.Pixabay.com

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

Динамика эколого-геологических систем

Владимир Королев

6

Контроль качества инженерных изысканий на всех этапах. Супервайзинг как эффективный инструмент заказчика

Алексей Бершов

14

ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ТЕРРИТОРИИ

Специфика конструкций инженерной защиты, применяемых в условиях статических и динамических нагрузок

Татьяна Горбачева

20

МЕХАНИКА ГРУНТОВ И ГЕОТЕХНИКА

Трехмерный конечноэлементный анализ устойчивости пещерного монастыря Саберееби (Грузия). Часть 2

Домей Гизела, Превитали Марко, Кастелланса Риккардо

24

Введение в программу Rocscience RS2 модуля для теплового моделирования и анализа

Михаил Васин

40

ГЕОТЕХНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Мониторинг геотехнических объектов с помощью технологии распределенного реестра (DLT)

Теодора Христова, Иван Митев, Веселин Балев

48

Применение распределенных волоконно-оптических датчиков для геотехнического мониторинга

Альдо Минардо, Луиджи Дзени, Аньезе Коскетта

54

ПРИЛОЖЕНИЕ «ДИСКУССИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ»

Чтения памяти Г.М. Шахунянца: главное научно-производственное событие для железнодорожников-путейцев

Виктор Ананко

66

О монографии Е.М. Пашкина «Инженерно-геологическая диагностика деформаций памятников архитектуры»

Виктор Ананко

72

Перечень научных специальностей:

- | | |
|---------|---|
| 020102. | Основания и фундаменты, подземные сооружения |
| 020806. | Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика |
| 010601. | Общая и региональная геология. Геотектоника и геодинамика |
| 010606. | Гидрогеология |
| 010607. | Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение |
| 010608. | Гляциология и криология Земли |
| 010609. | Геофизика |
| 010621. | Геоэкология |
| 020110. | Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства |
| 010612. | Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов |
| 010616. | Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия |
| 020106. | Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология |
| 010617. | Океанология |
| 010619. | Аэрокосмические исследования Земли, фотограмметрия |
| 010620. | Геоинформатика, картография |
| 010622. | Геодезия |
| 020107. | Технология и организация строительства |
| 020109. | Строительная механика |



ENGINEERING GEOLOGY. ENGINEERING-GEOLOGICAL SURVEY

Dynamics of ecological-geological systems

Vladimir Korolev

Quality control of a site investigation at all the stages. Supervising as a customer's effective tool

Alexey Bershov

ENGINEERING PROTECTION OF TERRITORIES

Specifics of engineering protection structures used under static and dynamic loads

Tatyana Gorbacheva

SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICS

High-Resolution 3D FEM Stability Analysis of the Sabereebi Cave Monastery, Georgia. Part 2

Gisela Domej, Marco Previtali, Riccardo Castellanza, et al.

Introducing Thermal Module in RS2

Mikhail Vasin

GEOTECHNICAL MONITORING

Monitoring of geotechnical facilities through DLT solution

Teodora Hristova, Ivan Mitev, Veselin Balev

Distributed optical fiber sensor applications in geotechnical monitoring

Aldo Minardo, Luigi Zeni, Agnese Coscetta, et al.

APPENDIX "DISCUSSION MATERIALS"

Readings Dedicated to the Memory of G.M. Shakhunyants: the main research and production event for railwaymen

Viktor Ananko

On the monograph "Engineering-geological diagnostics of deformations of architectural monuments" by E.M. Pashkin

Viktor Ananko



GEOINFO

- 6 Electronic publication
Published since 2016
- 14 Publication frequency:
once a month
ISSN: 2949-0677
DOI prefix: 10.58339
- 20 The editorial board of the journal accepts for consideration articles on the following topics: Site Investigation for Construction; Geotechnical Designing; Engineering and Ecological Geology; Soil Mechanics; Geotechnics; Design of Bases and Foundations; Ecology and Environmental Studies; Engineering-Geological Risk Problems;
- 24 Methods for Forecasting, Preventing, Minimizing and Eliminating the Consequences of Hazardous Natural Processes and Phenomena; Engineering Protection of Territories.
- 48 **Founder:**
Ananko Viktor Nikolaevich
- 54 **Publisher:**
GeoInfo, individual entrepreneur Ananko V.N.
Address:
10/12 3rd Frunzenskaya str., Moscow, 119146, Russian Federation
- 66 **Editorial staff:**
editor-in-chief:
Ananko Viktor Nikolaevich;
- 72 analyst:
Vasin Mikhail Vasilyevich;
- Designer and layout designer:**
individual entrepreneur Livshic S.S.
- Official website:**
Geoinfo.ru
- Address in the National Electronic Library of the RF:**
https://elibrary.ru/title_about_new.asp?id=80357
- It is distributed for free
- The editorial staff is not responsible for the content of advertising materials
- Publication date: 30.11.2022
- © Ananko Viktor Nikolaevich, 2022
- © GeoInfo, 2022
- Cover photo: www.Pixabay.com





(Источник фото: сайт Pixabay)
(The photo source: the Pixabay website)

ДИНАМИКА ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Оригинальная статья

Поступила в редакцию 06.11.2022. Принята к публикации 18.11.2022. Дата публикации 30.11.2022.

© Независимый электронный журнал «ГеоИнфо», 2022

КОРОЛЁВ В.А.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
г. Москва, Россия, va-korolev@bk.ru
Адрес: Ленинские горы, д. 1, г. Москва, 119991, Россия

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены особенности динамики природных и техногенных эколого-геологических систем, которые являются основными объектами изучения экологической геологии и инженерно-экологических изысканий. Показано, что эколого-геологические системы являются динамичными объектами, состав и структура которых меняются как в геологическом, так и в физическом времени, что необходимо учитывать при их оценке.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

экологическая геология; инженерно-экологические изыскания; эколого-геологическая система; динамика изменений; природный литотоп; палеолитотоп; техногенная трансформация.

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Королёв В.А. Динамика эколого-геологических систем // Геоинфо. 2022. № 11. С. 6–12, doi: 10.58339-2949-0677-2022-4-11-6-12

DYNAMICS OF ECOLOGICAL-GEOLOGICAL SYSTEMS

Original paper

Received 06.11.2022. Accepted 18.11.2022. Published 30.11.2022.

© Independent electronic journal "GeolInfo", 2022

VLADIMIR A. KOROLEV

Lomonosov Moscow State University,
Moscow, Russia, va-korolev@bk.ru
Address: 1 Leninskiye Gory, Moscow
119991, Russia

ABSTRACT

The article discusses the features of the dynamics of natural and man-made ecological-geological systems, which are the main study objects of Ecological Geology and Engineering-Ecological Surveys. It is shown that ecological-geological systems are dynamic objects, the composition and structure of which change both in geological time and in physical time, and that must be taken into consideration when evaluating them.

KEYWORDS:

Ecological Geology; Engineering-Ecological Surveys; ecological-geological system; change dynamics; natural lithotope; paleolithotope; technogenic transformation.

FOR CITATION:

Korolev V.A. Dinamika ekologo-geologicheskikh sistem [Dynamics of ecological-geological systems]. GeolInfo. 2022, 11, P. 6–12. doi: 10.58339-2949-0677-2022-4-11-6-12 (in Russian).

Введение ▶

Основными объектами исследований в области экологической геологии являются эколого-геологические системы (ЭГС). Они же анализируются и в ходе инженерно-экологических изысканий, в составе которых ЭГС играют ведущую роль [6].

Понятие об ЭГС сформировалось не сразу. Эколого-геологическая система рассматривалась как «часть экосистемы, выполняющая функции жизнеобеспечения человека и биоты на базе геологического компонента природной среды» [7]. Позже В.Т. Трофимов и Д.Г. Зилинг понятие ЭГС использовали в качестве объекта изучения в экологической геологии, считая, что ЭГС — это «верхняя часть литосферы (включающая подземные воды и газы) как абиотическая компонента экосистем высшего уровня организации, или, рассматривая объектное поле экологической геологии с позиций системного подхода, своеобразная эколого-геологическая система» [12, с. 118].

В 2009 году В.Т. Трофимов детально проанализировал понятие ЭГС и ее структуру [11]. В более чем тридцати его публикациях, посвященных ЭГС, наиболее полно раскрываются структура и содержание эколого-геологической системы [7–13]. Под последней стали понимать открытую динамичную систему, включающую три подсистемных блока

(литосферный, абиотический, биотический) и источники природных и техногенных воздействий, тесно взаимосвязанных прямыми и обратными причинно-следственными связями, обусловливающими ее структурно-функциональное единство [1]. «В практическом плане — это определенный объем литосферы с находящейся в ней и на ней биотой, включая человека и социум, на которые воздействуют природные и техногенные факторы, под влиянием которых развиваются современные геологические процессы в названной системе, влияющие на условия жизни биоты в ее рамках. Эта система исследуется как многокомпонентная система, включающая породы, подземные воды, нефть и газы, геохимические и геофизические поля и протекающие современные геологические процессы, влияющая на существование и развитие биоты, в том числе и человеческого сообщества» [1, с. 207].

Позже появилась масса публикаций об ЭГС, раскрывающих особенности этих систем, их роль в экосистемах, их структуру, систематику, учет в составе инженерно-экологических изысканий и т. п. [2–6]. Тем не менее многие авторы это понятие до сих пор трактуют истинно или неправильно.

Структура эколого-геологической системы и ее положение в объеме эко-

системы согласно В.Т. Трофимову [11] показана на рисунке 1. Эта схема составлена с учетом изменения содержания экологии, выхода ее за границы биоэкологии, изучающей взаимодействия биотического и абиотического компонентов внутри экосистемы, и превращения в науку, исследующую систему «природа — человек — общество», а также в связи с необходимостью устранения принципиальной ошибки прежних схем, в которых геологические факторы в системе биотопа не учитывались совсем или, если и учитывались, то в «усеченном» виде.

Если из этой схемы вычленим отдельно эколого-геологическую систему, то можно представить ее состав так, как показано на рисунке 2. Как следует из этой схемы, ЭГС состоит из двух подсистем: абиотической (литотопа и эдафотопа, составляющих вместе биотоп) и биотической (биоценоза как совокупности микробценоза, фитоценоза и зооценоза). В отличие от схемы, приведенной на рисунке 1, здесь вместо геодинамических процессов (которые не являются материальной субстанцией) введены геодинамические поля, их определяющие.

Все указанные на рисунке 2 компоненты биоценоза и биотопа, включая литотоп, изменяются во времени и

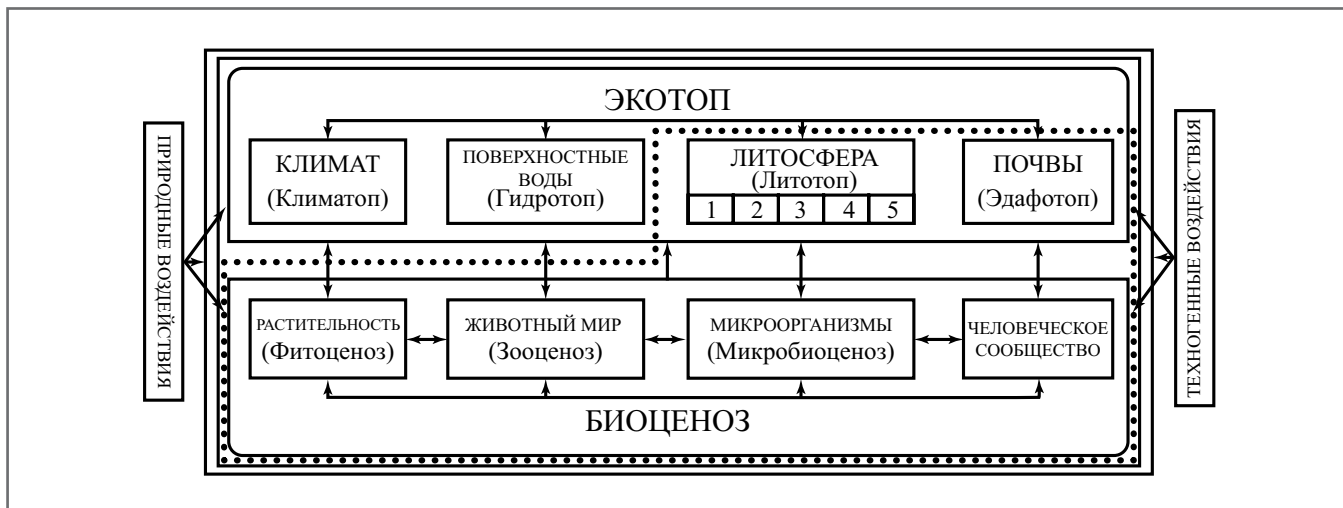


Рис. 1. Схема структуры экосистемы с учетом геологической составляющей и внешних воздействий на нее. Пунктирным контуром выделены границы эколого-геологической системы. Параметры литосферы: 1 — состав, строение и рельеф; 2 — подземные воды; 3 — геохимические поля; 4 — геофизические поля; 5 — современные эндо- и экзогенные процессы [11]

Fig. 1. A scheme of the ecosystem structure taking into account the geological component and external influences on it. The dotted contour marks the boundaries of an ecological-geological system. The lithosphere parameters: 1 — composition, structure and relief; 2 — groundwater; 3 — geochemical fields; 4 — geophysical fields; 5 — modern endo- and exogenous processes [11]

представляют собой динамичные системы. Однако закономерности динамики ЭГС к настоящему времени изучены слабо. Анализ этого вопроса и посвящена настоящая статья.

Подразделение ЭГС на компоненты по динамике изменений позволяет учесть эволюцию эколого-геологической системы и ее компонентов в геологическом и физическом времени.

Рассмотренные выше компоненты ЭГС (см. рис. 1, 2) не постоянны во времени. Следовательно, и ЭГС в целом во времени также изменяется. Причем, если литотоп формируется и меняется в геологическом времени, то его современная природная или техногенная трансформация ощутимо заметна в физическом времени.

Динамика природных ЭГС в геологическом времени ▶

Массивы грунтов и соответствующие им литотопы образуются и в настоящее время (в голоцене). И образовывались в ходе геологических процессов в разные предшествующие геологические эры: в кайнозое, мезозое, протерозое, архее и катархее. Их можно назвать палеолитотопами, выступающими как компоненты палео-ЭГС.

Таким образом, литотопы имеют разный геологический возраст своего формирования, что, безусловно, отражается на особенностях их состояния, строения и свойств. Чем древнее геологический массив, выступающий в качестве литотопа ЭГС, тем он более изменен геологическими и постгенетическими

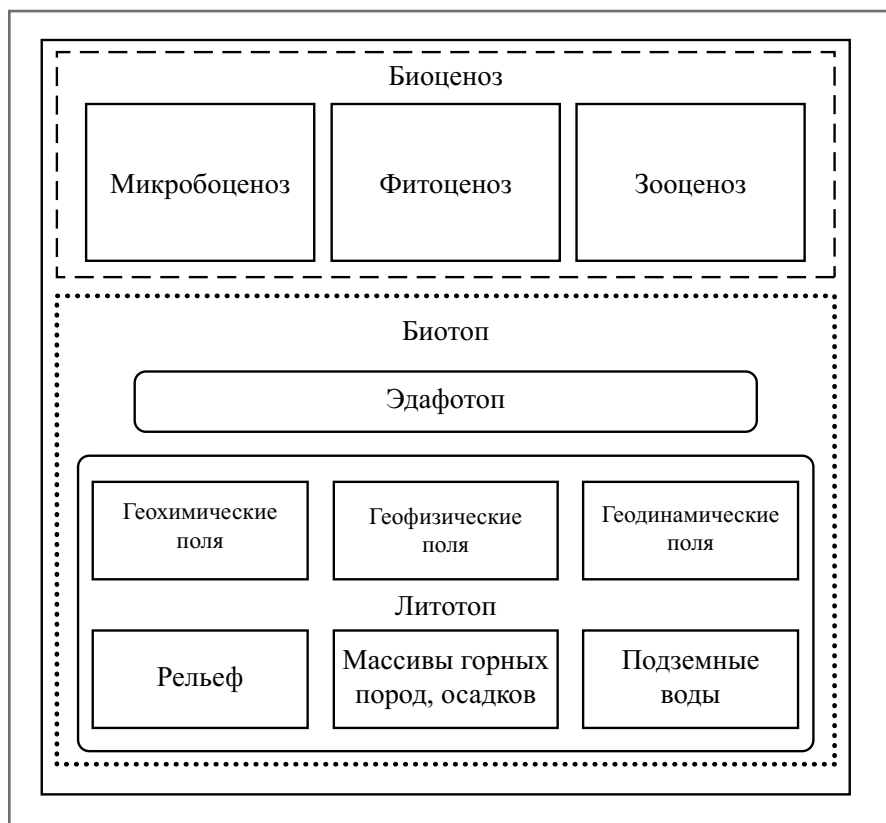


Рис. 2. Модель состава природной сухопутной (континентальной) эколого-геологической системы [3]

Fig. 2. A model of the composition of a natural land (continental) ecological-geological system [3]

процессами (метаморфизмом, метасоматозом, выветриванием и др.).

С другой стороны, целый ряд литотопов встречается лишь среди соответствующих им массивов грунтов нашего или новейшего времени — голоцена. К ним, например, относятся литотопы

массивов торфяных, лессовых (рис. 3), современных вулканогенных и вулканогенно-осадочных и пр. грунтов. К этой же категории относятся и литотопы массивов техногенных и прочих антропогенных грунтов, формирующиеся в эпоху техногенеза.

На протяжении всех этих временных эпох литотопы, точнее палеолитотопы, служили литогенной основой для формирующихся на них специфических палеоэкосистем, эволюционирующих в геологическом времени¹. Их анализ и реконструкция возможны, в частности, на основе принципа актуализма.

Динамика природных ЭГС в физическом времени ►

Особенности динамики природной ЭГС и ее компонентов в физическом времени (t) можно графически отразить в виде принципиальной схемы, показанной на рисунке 4. Из этой схемы следует, что литотоп — самый консервативный компонент ЭГС в смысле его динамики в физическом времени, но самый длительный по времени своего существования: массив грунтов имеет длительную геологическую историю своего развития от момента его возникновения (t_0) до настоящего времени. Через некоторое время (t_1) после возникновения литотопа он в первую очередь заселяется микроорганизмами и в пределах ЭГС формируется первичный микробоценоз. С появлением в ЭГС низших растений (t_2), представленных лишайниками и мхами, микробоценоз расширяется в пространстве и в отношении видового многообразия. В фитоценозе формируется начальная сукцессия, которая с появлением почв (t_4) переходит во вторую стадию, затем в третью, и так вплоть до стабилизации фитоценоза при достижении им климаксовой стадии с момента времени t_7 . К этой же стадии микробоценоз и эдафотоп также достигают своей стабилизации.

Из схемы (см. рис. 4) также следует, что на значительном промежутке времени ни один из компонентов ЭГС не остается постоянным. Даже самый консервативный компонент — литотоп — после своего образования не постоянен во времени, так как в результате различных процессов меняется его объем. Развитие в его пределах выветривания, иных экзогенных геологических процессов приводит к снижению ресурса и качества геологического пространства литотопа.

Таким образом, на начальных этапах своего формирования (в интервале времени t_0-t_4 , см. рис. 4) ЭГС является неполной (ряд компонентов отсутствует) и лишь с момента появления всех компонентов (t_4) она становится полной.



Рис. 3. Литотоп массива лессовых грунтов, затронутый современными эрозийными процессами (Израиль) (источник фото: www.wallpaperflare.com)

Fig. 3. A lithotope of a loess soil mass affected by modern erosion processes (Israel) (the photo source: www.wallpaperflare.com)

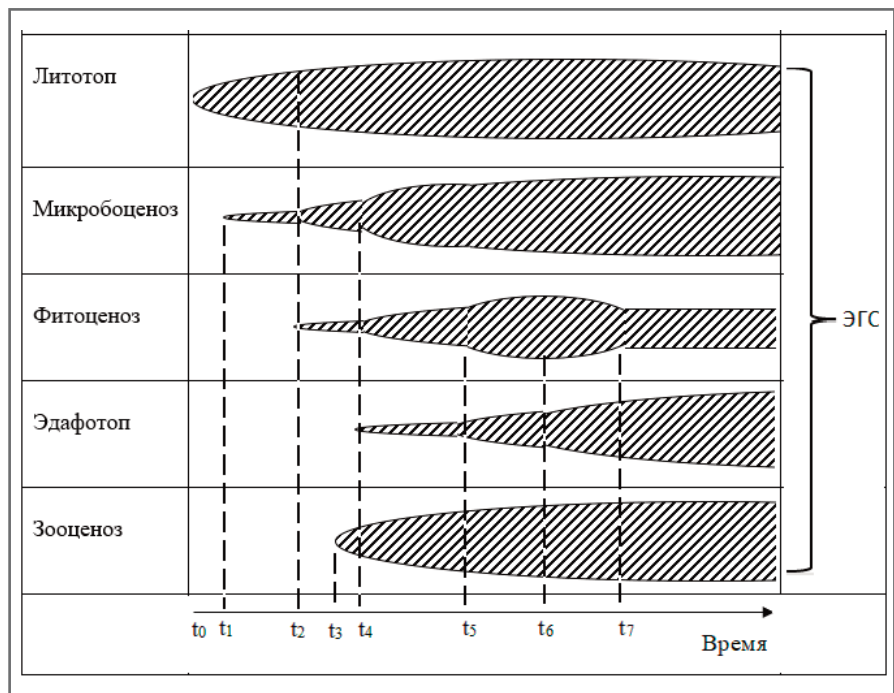


Рис. 4. Схема динамики эколого-геологической системы и ее компонентов в физическом времени

Fig. 4. A diagram of the dynamics of an ecological-geological system and its components in physical time

Полная ЭГС также не постоянна во времени: сменяющиеся стадии сукцессий, освоение организмами нового пространства литотопа, взаимодействие и конкуренция организмов — все эти факторы обуславливают сложную дина-

мику каждого из компонентов и ЭГС в целом как единой системы.

Данная схема (см. рис. 4) отражает лишь самые общие черты динамики ЭГС и ее компонентов. Понятно, что в конкретных эколого-геологических

¹ Закономерности формирования палеоэкосистем изучаются в палеоэкологии, а особенности формирования биогеоценозов в них изучаются в палео-синэкологии.

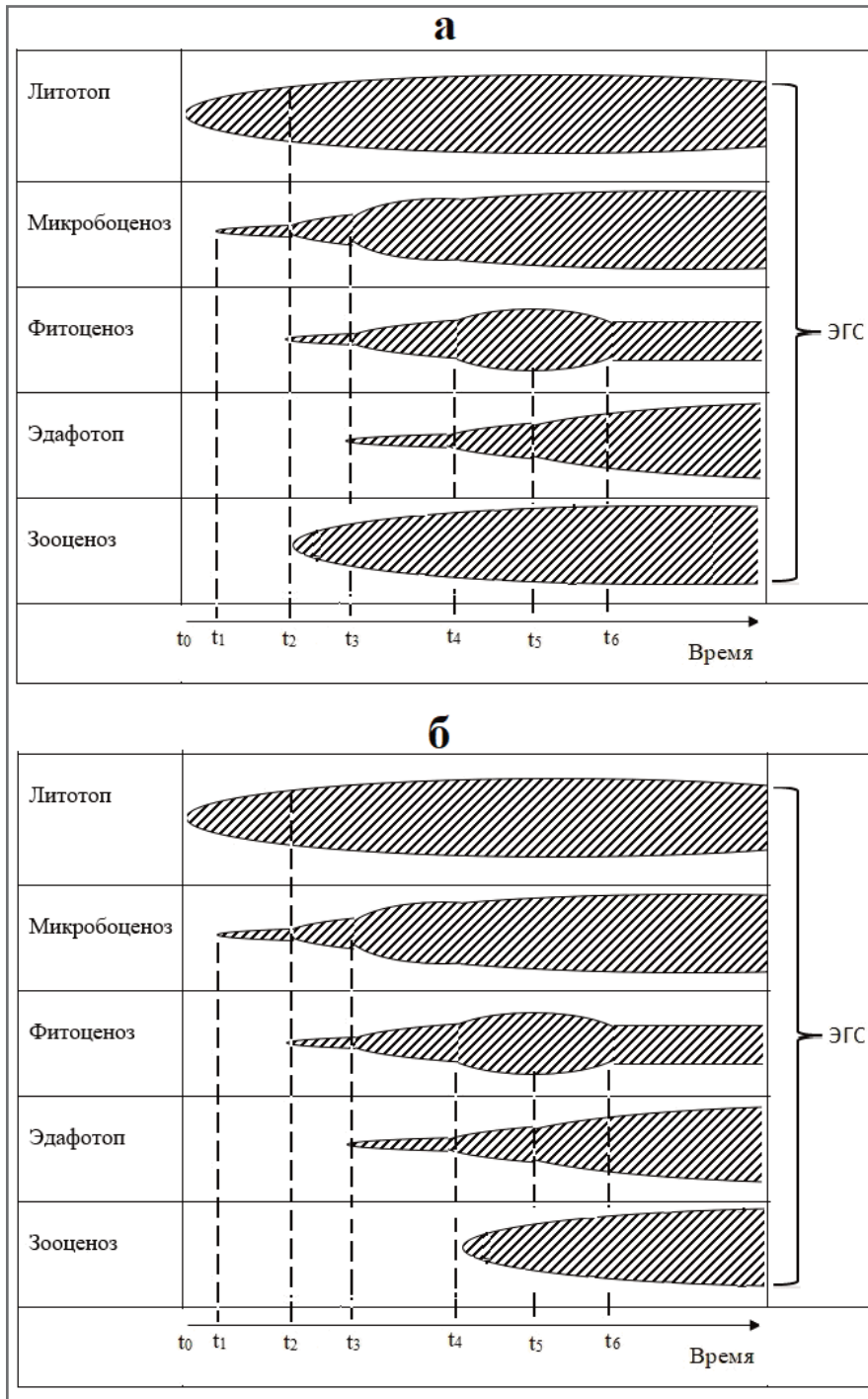


Рис. 5. Различные соотношения динамики зооценоза и других компонентов эколого-геологической системы во времени

Fig. 5. Different ratios of the dynamics of the zoocenosis and other components of an ecological-geological system in time

условиях, в разных климатических зонах, а также на литотопах массивов грунтов разного литолого-петрографического состава и возраста возможны различные отклонения в динамике отдельных компонентов ЭГС от предложенной схемы.

Например, фитоценоз может формироваться и раньше, чем эдафотоп (как показано на рисунке 5, а), и позже него. В первом случае в пределах литотопа появляются растения-петрофиты (на-

пример, лишайники-эпилиты), субстратом для которых является не почва, а непосредственно скальный грунт (рис. 6). Во втором случае в пределах литотопа появляются только такие растения, для которых субстратом является исключительно почва.

Начало формирования зооценоза (t_3 , см. рис. 5) также может совпадать с разными промежуткам времени: с учетом экологической пластичности животных эколого-геологическая система может

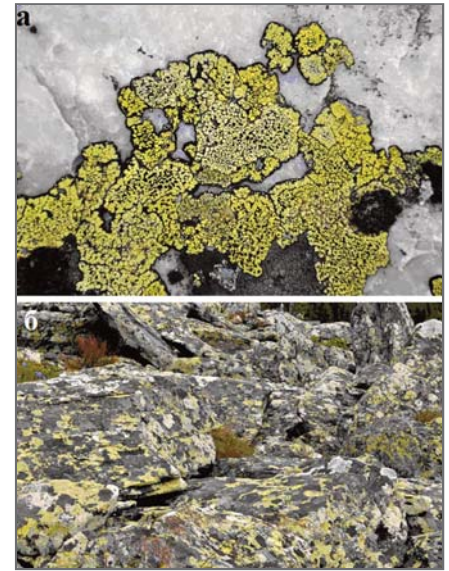


Рис. 6. Таллом эпилитного лишайника рода ризокарпон (*Rhizocarpon*) (а) на камнях курумника (б) на горе Большой Иремель (фото М. Скотниковой, 2019 г.)

Fig. 6. Thallome of the epilithic lichen of the *Rhizocarpon* genus (a) on large boulders (b) on the Bolshoy Iremel mount (the photo by M. Skotnikova, 2019)

заселяться животными одновременно и с микробоценозом (t_1), и с фитоценозом (t_2) (см. рис. 5, а), и с эдафотопом (t_3 , t_4) или позже их формирования (t_5 , t_6), как показано на рисунке 5, б.

Однако однозначно можно утверждать, что в пределах новообразованного литотопа (например, при вулканическом извержении и формировании литотопа магматических грунтов) в первую очередь формируется микробоценоз, а уже затем — следующие компоненты ЭГС.

Динамика техногенно-трансформированных ЭГС ▶

Картина еще более усложняется при анализе динамики ЭГС, испытывающей различные техногенные воздействия. Например, при техногенном загрязнении литотопа во всей ЭГС во времени происходят существенные изменения (рис. 7).

Исходный природный литотоп (I, см. рис. 7) загрязняется не мгновенно, а в течение определенного интервала времени $\Delta t=(t_2-t_1)$. За этот интервал загрязняющийся литотоп (II, см. рис. 7) трансформируется в загрязненный (III, см. рис. 7).

Загрязнение литотопа вызывает трансформацию всех компонентов ЭГС (см. рис. 7): природный эдафотоп, микробоценоз, фитоценоз и зооценоз на интервале Δt угнетаются, а затем трансформируются в новые соответствующие

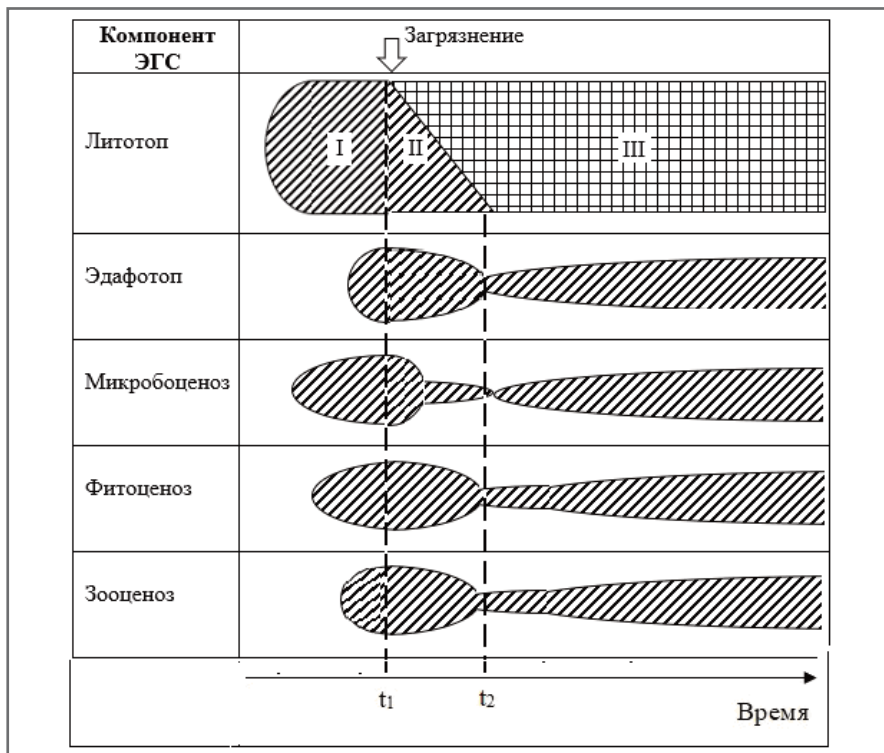


Рис. 7. Динамика компонентов эколого-геологической системы во времени при загрязнении литотопа

Fig. 7. Dynamics of the components of an ecological-geological system in time in the case of pollution of the lithotope

щие компоненты. При этом исходная ЭГС полностью не восстанавливается во времени. Меняется видовой состав микробо-, фито- и зооценоза, уменьшается их видовое разнообразие, снижается общая численность популяций организмов. Остаются лишь виды, самые

устойчивые к данному загрязнению, одновременно появляются и становятся доминирующими так называемые «сорные виды» растений, животных и пр. В этом и состоит специфика динамики компонентов ЭГС при техногенных воздействиях.

Аналогичные трансформации ЭГС будут происходить и при иных видах техногенных воздействий на литотоп – со стороны различных физических полей (механического (статического и динамического), гидродинамического, термического, радиационного и др.).

Техногенные воздействия разной природы помимо литотопа могут оказываться и на прочие компоненты ЭГС – эдафотоп, микробо-, фито- и зооценоз. Во всех этих случаях динамика изменения ЭГС будет отражать влияние того или иного техногенного воздействия на эти компоненты с учетом прямых и косвенных взаимосвязей между ними.

Заключение ►

Таким образом, можно заключить, что и современные, и палео-ЭГС представляют собой динамические образования, эволюционирующие и развивающиеся во времени.

1. Динамика эколого-геологических систем имеет сложный характер, отражающий их изменения и в геологическом, и в физическом времени.

2. Природный литотоп как компонент ЭГС представляет собой наиболее консервативный элемент, скорость изменений которого в физическом времени минимальна по сравнению с другими компонентами ЭГС.

3. Наиболее динамичные изменения в физическом времени характерны для ЭГС, подвергающихся техногенной трансформации. ■

Список литературы ►

1. Базовые понятия инженерной геологии и экологической геологии: 280 основных терминов / под ред. В.Т. Трофимова. М.: ОАО «Геомаркетинг», 2012. 320 с.
2. Королёв В.А. Систематика эколого-геологических систем // Материалы 6-й Международной научно-практической конференции «Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы», 15–18 сентября 2019 г. Том 1 / под ред. И.И. Косиновой. Воронеж: ВГУ, 2019. С. 38–43.
3. Королёв В.А. Экологическая геокибернетика: теория управления эколого-геологическими системами. М.: ООО «Сам Полиграфист», 2020. 440 с.
4. Королёв В.А., Григорьева И.Ю. Структура и особенности эколого-геологических систем массивов лессовых грунтов // Материалы Международной научно-практической конференции «XII Ломоносовские чтения», посвященной Дню таджикской науки и 30-летию установления дипломатических отношений между Республикой Таджикистан и Российской Федерацией, 29–30 апреля 2022 г. Часть I. Естественные науки. Душанбе, 2022. С. 263–268.
5. Королёв В.А., Трофимов В.Т. К построению общей классификации континентальных эколого-геологических систем // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2022. № 1. С. 54–61.
6. Роль эколого-геологических систем в составе инженерно-экологических изысканий / В. А. Королёв, В. Т. Трофимов, М. А. Харьковина и др. // Материалы Общероссийской научно-практической конференции «Инженерно-экологические изыскания – нормативно-правовая база, современные методы и оборудование». М.: Геомаркетинг, 2022. С. 17–23.
7. Теория и методология экологической геологии / под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во Московского университета, 1997. 368 с.
8. Трофимов В.Т. Эколого-геологическая система – объект эколого-геологических исследований // Материалы 5-й Международной научной конференции «Экологические проблемы недропользования. Наука и образование», 19–24 ноября 2012 г., Санкт-Петербург. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2012. С. 288–291.

9. Трофимов В.Т. Эколого-геологическая система // Российская геологическая энциклопедия. Том 3. СПб.: ВСЕГЕИ, 2012. С. 452–453.
10. Трофимов В.Т. Эколого-геологическая система и новая структура экосистемы // Геология, география и глобальная энергия. 2010. № 1 (36). С. 6–26.
11. Трофимов В.Т. Эколого-геологическая система, ее типы и положение в структуре экосистемы // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2009. № 2. С. 48–52.
12. Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г. Экологическая геология в программе «Университеты России» // Геоэкология. 1994. № 3. С. 117–120.
13. Трофимов В.Т., Королёв В.А. Эколого-геологические особенности массивов песчаных грунтов // Труды Международной научной конференции «Инженерно-геологическое и эколого-геологическое изучение песков и песчаных массивов», 27–28 сентября 2018 г., г. Москва, Россия / под ред. В.Т. Трофимова, В.А. Королева. М.: ООО «СамПринт», 2018. С. 233–244.

References ►

1. Bazovye ponyatiya inzhenernoy geologii i ekologicheskoy geologii: 280 osnovnykh terminov [Basic concepts of Engineering Geology and Ecological Geology: 280 basic terms] (pod red. V.T. Trofimova). M.: OAO «Geomarketing», 2012. 320 s. (in Russian).
2. Korolev V.A. Sistematika ekologo-geologicheskikh sistem [Systematics of ecological-geological systems]. Materialy 6-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Ekologicheskaya geologiya: teoriya, praktika i regional'nye problemy», 15–18 sentyabrya 2019 g. Tom 1 (pod red. I.I. Kosinovy). Voronezh: VGU, 2019. S. 38–43 (in Russian).
3. Korolev V.A. Ekologicheskaya geokibernetika: teoriya upravleniya ekologo-geologicheskimi sistemami [Ecological Cybernetics: a theory of the management of ecological-geological systems]. M.: ООО «Sam Poligrafist», 2020. 440 s. (in Russian).
4. Korolev V.A., Grigorieva I.Yu. Struktura i osobennosti ekologo-geologicheskikh sistem massivov lessovykh gruntov [Structure and features of ecological-geological systems of loess soil bodies]. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «XII Lomonosovskiy chteniya», posvyashchennoy Dnyu tadhikskoy nauki i 30-letiyu ustanovleniya diplomaticheskikh otnosheniy mezhdou Respublikoy Tadhikistan i Rossiyskoy Federatsiyey, 29–30 aprelya 2022 g. Chast' I. Estestvennyye nauki. Dushanbe, 2022. S. 263–268 (in Russian).
5. Korolev V.A., Trofimov V.T. K postroeniyu obshchej klassifikatsii kontinental'nykh ekologo-geologicheskikh sistem [On the construction of a general classification of continental ecological-geological systems]. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 4. Geologiya. 2022. 1: 54–61 (in Russian).
6. Rol' ekologo-geologicheskikh sistem v sostave inzhenerno-ekologicheskikh izyskaniy [The role of ecological-geological systems in the composition of engineering-ecological surveys] (V.A. Korolev, V.T. Trofimov, M.A. Har'kina i dr.). Materialy Obshcherossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Inzhenerno-ekologicheskoye izyskaniya – normativno-pravovaya baza, sovremennyye metody i oborudovaniye». M.: Geomarketing, 2022. S. 17–23 (in Russian).
7. Teoriya i metodologiya ekologicheskoy geologii [The theory and methodology of Ecological Geology] (pod red. V.T. Trofimova). M.: Izd-vo Moskovskogo universiteta, 1997. 368 s. (in Russian).
8. Trofimov V.T. Ekologo-geologicheskaya sistema – obyekt ekologo-geologicheskikh issledovaniy [Ecological-geological system is the object of ecological-geological research]. Materialy 5-y Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Ekologicheskoye izyskaniya nedropol'zovaniya. Nauka i obrazovaniye», 19–24 noyabrya 2012 g., Sankt-Peterburg. SPb.: Izd-vo SPbGU, 2012. S. 288–291 (in Russian).
9. Trofimov V.T. Ekologo-geologicheskaya sistema [Ecological-geological system]. Rossiyskaya geologicheskaya enciklopediya. Tom 3. SPb.: VSEGEI, 2012. S. 452–453 (in Russian).
10. Trofimov V.T. Ekologo-geologicheskaya sistema i novaya struktura ekosistemy [An ecological-geological system and the new ecosystem structure]. Geologiya, geografiya i global'naya energiya. 2010, 1 (36): 6–26 (in Russian).
11. Trofimov V.T. Ekologo-geologicheskaya sistema, ee tipy i polozheniye v strukture ekosistemy [An ecological-geological system, its types and position in the ecosystem structure]. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 4. Geologiya. 2009, 2: 48–52 (in Russian).
12. Trofimov V.T., Ziling D.G. Ekologicheskaya geologiya v programme «Universitety Rossii» [Ecological Geology in the program «Universities of Russia»]. Geoekologiya. 1994. № 3. S. 117–120 (in Russian).
13. Trofimov V.T., Korolev V.A. Ekologo-geologicheskoye osobennosti massivov peschanykh gruntov [Ecological-geological features of sand soil bodies]. Trudy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Inzhenerno-geologicheskoye i ekologo-geologicheskoye izuchenie peskov i peschanykh massivov», 27–28 sentyabrya 2018 g., g. Moskva, Rossiya (pod red. V.T. Trofimova, V.A. Koroleva). M.: ООО «SamPrint», 2018. S. 233–244 (in Russian).

Информация об авторе

КОРОЛЕВ ВЛАДИМИР АЛЕКСАНДРОВИЧ
Профессор кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, д. г.-м. н., г. Москва, Россия

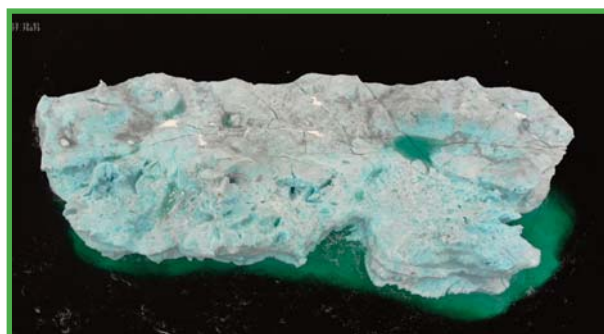
Information about the author

VLADIMIR A. KOROLEV
DSc (Geology and Mineralogy), professor at the Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia



Институт
экологического
проектирования
и изысканий

- Информационное сопровождение управления ледовой обстановкой (ИСУЛО)
- Оперативный спутниковый экологический мониторинг
- Производственный экологический мониторинг
- Программы сохранения биоразнообразия



119234, г. Москва,
Ленинские горы, д. 1, стр. 75Г
Телефон: +7 (495) 930-8751
E-mail: info@iepi.ru

WEB: WWW.IEPI.RU



(Автор фото: Василий Рожков, ГК «Петромоделинг»)

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ НА ВСЕХ ЭТАПАХ. СУПЕРВАЙЗИНГ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ЗАКАЗЧИКА

Оригинальная статья

Поступила в редакцию 01.11.2022. Принята к публикации 25.11.2022. Дата публикации 30.11.2022.

© Независимый электронный журнал «GeoИнфо», 2022

БЕРШОВ А.В.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
г. Москва, Россия,
alexey.berшов@petromodeling.com
Адрес: Ленинские горы, д. 1, г. Москва,
119991, Россия

ГК «Петромоделинг», г. Москва, Россия,
alexey.berшов@petromodeling.com
Адрес: Лужнецкая набережная,
д. 10Ас2, г. Москва, 119270, Россия

АННОТАЦИЯ

Многих заказчиков беспокоит качество результатов инженерных и в том числе инженерно-геологических изысканий, которые они получают. В ряде случаев в низком качестве работы и даже в фальсификации результатов исследований виноваты сами заказчики, устанавливающие нереальные сроки или выбирающие исполнителя по принципу наименьшей цены. Однако для тех, кто заинтересован в качестве и не хочет переплачивать на этапах строительства и эксплуатации, данная статья будет полезна. В ней описаны все основные моменты, на которые следует обращать внимание при контроле качества полевых и лабораторных исследований, а также даны рекомендации для разработчиков нормативных документов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

инженерные изыскания; инженерно-геологические изыскания; полевые исследования; инженерно-геологическая скважина; бурение; лабораторные испытания; контроль качества; супервайзинг.

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Бершов А.В. Контроль качества инженерных изысканий на всех этапах. Супервайзинг как эффективный инструмент заказчика // Геоинфо. 2022. № 11. С. 14–18, doi: 10.58339-2949-0677-2022-4-11-14-18

QUALITY CONTROL OF A SITE INVESTIGATION AT ALL THE STAGES. SUPERVISING AS A CUSTOMER'S EFFECTIVE TOOL

Original paper

Received 01.11.2022. Accepted 25.11.2022. Published 30.11.2022.

© Independent electronic journal "GeoInfo", 2022

ALEXEY V. BERSHOV

Lomonosov Moscow State University,
Moscow, Russia.
alexey.bershov@petromodeling.com
Address: 1 Leninskiye Gory, Moscow
119991, Russia

Petromodeling Group of Companies,
Moscow, Russia.
alexey.bershov@petromodeling.com
Address: 10As2 Luzhnetskaya
Naberezhnaya, Moscow, 119270, Russia

ABSTRACT

Many customers are concerned about the quality of the results of site investigation, including engineering-geological survey that they receive. In a number of cases, the customers themselves are to blame for the low quality and even falsification of survey results because they set unrealistic deadlines or choose a contractor on the principle of the lowest price. However, this paper will be useful for those who are interested in the quality and do not want to overpay at the construction and operation stages. It describes all the main points that should be paid attention to when controlling the quality of field and laboratory surveys, as well as it is given some recommendations for developers of normative and regulatory documents.

KEYWORDS:

site investigation; engineering-geological survey; field survey; engineering-geological borehole; drilling; laboratory tests; quality control; supervising.

FOR CITATION:

Bershov A.V. Kontrol' kachestva inzhenernyh izyskaniy na vseh etapah. Supervyazing kak effektivny instrument zakazchika [Quality control of a site investigation at all the stages. Supervising as a customer's effective tool]. *GeoInfo*. 2022, 11. P. 14–18, doi: 10.58339-2949-0677-2022-4-11-14-18 (in Russian).

Введение ►

В последние годы многие крупные заказчики стали более тщательно подходить к выбору организаций, выполняющих инженерные изыскания для проектирования объектов строительства, а также к контролю качества этих работ. Дело в том, что почти все они уже неоднократно сталкивались со следующей ситуацией: строители выходят на строительную площадку, а начать возводить объект не могут, поскольку неожиданно выясняется, что инженерно-геологические условия не соответствуют заложенным в проекте. В таких случаях не только частные, но и государственные компании-заказчики начинают считать переплаченные деньги, которые порой составляют миллиарды рублей. И это не учитывая сорванных сроков сдачи объектов.

Совершенно очевидно, что недооценка значимости инженерных изысканий, желание сэкономить на них и возвести объект в нереальные сроки приводит в том числе к невозможности достоверно определить стоимость инвестиционно-строительного проекта до завершения строительства [1]. Между

тем количество сфальсифицированных технических отчетов по инженерно-геологическим изысканиям, по данным СРО «АИИС», может достигать 80% от их общего количества [2].

Поскольку изыскательских организаций, репутация которых может гарантировать достоверность выданных проектировщикам результатов инженерно-геологических изысканий, на российском рынке не так уж много и все они весьма загружены работой, заказчикам чаще всего остается только два варианта: создавать собственные дочерние структуры, обеспечивающие внутренние потребности в инженерных изысканиях, либо привлекать супервайзеров для контроля выполнения изысканий. Первый вариант весьма сложен и требует поиска большого количества надежных квалифицированных специалистов, которые при этом, как правило, уже заняты. У второго варианта тоже есть свои «подводные камни»: ведь для контроля работы изыскателей нужно достаточно хорошо разбираться в рабочих процессах и четко понимать, на что необходимо обращать внимание, притом что соответствующих регламентов у нас в стране пока нет.

Возможно, эта статья поможет заказчикам разобраться в некоторых тонкостях контроля качества результатов бурения инженерно-геологических скважин и использования других методов полевых и лабораторных испытаний.

Контроль качества бурения ►

Организуя контроль бурения инженерно-геологических скважин, самое главное помнить, что проверять надо не скорость выполнения работ, а их качество. Эта вроде бы очевидная вещь часто упускается заказчиками из виду. Для проверки качества работ есть соответствующее оборудование. И необходимо лишь закрепить в задании на инженерные изыскания некоторые требования по его использованию (к сожалению, это пока не зафиксировано в нормативных документах).

Прежде всего, каждая буровая установка обязательно должна быть оборудована GPS-датчиком, чтобы можно было в любой момент подтвердить ее местоположение. Это позволит избежать появления якобы пробуренных скважин в непроходимых болотах или глухих лесах. Данное требование на се-

годняшний день тоже отсутствует в действующих нормативных документах, но его стоило бы туда внести.

Также целесообразно было бы выполнять видеосъемку всего процесса бурения, в том числе последнего подъема штанги. На видеозаписи должны быть четко видны координаты бурового станка, а также линейка для точного контроля глубины. Таким образом будет подтвержден факт бурения в нужном месте на необходимую глубину.

Однако инженерно-геологические скважины – это не просто отверстия в земле. Их бурение – это один из важных способов получения геологической информации. И большую роль здесь играет качество отобранных образцов грунта. Поэтому чрезвычайно важно прописать требование по фотографированию керна (в дальнейшем необходимо разработать соответствующий ГОСТ).

Конечно, у изыскателей не всегда есть возможность увезти образцы керна во временное полевое кернохранилище, которое даже не всегда организуется, особенно в процессе строительства линейных объектов. Однако абсолютно необходимым требованием должно быть наличие у всех имеющих дело с кернами одинаковых стандартных палеток, благодаря которым даже по фотографии можно было бы определить цвет и размер образца, глубину отбора. Наиболее простым решением в данном случае может стать дополнение существующего ГОСТа новым приложением по полемому описанию грунтов. Возможно, обязательного применения. Главное, чтобы прописанные в нем требования позволили добиться выполнения стандартной процедуры, позволяющей всем изыскателям получать одинаково правдивые результаты.

В процессе проходки инженерно-геологических скважин немаловажно контролировать и применение грунтоносков. Следует понимать, что использованию в расчетах нелинейных моделей поведения грунтов и работе со слабыми грунтами должны сопутствовать повышенные требования к качеству отбора образцов. Применение грунтоносков зачастую приводит к необходимости бурения специальных технических скважин рядом с разведочными, требует фотографирования прямо у скважины не только общего вида, но и торцов (с соответствующими этикетками) для каждого взятого образца грунта ненарушенного сложения.

Отдельно необходимо отметить необходимость использования капсульных

грунтоносков. Они просты в производстве и использовании, но требуют дополнительных затрат времени со стороны буровых бригад.

Конечно, недопустимо просто выбирать керн связного дисперсного грунта из колонковой трубы, если он не твердой или не полутвердой консистенции.

Следует также указать на необходимость разработки и начала производства отечественными инженерными компаниями замораживающих грунтоносков для отбора водонасыщенных песков и других слабых грунтов.

Наконец, завершая рассмотрение вопроса контроля качества бурения, необходимо указать на возможность применения так называемого бурового компьютера, активно внедряемого в последнее время группой компаний «Защиты буровых технологий». Это устройство дает возможность в автоматизированном режиме контролировать все основные показатели буровой установки – давление на забое, реальную глубину бурения, местоположение станка, расход жидкости и пр. Его использование наряду с видеофиксацией позволяет определить, какие выполнялись рейсы, как проводилась работа, не «подрывался» ли и не «перебивался» ли керн в процессе бурения. Собранный таким образом информация вместе с фотографиями керна позволит полноценно оценить качество работы инженеров-геологов в поле.

Дополнительно хотелось бы отметить, что если речь идет о гидрогеологических скважинах, то в процессе бурения очень важно контролировать остановки, которые необходимы для измерения уровней подземных вод.

Контроль выполнения полевых исследований грунтов в массивах ▶

Многие заказчики, обеспечивая контроль выполнения буровых работ, совершенно забывают о других полевых методах инженерно-геологических изысканий. Однако они не менее важны. Речь идет о полевых исследованиях грунтов в массивах:

- статическом и динамическом зондировании;
- штамповых, прессиометрических и дилатометрических испытаниях;
- опытно-фильтрационных работах;
- режимных наблюдениях за осадками, перемещениями, горизонтальными напряжениями, поровым давлением, системой уровней подземных вод, температурой и т. д.

Без результатов этих исследований невозможно калибровать инженерно-геологические модели, а также проверять результаты лабораторных испытаний грунтов.

Иными словами, изучение свойств грунтов и подземных вод в массиве является самым важным с точки зрения получения информации об инженерно-геологических условиях территории строительства.

Как и в случае контроля качества бурения, здесь требуются: установка GPS-датчиков на приборы, фото- и видеофиксация выполняемых работ. Причем на видеозаписях должно быть четко видно, на какой глубине установлено оборудование, в том числе в скважинах. На фотографиях должны быть зафиксированы показания датчиков приборов и время испытаний. В случае штамповых испытаний необходимо фиксировать ровность и хорошую зачищенность забоя, что несложно делать с помощью видеокамеры. В результате выполнения вышеперечисленного будут подтверждены не только факты проведения испытаний, но и соблюдение соответствующих нормативных требований.

Все эти моменты также могут фиксироваться автоматикой современных приборов, ведущих электронные записи экспериментов, результаты которых заверяются усиленной цифровой подписью. Более того, всей отрасли следует стремиться к переходу именно на такое оборудование. Этому может способствовать разработка соответствующих нормативных требований с определенным переходным периодом. Тем более что штампы, прессиометры, дилатометры, зонды статического зондирования уже давно выпускаются в автоматизированном виде хорошо известными производителями – НПП «Геотек», АО «Геотест», ПРУП «Геосервис» (Беларусь), ООО «НИЦа».

Контроль лабораторных испытаний грунтов ▶

Контроль лабораторных испытаний грунтов является третьей составляющей комплексного супервайзинга инженерно-геологических изысканий. Начинать его стоит с проверки наличия у лаборатории аттестата Федеральной службы по аккредитации (Росаккредитации). Получить этот документ достаточно сложно. Для этого требуется соответствие целому ряду обязательных требований, гарантирующих качество и точность проводимых работ, а также соответствие действующим ГОСТам. Кроме того, его

наличие потенциально требует от лаборатории передачи информации обо всех выполненных опытах в базу данных Росаккредитации, что позволяет реально контролировать объем выполняемых исследований и сроки их проведения.

Далее необходимо оценить производственные мощности лаборатории, которой будет поручено выполнение испытаний, – занятые площади, количество сотрудников по разным направлениям исследований и количество каждого вида приборов. Отталкиваясь от этого, можно перейти к оценке производительности, поскольку, несмотря на наличие большого количества приборов, все они могут быть заняты на полгода вперед параллельно идущими исследованиями для строительства других объектов.

На следующем этапе надо проверить качество хранящихся в лаборатории образцов. В специальном журнале должно быть зафиксировано, когда тот или иной образец был отобран и когда доставлен в лабораторию. Согласно ГОСТ 12071-2014 сроки хранения образцов не должны превышать 1–1,5 месяца в зависимости от типа грунта. При этом они должны храниться в специальном помещении, позволяющем обеспечивать определенную температуру и влажность (относительную влажность 70–80% и температуру плюс 2–10 °С). Важно отметить, что кернохранилищами, оборудованными по ГОСТ, владеют очень немногие грунтовые лаборатории. Однако, если кернохранилища нет, то и работы вести нельзя.

Также чрезвычайно важно, чтобы лаборатория была оснащена автоматизированными приборами, ведущими запись всех физико-механических испытаний и их результатов. При этом необходимо требовать, чтобы велась запись всех испытаний, выполняемых механическими приборами. Наряду с аттестатом Росаккредитации это защитит и сами лаборатории от недобросовестных заказчиков, которые могут «дорисовать» в отчете результаты не выполненных в действительности испытаний.

Отдельно следует обратить внимание на то, что характер деформируемости или консолидации в результате компрессионных или трехосных испытаний прямо показывает качество исследуемых об-

разцов. В том числе можно определить, что образец был отобран некачественно или был нарушен во время транспортировки и, следовательно, что результаты его испытаний не имеют смысла. Необходимость таких оценок уже внесена в нормативные документы, например в таблицу В.1 СП 23.13330.2018 (с изменением № 1), однако они требуют более широкой проработки и внесения в ГОСТ 30416-2020, СП 47.13330 и СП 446.13330.

Наконец, желательна личное присутствие в лаборатории супервайзера со стороны заказчика. Однако следует понимать, что такой специалист должен достаточно хорошо разбираться в проводимых работах и при этом оставаться сторонним наблюдателем, а не «хватать за руку» лаборанта каждые пять минут. Для этого, по всей видимости, необходимо разработать отдельный стандарт, который бы регулировал именно работу супервайзера в лаборатории.


Заключение ►

Многие ученые и практики неоднократно обращали внимание на то, что необходимо пересмотреть подходы к получению профильного образования инженерами-геологами и геотехниками. Пока же, к сожалению, уровень их образования падает, в строительных вузах сокращаются часы на освоение курсов инженерной геологии и инженерных изысканий, что совершенно недопустимо [3, 4]. Количество инженеров-геологов, выпускаемых именно геологическими вузами, всегда было невелико, а теперь классическое университетское инженерно-геологическое образование становится на деле все менее востребованным. Но все это приводит к тому, что низкое качество инженерно-геологических изысканий, неверные оценки и откровенные фальсификации стали практически нормой профессиональной деятельности в нашей стране.

В своем сравнительно недавнем интервью независимому электронному журналу «ГеоИнфо» генеральный директор ООО «Автодор-Инжиниринг» Константин Витальевич Могильный прямо заявил о том, что у многих подрядчиков его компании есть целый ряд одинаковых проблем – от низкой квали-

фикации персонала и склонности к «рутинной фальсификации» до дефицита лабораторий [5]. Но в текущих экономических и политических условиях такая ситуация совершенно недопустима.

Получить качественные результаты инженерно-геологических изысканий можно, а организация контроля выполнения этих работ является не очень сложной и не слишком ресурсоемкой задачей. Однако на сегодняшний день все проблемы упираются в то, что на практике существует массовый спрос на фальсифицированные изыскания, поскольку многим заказчикам как можно скорее нужно получить документы для прохождения экспертизы, а все остальное им кажется ненужным. Более того, и сами изыскатели не боятся подделывать результаты своей работы. Ведь при экспертизе проверяется только соответствие нормативным требованиям, а после ее прохождения вся дальнейшая ответственность ложится на главного инженера проекта.

С точки зрения автора, основным способом решить эту глобальную проблему является перевод работы всей отрасли на автоматизированные приборы, позволяющие фиксировать результаты всех работ и заверять их усиленными цифровыми подписями конкретных исполнителей. Конечно, необходимо разработать или доработать соответствующие нормативные документы начиная с ГОСТ 30416-2020, ГОСТ 30672-2019, ГОСТ Р 58325-2018, ГОСТ 20522-2022, но не ограничиваясь только этим, а предусмотрев определенный переходный период от ручных протоколов к цифровым записям исследований с усиленными электронными подписями. Но при этом автор понимает комплексность рассмотренной проблемы. Чтобы решить ее полностью, одно лишь «механическое» внедрение автоматизированных приборов может оказаться недостаточным. Тут необходимо изменить систему ценностей всей отрасли, чтобы в инженерных и в частности инженерно-геологических изысканиях ценились в первую очередь их достоверные и достаточные для конкретных целей строительства результаты, а не просто соответствие формальным требованиям при прохождении экспертизы. 

Список литературы ►

1. Крпоткин М.П., Фоменко И.К. Инженерно-геологические изыскания в России сегодня: проблемы нормативной технической документации, экспертизы и контроля качества // Инженерные изыскания. 2021. Том XV. № 5-6. С. 8–23. doi.org/10.25296/1997-8650-2021-15-5-6-8-23.
2. Кулыбин М. Изыскания: от выявления проблем – к их решению // Ктостроит.ру. 15.02.2018. URL: ktostroit.ru/news/279937/ (дата последнего обращения: 04.11.2022).

3. Захаров М.С., Лаврусевич А.А., Кропоткин М.П. Правильные люди должны делать правильное дело правильными методами // Инженерные изыскания. 2018. Том XII. № 5-6. С. 6–19. doi.org/10.25296/1997-8650-2018-12-5-6-6-19.
4. Бершов А.В. Алексей Бершов: инженерная геология – это наука катастроф // ГеоИнфо. 26.10.2020. URL: geoinfo.ru/product/bershov-aleksej-viktorovich/aleksej-bershov-inzhenernaya-geologiya-eh-to-nauka-katastrof-43367.shtml (дата последнего обращения: 04.11.2022).
5. Могильный К.В. Константин Могильный: необходимо полностью менять подходы к выполнению изысканий // ГеоИнфо. 2022. № 6. С. 6–8. URL: geoinfo.ru/product/mogilnyj-konstantin/konstantin-mogilnyj-neobhodimo-polnostyu-menyat-podhody-k-vypolneniyu-izyskanij-47202.shtml (дата последнего обращения: 04.11.2022).

References ▶

1. Kropotkin M.P., Fomenko I.K. Inzhenerno-geologicheskiye izyskaniya v Rossii segodnya: problemy normativnoy tehnikoskoy dokumentatsii, ekspertizy i kontrolya kachestva [Engineering-geological surveys in Russia today: problems of regulatory technical documentation, expertise and quality control]. Inzhenernye Izyskaniya. 2021. XV. 5-6: 8–23. doi.org/10.25296/1997-8650-2021-15-5-6-8-23 (in Russian).
2. Kulybin M. Izyskaniya: ot viyavleniya problem – k ih resheniyu [Site investigation: from identifying problems to solving them]. Ktostroit.ru. 15.02.2018. URL: ktostroit.ru/news/279937/ (the last accessed date: 04.11.2022) (in Russian).
3. Zaharov M.S., Lavrusевич A.A., Kropotkin M.P. Pravil'nye lyudi dolzhny delat' pravil'noye delo pravil'nymi metodami [The right people should do the right thing with the right methods]. Inzhenernye Izyskaniya. 2018. XII. 5-6: 6–19. doi.org/10.25296/1997-8650-2018-12-5-6-6-19 (in Russian).
4. Bershov A.V. Aleksey Bershov: inzhenernaya geologiya – eto nauka katastrof [Alexey Bershov: Engineering Geology is the science of catastrophes]. GeoInfo. 26.10.2020. URL: geoinfo.ru/product/bershov-aleksej-viktorovich/aleksej-bershov-inzhenernaya-geologiya-eh-to-nauka-katastrof-43367.shtml (the last accessed date: 04.11.2022) (in Russian).
5. Mogil'nyy K.V. Konstantin Mogil'nyy: neobhodimo polnost'yu menyat' podhody k vypolneniyu izyskanij [Konstantin Mogilny: it is necessary to change the approaches to performing site investigation completely]. GeoInfo. 2022. 6: 6–8. URL: geoinfo.ru/product/mogilnyj-konstantin/konstantin-mogilnyj-neobhodimo-polnostyu-menyat-podhody-k-vypolneniyu-izyskanij-47202.shtml (the last accessed date: 04.11.2022) (in Russian).

Информация об авторе

БЕРШОВ АЛЕКСЕЙ ВИКТОРОВИЧ

Генеральный директор ГК «Петромоделинг», ассистент кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

Information about the author

ALEXEY V. BERSHOV

General director of Petromodeling Group of Companies; assistant of the Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Телеграм-канал журнала

Независимый электронный журнал
ГеоИнфо

- Новости
- Статьи
- Обсуждения

ООО НПП «ГЕОТЕК» - ВЕДУЩИЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬ ЛАБОРАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИСПЕРСНЫХ, МЕРЗЛЫХ, КРУПНООБЛОМОЧНЫХ И СКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ.

ПРИБОРЫ КРИОЛОГИЧЕСКИЕ СЕРИИ СТАНДАРТ

ХИТ продаж

Прибор компрессионный криологический ГТ 1.1.11



Прибор срезной криологический ГТ 1.2.14



Прибор шариковый штамп криологический ГТ 1.6.2



Температура окружающей среды **+5 (±2) С°**
 Прибор разработан для эксплуатации в холодильной камере (камера не входит в состав прибора)

ВОЗМОЖНОСТИ:

- автоматизированный режим испытания с поддержанием заданной отрицательной температуры каждого образца;
- прибор работает при пониженных температурах;
- автоматическое управление температурой образца;
- испытание до трех образцов в одном приборе;
- измерение температуры каждого образца.

ПРИБОРЫ ОБЕСПЕЧИВАЮТ ПРОВЕДЕНИЕ СЛЕДУЮЩИХ ИСПЫТАНИЙ:

- **Прибор компрессионный криологический ГТ.1.1.11**
-испытание по ГОСТ 12248.10-2020 на сжатие и сжатие с оттаиванием;
- **Прибор срезной криологический ГТ 1.2.14**
-испытания по ГОСТ 12248.8-2020 на срез по поверхности смерзания;
-испытания по ГОСТ Р56726-2015 по определению касательных сил морозного пучения;
- **Прибор шариковый штамп криологический ГТ 1.6.2**
-испытания по ГОСТ 12248.7-2020 шариковым штампом.

ПОЧЕМУ ВЫБИРАЮТ НАС



Высокое качество



Выгодная цена



Надежный сервис



Экономия бюджета испытаний

440004, Россия, г. Пенза, ул. Центральная, строение 1М,
 +7(8412) 999-189, 8-800-200-16-05 (звонок по России бесплатный),
 sales@npp-geotek.ru, npp-geotek.com

* На правах рекламы



СПЕЦИФИКА КОНСТРУКЦИЙ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В УСЛОВИЯХ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

**ТАТЬЯНА МИХАЙЛОВНА
ГОРБАЧЕВА**

Руководитель направления
«Инженерная защита от камнепадов,
лавин и селей» на 19-х чтениях,
посвященных памяти профессора
Г.М. Шахунянца

Когда обсуждается инженерная защита в горной местности, а также на любых других участках, где существует опасность гравитационных процессов, ключевым моментом при проектировании защитных сооружений является выбор мест их установки. Именно местоположение (и, соответственно, принцип действия) является определяющим фактором при выборе материалов, из которых будет изготовлена защитная конструкция.

В зонах зарождения и отрыва наблюдаются статические нагрузки. Главная задача защитных систем, расположенных здесь, – длительное удержание потенциально опасных масс – грунта, снега и частей скального массива. В остальных зонах на защитные сооружения воздействуют динамические нагрузки. Основная их задача в данном случае – гасить энергию движущихся масс и даже останавливать их.

В статье рассказано о подборе систем инженерной защиты для разных условий использования и описаны некоторые проблемы проектирования таких систем. Материал подготовлен на основе доклада, который был сделан 8 ноября в РУТ (МИИТ) на XIX чтениях, посвященных памяти профессора Г.М. Шахунянца.

SPECIFICS OF ENGINEERING PROTECTION STRUCTURES USED UNDER STATIC AND DYNAMIC LOADS

TATYANA MIKHAILOVNA GORBACHEVA

Head of the domain "Engineering protection against rockfalls, avalanches and mudflows" at the 19th Readings Dedicated to the Memory of Professor G.M. Shakhunyan

When discussing engineering protection of territories in mountainous areas as well as in any other areas where there is a danger of gravitational processes, the key point in the design of protection structures is the choice of installation sites of them. It is the location (and, accordingly, the principle of operation) of them that is the determining factor in the choice of materials of which a protection structure will be made.

In the zones of the origin of dangerous gravitational processes and breakaway of masses, static loads are observed. The main task of the protection systems located there is the long-term retention of potentially dangerous masses of soil, snow or parts of rock massives. In other zones, the protection structures are affected by dynamic loads. In this case, the main task is to extinguish the energy of moving masses and even to stop them.

This article is dedicated to the selection of engineering protection systems for various conditions of usage and describes some problems of designing such systems. This paper was prepared on the basis of the corresponding report made at the 19th Readings Dedicated to the Memory of Professor G.M. Shakhunyan at the Russian University of Transport on the 8th of November.

В компании Маккаферри существует отдел, работа сотрудников которого связана с защитой от опасных геологических процессов. И они неоднократно отмечали, анализируя рынок, что свойства многих систем защиты сводятся проектировщиками к отдельным характеристикам конкретных материалов, тогда как единственным верным вариантом оценки эффективности и работоспособности таких

систем является комплексный анализ не только свойств составных компонентов (сетки, анкеров, стоек и пр.), но и их совместной работы.

Очевидно, что проблема обрушения скальных массивов наиболее актуальна в местах расположения различной инфраструктуры, в том числе транспортной, а также в населенных пунктах. То есть там, где опасное геологическое событие может нанести реальный ущерб сооруже-

ниям, имуществу людей или угрожать их жизни и здоровью. Как отмечено в отчете о глобальной оценке снижения риска бедствий (GAR) за 2019 год, люди и имущество во всем мире все чаще подвергаются различным опасностям и рискам в тех местах, где они ранее не отмечались или были значительно слабее. Именно поэтому ошибки проектировщиков инженерной защиты имеют катастрофические, необратимые последствия.

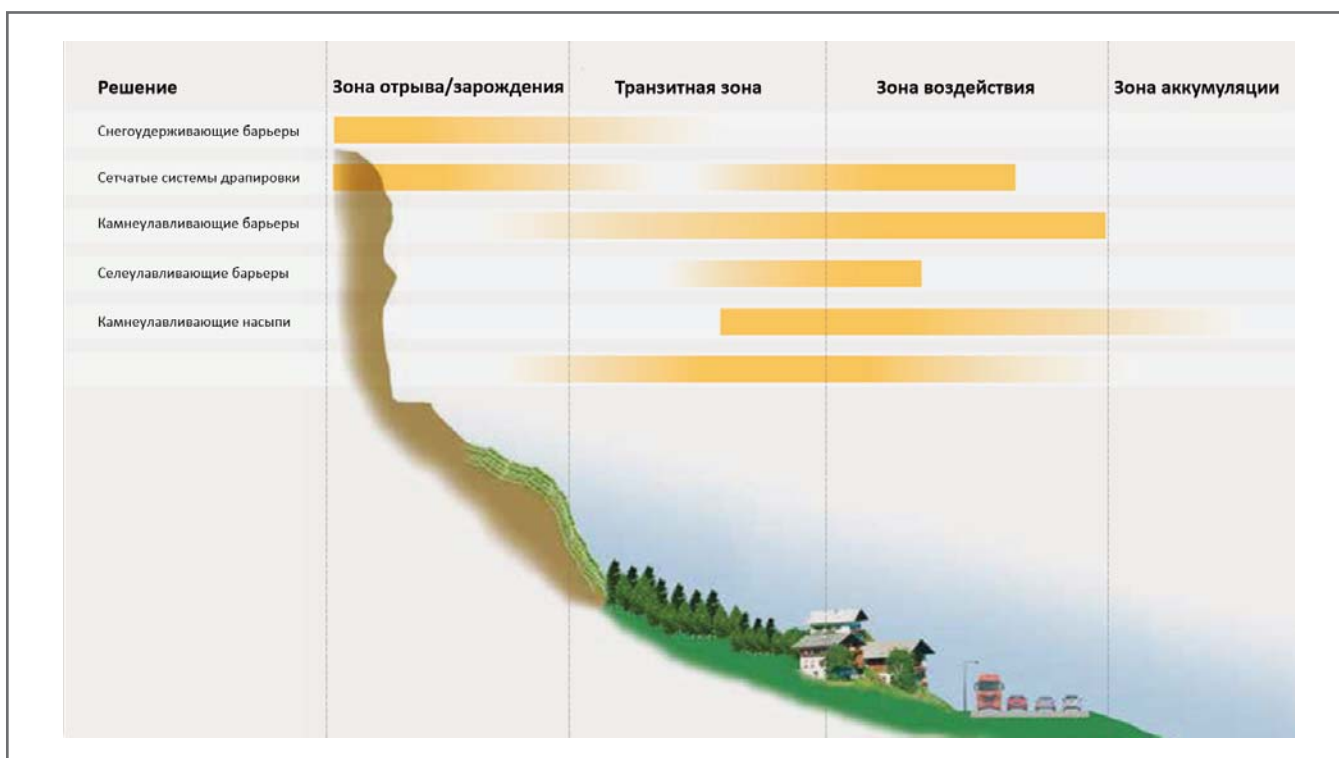


Рис. 1. Влияние местоположения защитных систем на их тип

Когда обсуждается инженерная защита в горной местности, а также на любых других участках, где существует опасность гравитационных процессов, ключевым моментом при проектировании защитных сооружений является выбор мест их установки. Именно местоположение (и, соответственно, принцип действия) является определяющим фактором при выборе материалов, из которых будет изготовлена защитная конструкция.

Большинством производителей предлагаются следующие варианты инженерной защиты от гравитационных процессов: снегоудерживающие барьеры, сетчатые системы драпировки, камнеулавливающие барьеры, селеулавливающие барьеры, камнеулавливающие насыпи. Они, соответственно, могут быть размещены в зоне отрыва/зарождения, в транзитной зоне, в зоне воздействия или в зоне аккумуляции. Инженерная защита в каждой зоне имеет свою специфику.

При выборе защитных систем для каждой из вышеперечисленных зон, следует учитывать, что все нагрузки делятся всего на два типа – статические (постоянное давление) и динамические (ударное воздействие).

В зонах зарождения и отрыва наблюдаются статические нагрузки. Главная задача защитных систем, расположенных здесь, – длительное удержание потенциально опасных масс – грунта, снега и частей скального массива. В осталь-



Рис. 2. Тест на продавливание

ных зонах на защитные сооружения воздействуют динамические нагрузки. Основная их задача в данном случае – гасить энергию движущихся масс и даже останавливать их.

Какими свойствами должны обладать материалы защитных систем в зоне отрыва (статические нагрузки) ▶

Для испытаний материалов и готовых защитных систем в условиях воздействия статических нагрузок в Европе применяется так называемый Тест на продавливание (Punching Test), который выполняется как в лабораторных, так и в приближенных к естественным условиях. За многие годы

испытаний различных сетчатых материалов специалисты Маккаферри пришли к выводу, что материал обязательно должен быть жестким. То есть конструкция должна быть способна успешно сопротивляться деформациям. В случае испытания сетки оценивается величина ее удлинения (отклонения) от первоначального положения. На это влияют свойства самого материала, шаг установки анкеров и некоторые другие параметры.

В ходе полномасштабных (3x3 м) испытаний, которые были выполнены Институтом технологии строительства (CNR), удалось оценить жесткость/зависимость нагрузки от растяжения сетчатого материала. В испытании участво-

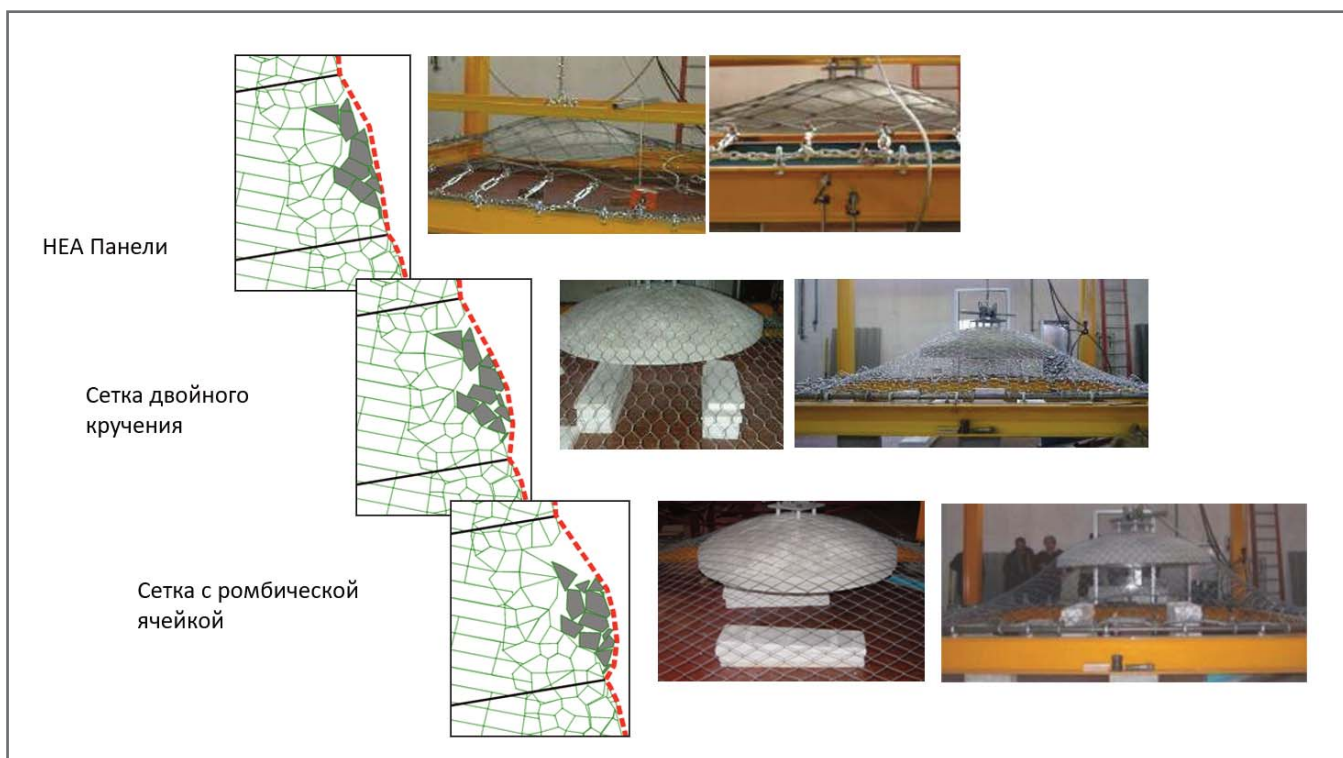


Рис. 3. Тестирование сеток и оценка их жесткости

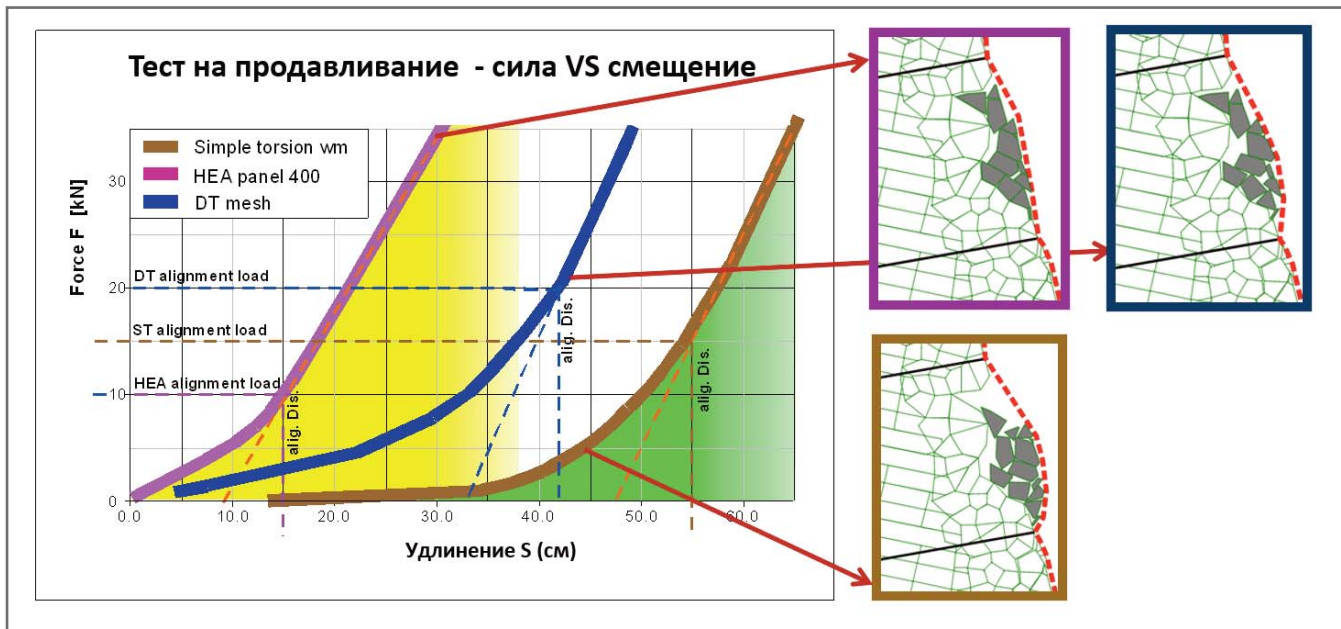


Рис. 4. Некоторые результаты Теста на продавливание

вали: (1) сеть из тросов с проволочным узлом (HEA Панели), (2) сетка двойного кручения и (3) сетка с ромбической ячейкой.


По результатам сетка с ромбической ячейкой показала наибольшее удлинение; сетка двойного кручения заняла второе место, а лучший результат показала тросовая HEA Панель. Данные результаты обязательно должны учитываться при проектировании защитных систем, поскольку чем больше сетка подвержена растяжению, тем больший карман для накопления обломочного материала создается, тем самым приводя к возникновению еще большей нагрузки. Следствием этого часто является потеря системой стабильности и ее последующее разрушение.

На основе проведенных испытаний были разработаны некоторые защитные системы и материалы компании, в частности, драпировка Стилгрид на основе сетки двойного кручения с вплетенными тросами, тросовые HEA панели для укрепления сильно трещиноватых скальных откосов и для нагельных полей. И эта же тросовая сеть стала использоваться в конструкциях снегоудерживающих барьеров в качестве удерживающей панели.

Заключение ►

В заключение необходимо остановиться на двух моментах. Прежде всего, описанные выше материалы нельзя применять в системах, рассчитанных для динамических нагрузок, таких как кам-

неулавливающие, селеулавливающих барьеры. Для них наилучшим решением является применение кольчужных сеток.

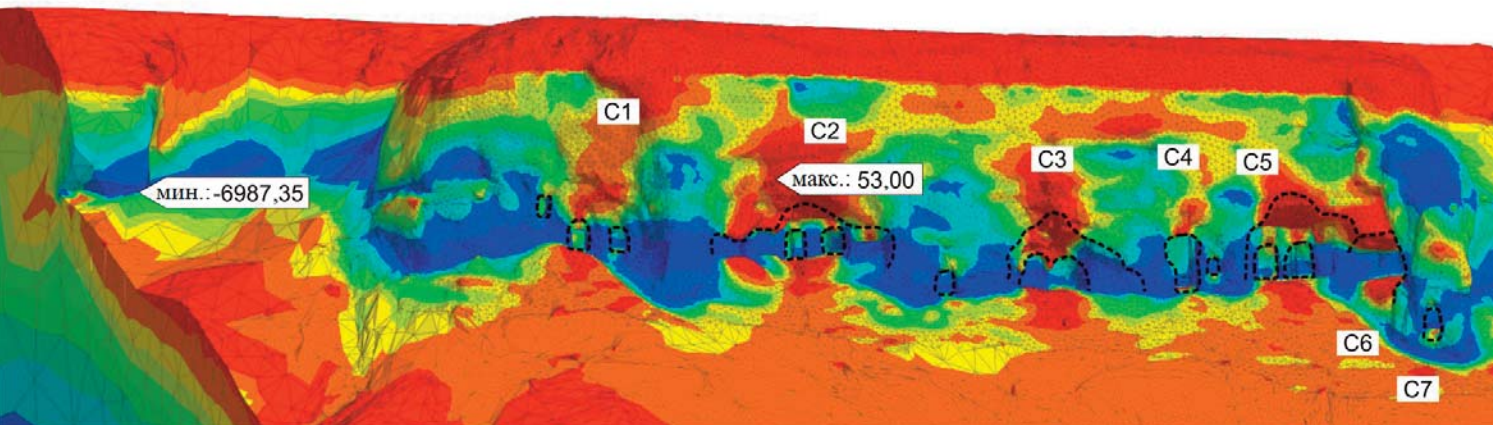
Во-вторых, расчеты системы инженерной защиты не следует проводить в ручном режиме из-за большой вероятности ошибок и неучета важных факторов. Компанией Маккаферри для расчета статических драпировок почти 20 лет используется программный комплекс MacRO собственной разработки, а для динамических – Rocfall от компании Rocscience. Кроме того, недавно для проектирования нагельных полей специалисты Маккаферри совместно с Миланским политехническим университетом разработали новое программное средство – Mac S-design. 

Telegram-канал журнала

Независимый электронный журнал

ГеоИнфо

- Новости
- Статьи
- Обсуждения



ТРЕХМЕРНЫЙ КОНЕЧНОЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ПЕЩЕРНОГО МОНАСТЫРЯ САБЕРЕЕБИ (ГРУЗИЯ). ЧАСТЬ 2

ДОМЕЙ ГИЗЕЛА

Факультет наук о Земле и окружающей среде Миланского университета Бикокка (г. Милан, Италия); факультет гидрогеологии и инженерной геологии, факультет химии и наук о Земле Вильнюсского университета (г. Вильнюс, Литва)
gisela.domej@unimib.it; g.domej@gmail.com

ПРЕВИТАЛИ МАРКО

Факультет естественных наук и инженерии Университета Данди, г. Данди, Великобритания

КАСТЕЛЛАНСА РИККАРДО

Факультет наук о Земле и окружающей среде Миланского университета Бикокка, г. Милан, Италия

СПИЦЦИКИНО ДАНИЭЛЕ

Итальянский институт охраны и исследований окружающей среды Геологической службы Италии, г. Рим, Италия

КРОСТА ДЖОВАННИ

Факультет наук о Земле и окружающей среде Миланского университета Бикокка, г. Милан, Италия

ВИЛЛА АЛЬБЕРТО

Факультет наук о Земле и окружающей среде Миланского университета Бикокка, г. Милан, Италия

ФУЗИ НИКОЛЕТТА

Факультет наук о Земле и окружающей среде Миланского университета Бикокка, г. Милан, Италия

ЭЛАШВИЛИ МИХАИЛ

Факультет естественных наук и инженерии Государственного университета Ильи, г. Тбилиси, Грузия

МАРГОТИНИ КЛАУДИО

Кафедра ЮНЕСКО по предотвращению и устойчивому управлению гидрогеологическими рисками Флорентийского университета, г. Флоренция, Италия

Продолжаем знакомить наших читателей с использованием программной продукции южнокорейской компании MIDAS IT, основанной в 2000 году в Сеуле. Программы, разработанные в этой компании, используются в 136 странах мира для моделирования, комплексного проектирования и анализа в области транспортного, геотехнического, промышленного и гражданского строительства и обеспечивают безопасность, эффективность и конкурентоспособность инженерных проектов. В том числе с помощью продуктов MIDAS IT был спроектирован знаменитый небоскреб Бурдж Халифа в Дубае (ОАЭ) и прекрасный трехкилометровый вантовый Русский мост в российском Владивостоке. В 2013 году было открыто российское представительство этой компании – ООО «МИДАС». На территории РФ сейчас представлено три конечноэлементных расчетных комплекса MIDAS IT, адаптированных для соответствия требованиям российских нормативных документов, – midas GTS NX, midas Civil и midas FEA NX. Программа midas GTS NX предназначена для геотехнических расчетов, моделирования и анализа поведения грунтов и их взаимодействий с инженерными конструкциями.

Сегодня представляем вниманию читателей вторую часть немного сокращенного адаптированного перевода статьи «Трёхмерный конечноэлементный анализ устойчивости пещерного монастыря Саберееби (Грузия) с высоким разрешением», которая была опубликована в 2022 году на английском языке в журнале Rock Mechanics and Rock Engineering («Механика горных пород и горное строительство»), выпускаемом международной издательской компанией Springer («Шпрингер»). Авторами указанной статьи являются ученые из Италии, Великобритании и Грузии – Гизела Домей, Марко Превитали, Риккардо Кастелланса, Даниэле Спиццикино, Джованни Кроста, Альберто Вилла, Nicoletta Фузи, Михаил Элашвили и Клаудио Марготтини.

В данной работе оценивается статическая устойчивость искусственного пещерного монастыря Саберееби к юго-востоку от столицы Грузии Тбилиси. Обрыв (очень крутой склон), в котором были выкопаны эти пещеры с грузинскими православными часовнями, церквями и кельями, сложен

пятью слоями слабых осадочных пород, каждый из которых обладает значительным потенциалом разрушения, поэтому перед геологами, инженерами и археологами стоит задача сохранения его устойчивости.

В первой части переведенной статьи, опубликованной недавно в «Геоинфо», рассматривалась стратегия обработки таких данных, как облака точек, полученных с помощью фотограмметрии с дронов, а также данных, полученных в пещерах и за их пределами с применением лазерных сканеров, с превращением их в объекты САПР с высоким разрешением, которые можно использовать для численного моделирования методом конечных элементов в диапазоне от макро- до микромасштабов.

Во второй части рассматриваются четыре серии статических упругопластических конечноэлементных моделей для оценки устойчивости с различными уровнями детализации, каждая из которых фокусируется на определенных геомеханических сценариях, таких как классический оползень из-за чрезмерной нагрузки от вышележащих грунтов, деформация архитектурных элементов из-за концентрации напряжений, реакция материала на выветривание и разрушение опор из-за вертикальной нагрузки. (Отметим, что нумерация рисунков и таблиц продолжит начатую в первой части перевода и она не всегда совпадает с нумерацией в первоисточнике.)

При таком двустороннем подходе исследование, с одной стороны, дает комплексную трехмерную оценку устойчивости пещерного монастыря Саберееби, а с другой стороны, использованная процедура может послужить пилотной схемой, которую в будущем можно будет адаптировать к изучению различных объектов, сочетая неинвазивные и относительно экономичные методы обработки данных, анализа и оценки опасностей и рисков.

HIGH-RESOLUTION 3D FEM STABILITY ANALYSIS OF THE SABEREEBI CAVE MONASTERY, GEORGIA. PART 2

DOMEJ GISELA

Department of Earth and Environmental Sciences, University of Milano-Bicocca, Piazza della Scienza 1/U4, 20126 Milan, Italy; Department of Hydrogeology and Engineering Geology, Faculty of Chemistry and Geosciences, Vilnius University, M. K. Ciurlionio Street 21/27, 03101 Vilnius, Lithuania
gisela.domej@unimib.it; g.domej@gmail.com

PREVITALI MARCO

School of Science and Engineering, University of Dundee, Small's Lane-Fulton Building, Dundee DD1 4HR, UK

CASTELLANZA RICCARDO

Department of Earth and Environmental Sciences, University of Milano-Bicocca, Piazza della Scienza 1/U4, 20126 Milan, Italy

SPIZZICHINO DANIELE

Department of Geological Survey of Italy, Italian Institute for Environmental Protection and Research, Via Vitaliano Brancati 48, 00144 Rome, Italy

CROSTA GIOVANNI

Department of Earth and Environmental Sciences, University of Milano-Bicocca, Piazza della Scienza 1/U4, 20126 Milan, Italy

VILLA ALBERTO

Department of Earth and Environmental Sciences, University of Milano-Bicocca, Piazza della Scienza 1/U4, 20126 Milan, Italy

FUSI NICOLETTA

Department of Earth and Environmental Sciences, University of Milano-Bicocca, Piazza della Scienza 1/U4, 20126 Milan, Italy

ELASHVILI MIKHEIL

School of Natural Sciences and Engineering, Ilia State University, Kakutsa Cholokashvili Avenue 3/5, 0162 Tbilisi, Georgia

MARGOTTINI CLAUDIO

UNESCO Chair on Prevention and Sustainable Management of Geo-Hydrological Hazards, University of Florence, Largo Fermi 1, 50142 Florence, Italy

We are continuing to familiarize our readers with the use of software products of the South Korean company MIDAS IT founded in 2000 in Seoul. The programs developed in this company are used in 136 countries of the world for modeling, integrated design and analysis in the field of transport, geotechnical, industrial and civil construction. They ensure the safety, efficiency and competitiveness of engineering projects. Among other things, the famous Burj Khalifa skyscraper in Dubai (UAE) and the beautiful three-kilometer cable-stayed Russian Bridge in Russian Vladivostok were designed with the help of MIDAS IT products. In 2013, the Russian representative office of this company was opened (LLC "MIDAS"). Three MIDAS IT finite element software products adapted to meet the requirements of the Russian regulatory documents are currently presented in the territory of the Russian Federation. They are midas GTS NX, midas Civil, and midas FEA NX. The midas GTS NX program is designed for geotechnical calculations, modeling and analysis of the behavior of soils and their interactions with engineering structures.

Today, we present to the readers the second part of a slightly reduced and adapted translation of the article "High-Resolution 3D FEM Stability Analysis of the Sabereebi Cave Monastery, Georgia" published in 2022 in English in the journal "Rock Mechanics and Rock Engineering" by the international publishing company "Springer". The authors of this article are scientists from Italy, Great Britain and Georgia – Gisela Domei, Marco Previtali, Riccardo Castellanza, Daniele Spizzichino, Giovanni Crosta, Alberto Villa, Nicoletta Fusi, Mikheil Elashvili and Claudio Margottini.

This study assesses the static stability of the artificial Sabereebi Cave Monastery southeast of Georgia's capital, Tbilisi. The cliff into which these Georgian-Orthodox caverns, chapels, and churches were carved consists of a five-layered sequence of weak sedimentary rock, all of which bear a considerable failure potential and, consequently, pose the challenge of preservation to geologists, engineers, and archaeologists.

The first part of the paper, which was recently translated and published in the "GeoInfo" journal, presented a strategy to

process point cloud data from drone photogrammetry as well as from laser scanners acquired in- and outside the caves into high-resolution CAD objects that can be used for numerical modeling ranging from macro- to microscale.

The second part considers four distinct series of static elastoplastic finite element stability models featuring different levels of detail, each of which focuses on specific geomechanical scenarios such as classic landsliding due to overburden, deformation of architectural features as a result of stress concentration, material response to weathering, and pillar failure due to vertical load. (Note that the numbering of figures and tables will continue one that was started in the first part of the translation and it does not always coincide with the numbering in the original source.)

With this bipartite approach, the study serves as a comprehensive 3D stability assessment of the Sabereebi Cave Monastery on the one hand; on the other hand, the established procedure should serve as a pilot scheme, which could be adapted to different sites in the future combining non-invasive and relatively cost-efficient assessment methods, data processing and hazard estimation.

СЕРИИ ПОЛУЧЕННЫХ МОДЕЛЕЙ: РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ ►

Модели на основе теории Мора – Кулона (МК) ►

Модели на основе теории Мора – Кулона (МК) базировались на чисто упругопластическом поведении материала и охватывали весь обрыв вместе с семью отдельными пещерами и связанными с ними небольшими полостями с целью визуализации крупномасштабных и мелкомасштабных деформаций грунта снаружи и внутри пещер. Но все же эти модели фокусировались на крупномасштабном деформировании и выявлении условий развития классического оползня. На рисунке 14, а показан весь обрыв после оседания под действием силы тяжести. Картина эквивалентных пластических деформаций показывает, что деформации в основном ограничены зонами под выпуклой частью рельефа над обрывом, вмещающей пещеры и, следовательно, являются результатом чрезмерной нагрузки от вышележащего грунта. Кроме того, тенденция к подповерхностному деформированию характеризуется несколько более высокой эквивалентной пластической деформацией.

Этот общий механизм развития оползня становится более очевидным после автоматизированного снижения прочности примерно на 33% применительно к удельному сцеплению и углу внутреннего трения, что имитирует равномерное развитие нарушений в вовлеченном в этот процесс материале (рис. 14, б). (На растягивающее напряжение это не влияет, поскольку для геоматериалов оно часто игнорируется; MIDAS, 2021.) Картина эквивалентных пластических деформаций в этом случае показывает, что деформации имеют более высокие абсолютные значения и демонстрируют механизм развития подповерхностного оползня с небольшой вращательной составляющей, начинающегося на переходе «алевролит – глина» и осо-

бенно выраженного под входами в пещеры 2, 3 и 4, а также в зоне выступа грунта между пещерами 6 и 7 (см. рис. 9).

Аналогично полные смещения подчеркивают классический механизм развития оползня. Поперечные сечения пещеры 2 показывают преимущественно вертикальное оседание под действием силы тяжести, которое распространяется на более пологое подножие обрыва, тогда как после автоматизированного снижения прочности полное смещение сосредоточивается именно в этой части склона.

Интересно отметить, что подобно гравитационному воздействию от вышележащих грунтов классическое развитие оползня на исследуемом участке, по-видимому, ограничено выпуклой частью территории над обрывом, а соседние зоны меньше подвержены обоим указанным процессам.

Согласно результатам предыдущего полевого исследования (NACHPG, 2019) ожидаются (и частично подтверждаются основными системами трещин, параллельных склону) разрушения, вызванные более глубокими механизмами, такими как развитие классического оползня вращения (см. рис. 9, рис. 15). Причинами могут быть, например, сезонное и чувствительное к влажности набухание глины или уже существующие трещины.

Модели на основе теории Мора – Кулона, но с упругим слоем 5 (МК-У5) либо с упругим склоном (МК-Ус) ►

В моделях, созданных на основе теории Мора – Кулона, но с упругим слоем 5 (МК-У5) было «запрещено» оползнеобразование, поскольку самому нижнему (пятому) слою грунта (глине) приписывалось чисто упругое поведение, что делало виртуально невозможными деформации внутри этого слоя и позволяло проводить анализ деформаций меньшего масштаба внутри пещер и вокруг них.

На модели этой серии были очень похожи модели на основе теории Мора – Кулона, но с упругим склоном (МК-Ус), в которых помимо слоя глины задавались упругими также и верхние четыре слоя (почвы, конгломерата, песчаника и алевролита), окружающие зоны пещер (обведенные черными линиями на рисунке 13), чтобы можно было сосредоточиться на анализе пластических деформаций вокруг пещер и внутри них.

Поскольку результаты для МК-У5 и МК-Ус были очень похожими, обе эти серии моделей в дальнейшем будут обозначаться как МК-У5.

Картины эквивалентных пластических деформаций под действием силы тяжести во всех пяти «блочных» моделях (рис. 16, 17) продемонстрировали особенно уязвимые зоны в районах опорных колонн, тонких стен, дверных проемов, окон, ниш и арок. Обнаруженные таким образом зоны хорошо согласовывались с областями, определенными на основе полевых исследований прошлых лет как критические или склонные к разрушению. Кроме того, было выявлено, что подвержена деформациям и область под входом в пещеру 6, представляющая собой единственную крупномасштабную зону пола, испытывающую эквивалентную пластическую деформацию (см. вторые из горизонтальных триплетов для пещер 5, 6 и 7 на рисунке. 17), – вероятно, в результате отчетливой слабости выступа грунта между пещерами 6 и 7 (см. рис. 9).

Подтверждающую картину дает распределение напряжений в пределах всего обрыва в отношении растягивающих и сжимающих напряжений как соответственно наименьшей и наибольшей главных компонент тензора напряжений (рис. 18). Зоны растягивающих напряжений концентрируются в основном над переходом «конгломерат – алевролит» в местах, где своды пещер замыкают пустоты

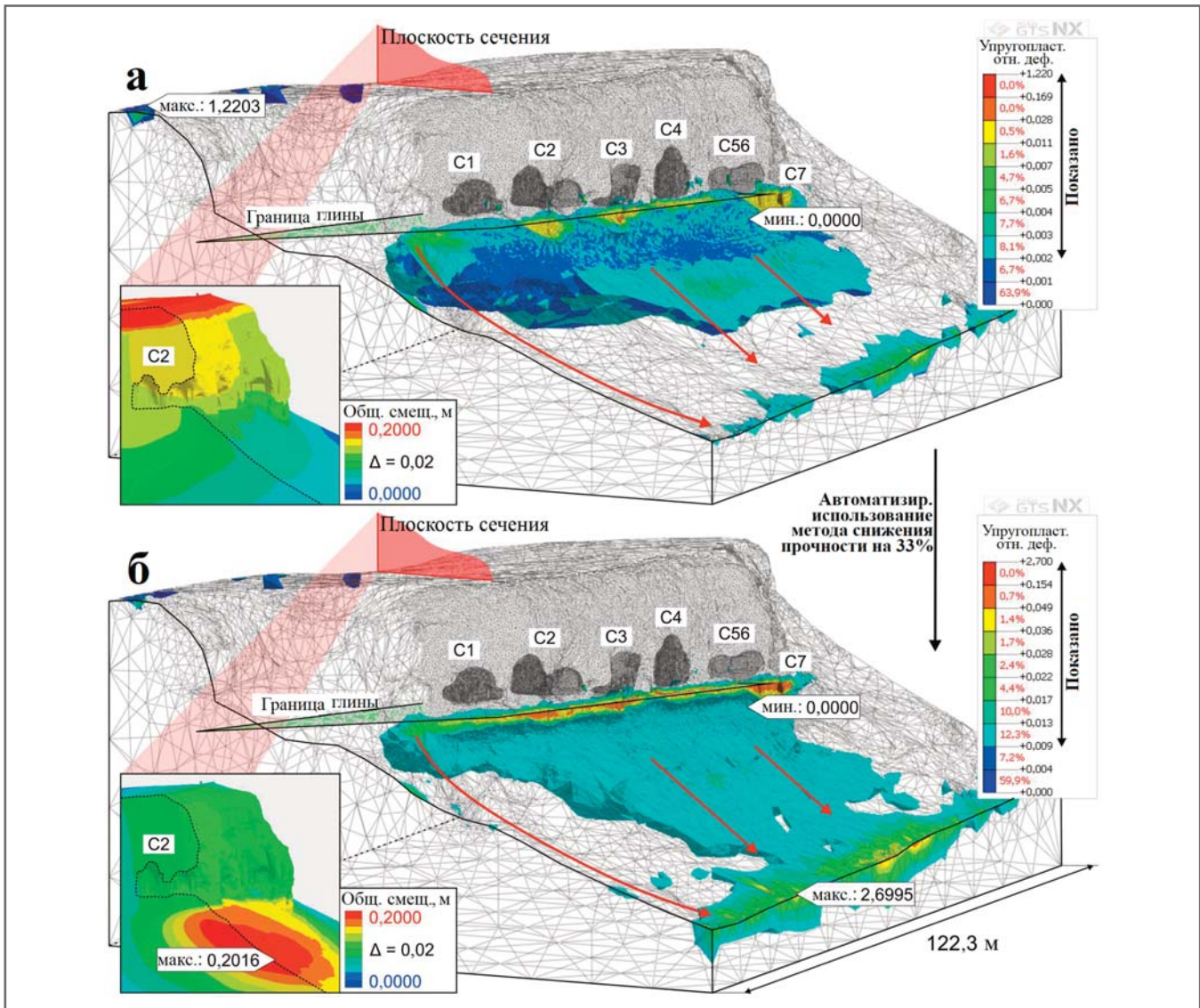


Рис. 14. Зоны концентрированных эквивалентных пластических деформаций, полученные с помощью моделей на основе теории Мора – Кулона, после оседания под действием силы тяжести (а) и после автоматизированного снижения прочности примерно на 33% применительно к удельному сцеплению и углу внутреннего трения (б) (изображения экспортированы из программы midas GTS NX). Результаты показывают формирование механизма развития классического поверхностного оползня с вращательной составляющей преимущественно по слою глины из-за повышенной нагрузки от вышележащего грунта. Максимумы на границах модели, вероятно, являются артефактами. Цветовое кодирование эквивалентной пластической деформации масштабируется автоматически. Цветовое кодирование для общих смещений имеет одинаковые шаги. С – пещера

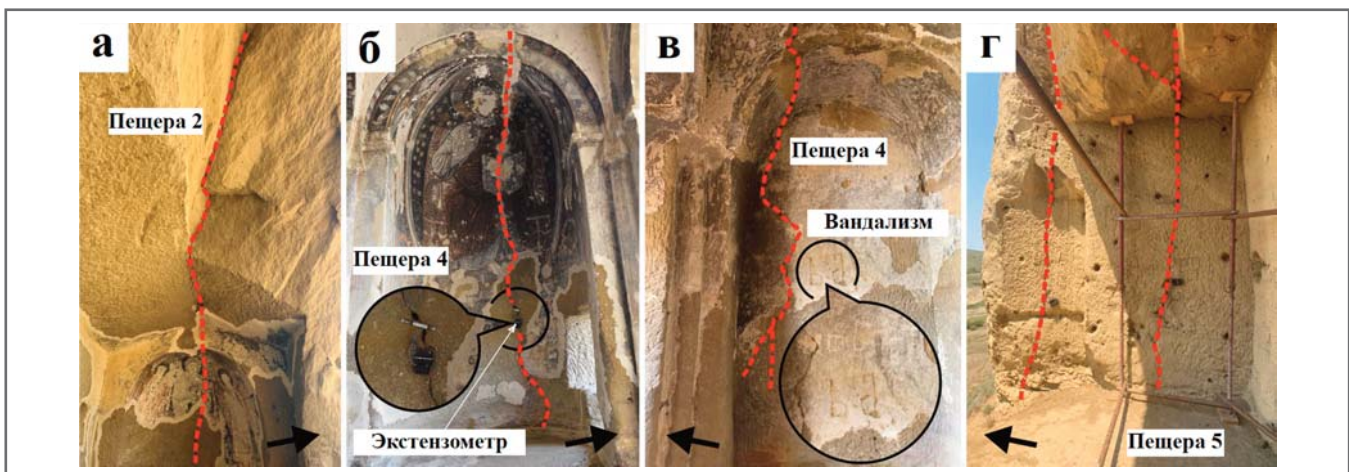


Рис. 15. Трещины, параллельные поверхности обрыва (отмеченные красными штриховыми линиями): у входа и внутри пещеры 2 (а); в пещере 4, где трещина, проходящая через фреску «Спас в силах», контролируется с помощью экстензометра (б); в пещере 4 рядом со следами вандализма (в); в пещере 5 (г). Черные стрелки показывают направления наружу; масштабные соотношения приведены на рисунке 4 (стержни на рисунке «г» – это подпорно-распорная металлическая конструкция. – Ред.)

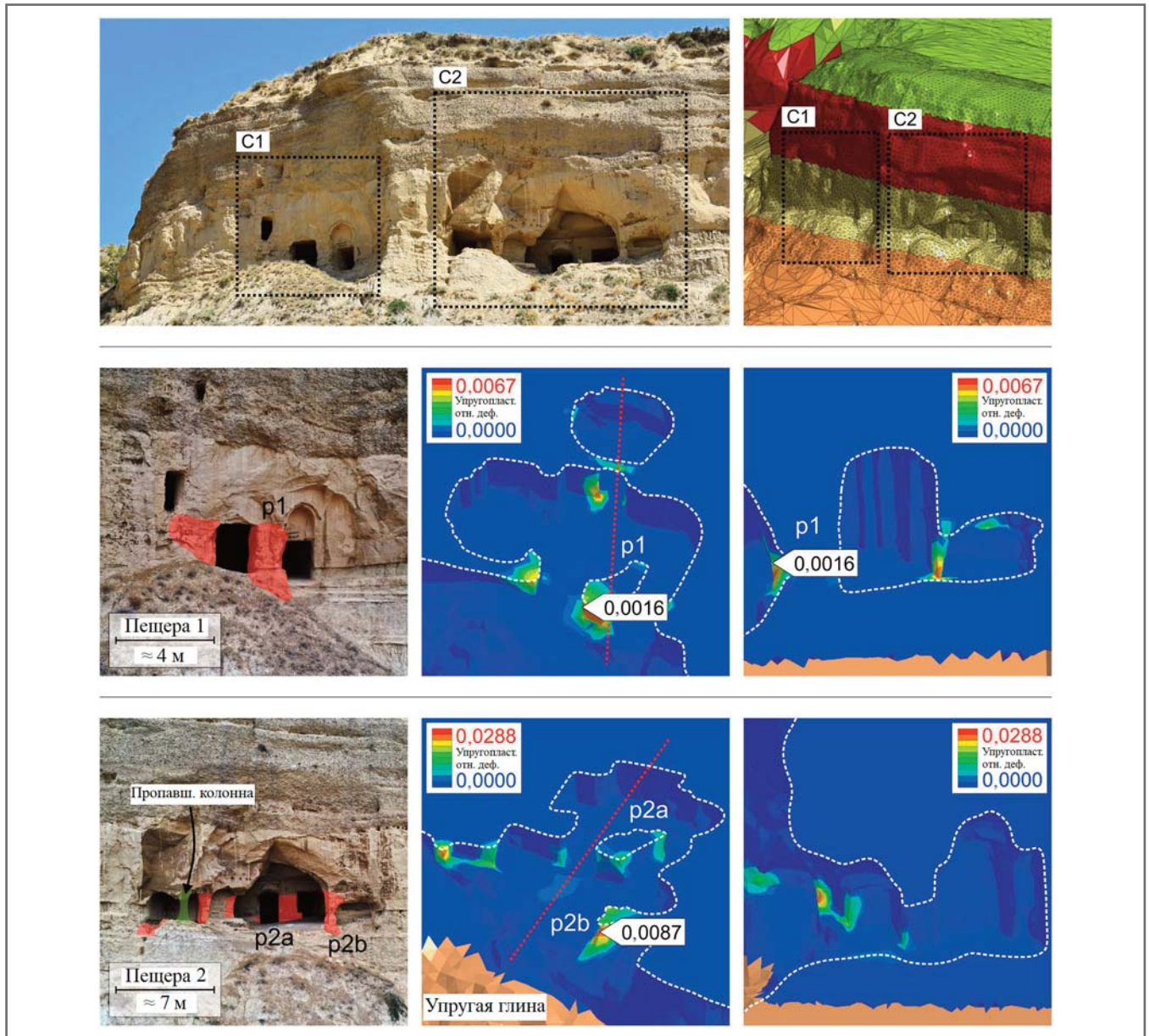


Рис. 16. Зоны концентрированных эквивалентных пластических деформаций, происходящих под действием силы тяжести в пещерах 1 и 2. На первом изображении (фотографии, сделанной в 2019 году с дрона) в каждом горизонтальном триплете показан вход со слабыми зонами, выявленными во время полевых исследований 2019 года. На двух остальных изображениях каждого триплета показаны горизонтальный разрез соответствующей пещеры и ее вертикальный разрез по красной пунктирной линии, полученные на основе моделей МК-У5 и МК-Ус и экспортированные из программы midas GTS NX. Цветовое кодирование масштабировалось автоматизировано и является разным для разных пещер; С – пещера; p – опорная колонна

внутри обрыва. Стоит отметить, что растягивающие напряжения кажутся особенно выраженными над входами в пещеры за исключением зоны над входом в пещеру 3, так как недавно с этого места упало несколько крупных обломков, высвободив накопленное напряжение (см. рис. 8). Напряжения сжатия в первую очередь воздействуют на стены, полы и опорные колонны пещер в слоях песка и алевролита. Особо вновь себя проявляет выступ грунта на обрыве между пещерами 6 и 7, который испытывает сильные сжимающие напряжения под действием своей верхней части, включающей слой конгломерата, до самого

низа под пещерой 7 в слое глины. Последний факт заслуживает внимания, так как только представление сжимающего напряжения дает информацию о механическом состоянии склона под пещерой 7. В большинстве других моделей эта пещера представлена не очень хорошо, поскольку она расположена внутри слоя глины и поэтому ее поведение считается в основном упругим, то есть недеформируемым (см. рис. 17, второе изображение в каждом горизонтальном триплете для пещер 5, 6 и 7). Напряжения растяжения и сжатия, полученные для «блочных» моделей, показаны на рисунке 19.

Модели на основе теории Мора – Кулона, но с упругим слоем 5 и ручным использованием метода снижения прочности (МК-У5-рМСП) ▶

Модели, построенные на основе теории Мора – Кулона, но с упругим слоем 5 и ручным использованием метода снижения прочности (МК-У5-рМСП) (Dawson et al., 1999; Griffiths, Lane, 1999) также охватывали весь обрыв вместе с пятью «блочными» моделями. Но целью был анализ деформаций в зонах мелкомасштабных объектов внутри и вокруг пещер с фокусированием внимания на эффектах выветри-

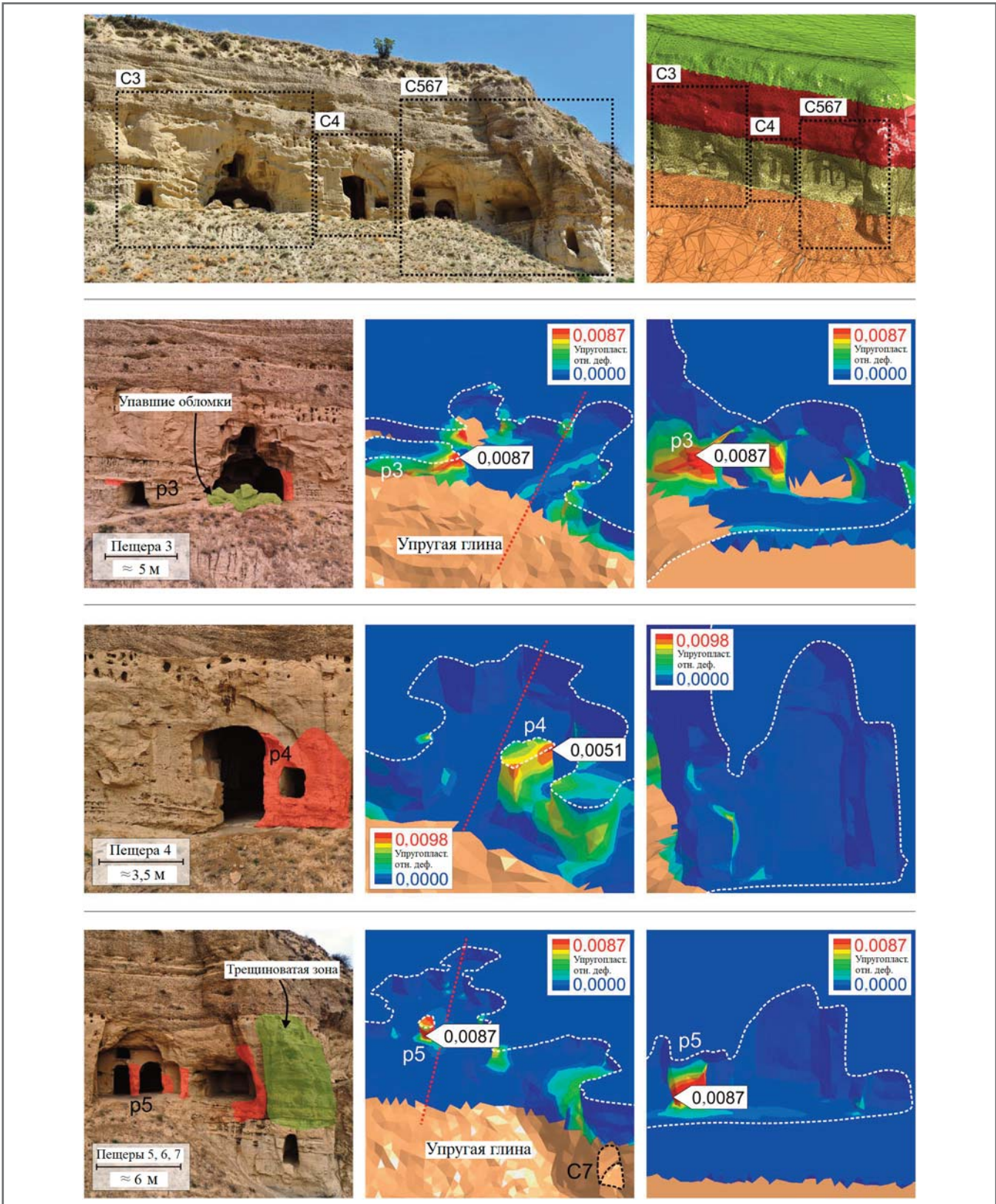


Рис. 17. Зоны концентрированных эквивалентных пластических деформаций, происходящих под действием силы тяжести в пещерах 3, 4, 5, 6, 7. На первом изображении (фотографии, сделанной в 2019 году с дрона) в каждом горизонтальном триплете показан вход со слабыми зонами, выявленными во время полевых исследований 2019 года. На двух остальных изображениях каждого триплета показаны горизонтальный разрез соответствующей пещеры и ее вертикальный разрез по красной пунктирной линии, полученные на основе моделей МК-У5 и МК-Ус и экспортированные из программы midas GTS NX. Цветовое кодирование масштабировалось автоматизировано и является разным для разных пещер; С – пещера; p – опорная колонна

вания. Ручное уменьшение показателей прочности применялось к удельному сцеплению и растягивающему напряжению за десять одинаковых шагов

с уменьшением этих двух параметров на 70% от их первоначальных значений (рис. 20), как предложили Каstellанца и др. (Castellanza et al., 2018) и Чиантия

и др. (Ciantia et al., 2018) после испытаний слабых скальных грунтов на выветривание. Угол внутреннего трения был принят постоянным, так как кратковре-

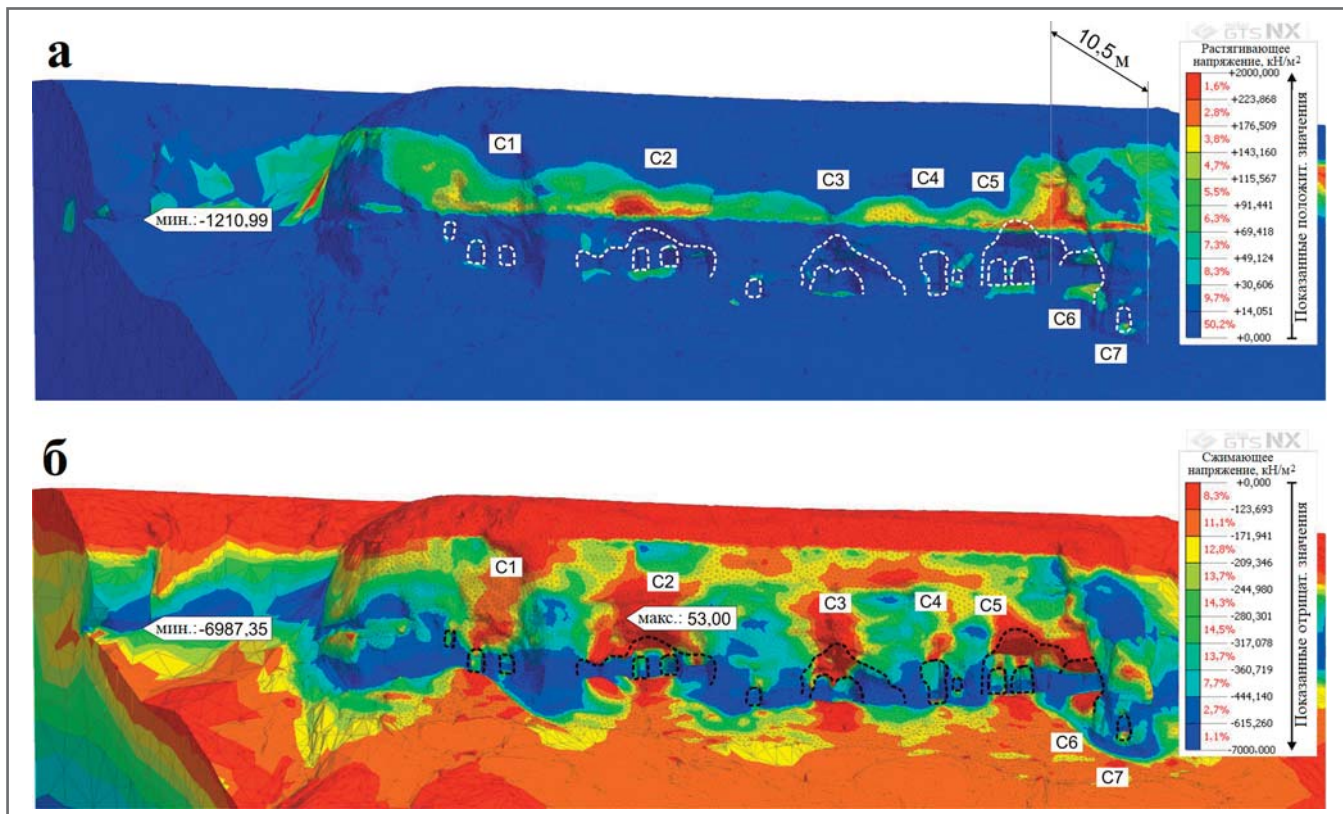


Рис. 18. Зоны концентрированных растягивающих напряжений (как наименьших главных компонент тензоров напряжений), представленные в программе midas GTS NX положительными значениями (а), и зоны концентрированных сжимающих напряжений (как наибольших главных компонент тензоров напряжений), представленные в midas GTS NX отрицательными значениями (б). Цветовое кодирование масштабировалось автоматизировано. Изображения экспортированы из midas GTS NX. Эти результаты получены на основе моделей МК-У5 после оседания под действием силы тяжести. Они показывают высокие растягивающие напряжения в зонах сводов пещер, в то время как сжимающие напряжения действуют, в частности, на стены, полы и опорные колонны пещер. С – пещера

менные процессы выветривания вряд ли оказали бы на него существенное уменьшающее влияние (Ciantia et al., 2015a). Учитывая геологические и геоклиматические условия, авторы приняли лишь кратковременное воздействие экстремальных погодных явлений, а долгосрочные эффекты выветривания, включая постоянное водонасыщение (Ciantia et al. 2015b), в этой серии моделей не учитывались.

Будучи дальнейшим развитием моделей МК-У5, модели МК-У5-рМСП характеризовались таким же статическим состоянием под действием силы тяжести. Поэтому картина эквивалентных пластических деформаций, показанная на рисунке 21, а, была репрезентативной для обеих серий моделей. Аналогично показанному на рисунках 16 и 17 опорные колонны, тонкие стены, дверные проемы, окна, ниши и арки были идентифицированы как особо уязвимые зоны в результате концентрации растягивающих и сжимающих напряжений, определяемых начальными параметрическими условиями (см. таблицу 3), описывающими огибающую кругов Мора – Кулона (см. рис. 11 и

рис. 20 при $SRF_c = SRF_o = 1$). Поэтому авторы сравнили эти результаты с итогами ручного уменьшения прочности на 70% (см. рис. 20 при $SRF_c = SRF_o = 3,33$, рис. 21, б). Абсолютные значения эквивалентных пластических деформаций в вышеупомянутых уязвимых зонах увеличивались в результате снижения предельной огибающей Мора – Кулона, что было комбинированным следствием уменьшения удельного сцепления и максимально допустимых напряжений вследствие выветривания и концентраций более высоких растягивающих и сжимающих напряжений в уже ослабленных зонах. Уменьшение угла внутреннего трения теоретически также может изменить и опустить ниже огибающую кругов Мора – Кулона, но, как уже упоминалось, в этой серии моделей данный параметр был принят постоянным.

Исходя из этого авторы сделали вывод, что такие «неоднородные внутри» эффекты выветривания (о подобных эффектах для аналогичных пещерных сооружений писали, например, Чантия и др. – Ciantia et al., 2018) влияют в первую очередь на свободные поверхности и находящиеся под ними зоны в слоях

песчаника и алевролита, в которых расположено большинство пещерных пустот и архитектурных деталей и которые по этой причине заслуживают особого внимания при проведении измерений, касающихся сохранения этих археологических памятников.

Упругие модели (У) ▶

Чисто упругие (У) «блочные» модели использовались для оценки режимов напряжений и коэффициентов запаса устойчивости опорных колонн (см. рис. 16, 17, 19, табл. 4). Следует отметить, что подобный архитектурный элемент p2b был соединен со стеной пещеры тонкой грунтовой перемычкой, но он оценивался как самостоятельная опорная колонна и в дальнейшем будет упоминаться как «полуколонна».

Поскольку все модели этой серии были основаны исключительно на упругом поведении всех слоев грунта (см. рис. 13), для них не предусматривалось автоматизированное или ручное снижение прочности.

Оценки коэффициента запаса устойчивости для каждой опорной колонны получали в два этапа. Сначала из моде-

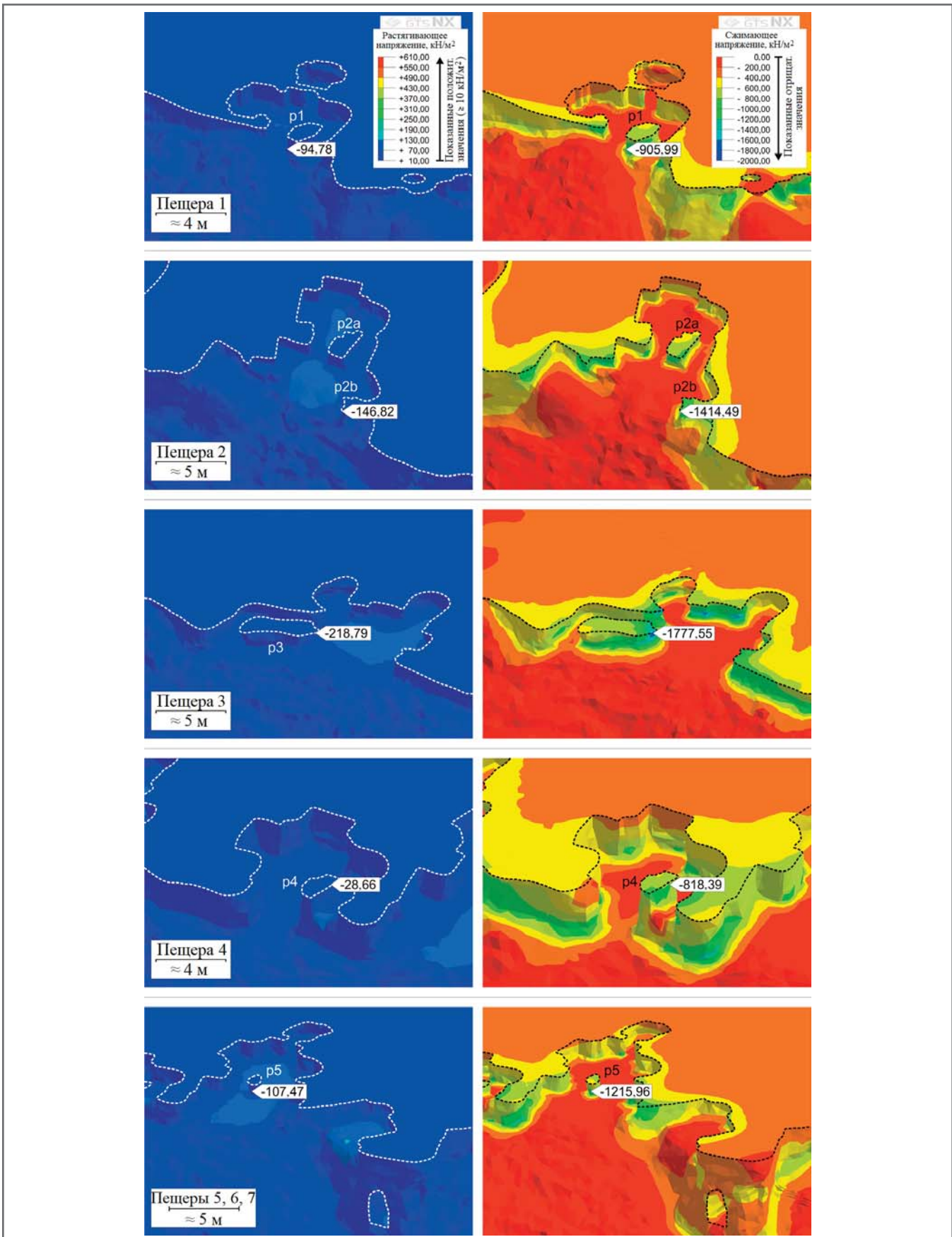


Рис. 19. Зоны концентрированных растягивающих напряжений (как наименьших главных компонент тензоров напряжений), показанные в программе midas GTS NX положительными значениями (см. левые изображения для каждой пещеры), и зоны концентрированных сжимающих напряжений (как наибольших главных компонент тензоров напряжений), показанные в midas GTS NX отрицательными значениями (см. правые изображения для каждой пещеры). Изображения экспортированы из midas GTS NX. Эти результаты получены на основе моделей МК-У5 после оседания под действием силы тяжести. Они показывают высокие растягивающие напряжения в районах сводов пещер, в то время как сжимающие напряжения действуют, в частности, на стены, полы и опорные колонны пещер. Цветовое кодирование имеет одинаковый шаг и является разным для каждой главной составляющей (основной компоненты); p – опорная колонна

лей «извлекали» средние напряжения (кПа) для поперечного сечения каждой колонны на высоте около 1 м над полом пещеры. Затем использовали формулу Оберта и Дюваля (Obert, Duvall, 1967) для общего коэффициента запаса прочности соответствующей колонны:

$$SF = \sigma_{UCS} / \sigma_{mod}, \quad (1)$$

где SF – коэффициент запаса устойчивости; σ_{UCS} – осевое сжимающее напряжение, полученное путем испытаний на прочность при одноосном сжатии (см. A_{μ}^c на рисунке 11 (из первой части перевода, опубликованной ранее. – *Ред.*)); σ_{mod} – среднее осевое напряжение, полученное с помощью численного моделирования.

Величину σ_{UCS} для уравнения (1) следует измерять для образцов керна с отношением диаметра к высоте, равным 1. Но, как видно из рисунка 11 (см. часть 1 перевода. – *Ред.*), соотношение диаметра и высоты образцов A1, A2 и A3 при испытаниях на прочность при одноосном сжатии (UCS) немного отклоняется от единицы, поэтому полу-

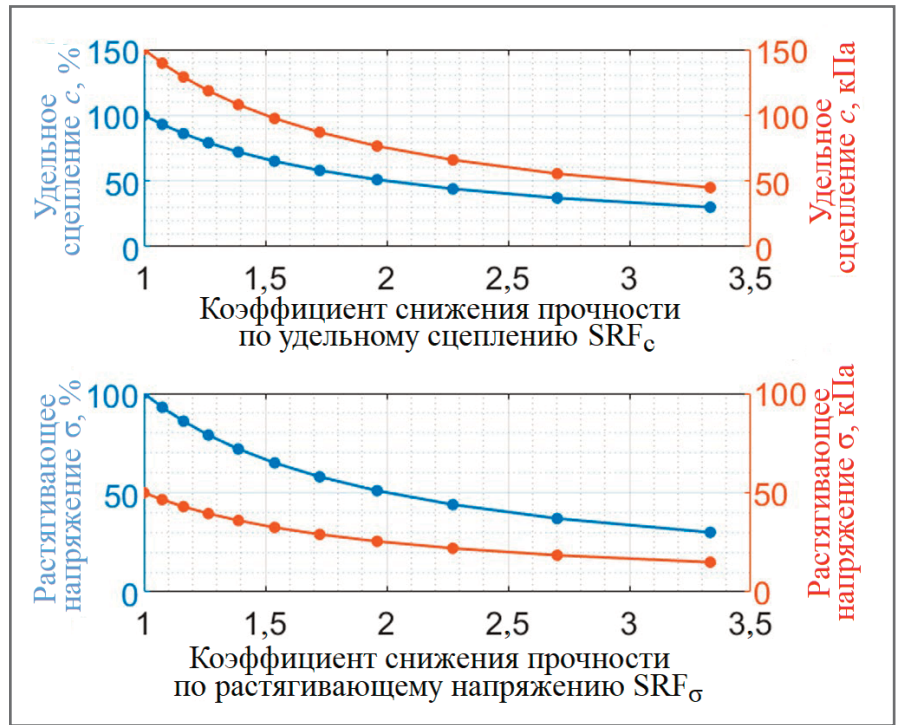


Рис. 20. Десять шагов уменьшения удельного сцепления и растягивающего напряжения, использованные в моделях МК-У5-рМСП (Dawson et al., 1999; Griffiths, Lane, 1999). Коэффициент снижения прочности SRF (Strength Reduction Factor) – это, по определению, соотношение между начальной и уменьшенной величиной показателя прочности (MIDAS, 2021)

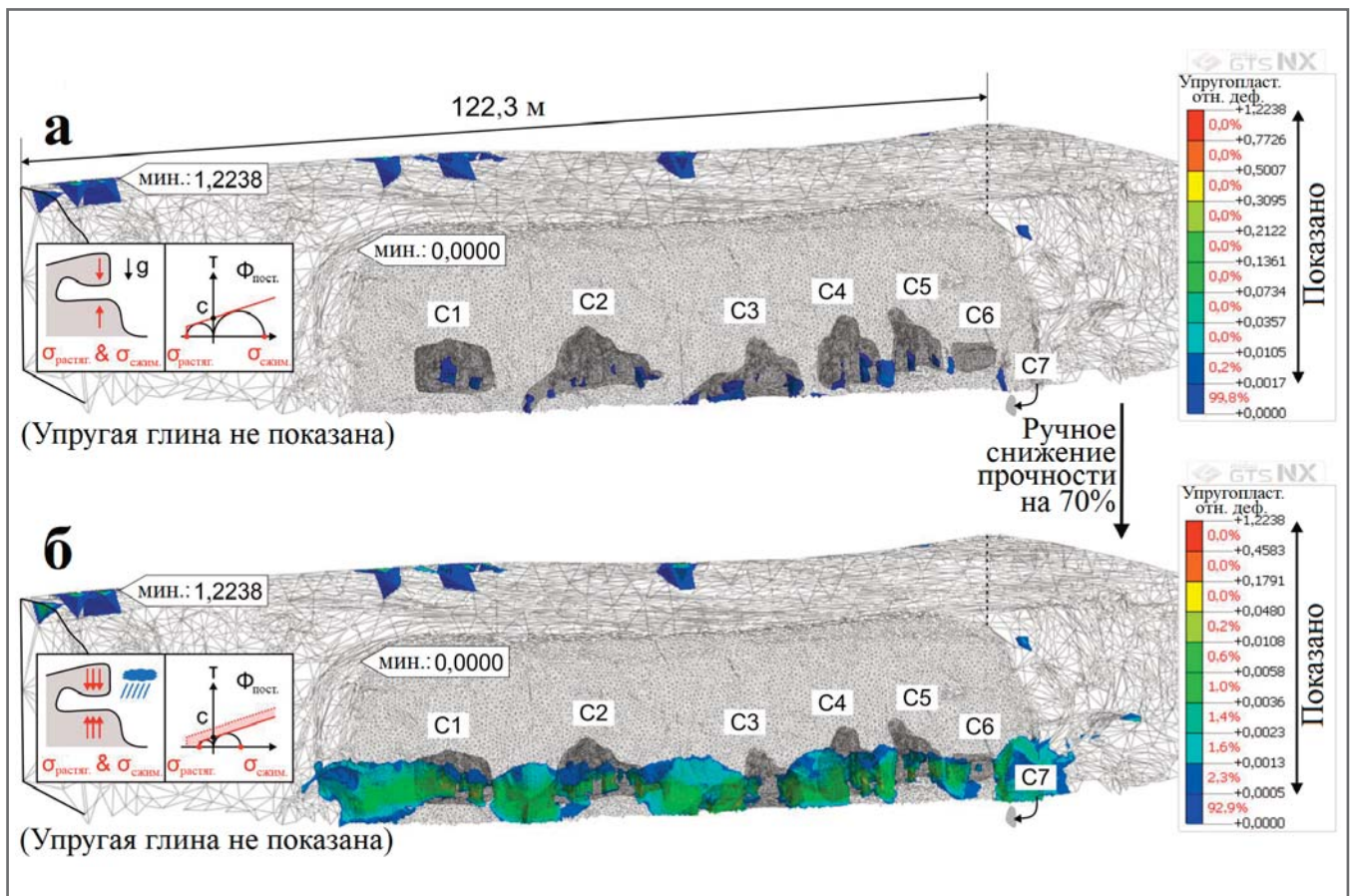


Рис. 21. Зоны концентрированных относительных эквивалентных пластических деформаций на основе моделей МК-У5-рМСП после оседания под действием силы тяжести (а) и после ручного снижения прочности на 70% в отношении удельного сцепления и растягивающего напряжения (б). Цветовое кодирование масштабировалось автоматизировано. Изображения экспортированы из программы midas GTS NX. Результаты показывают, что в данном случае деформации равномерно воздействуют на открытые стены пещер и поэтому могут быть отнесены к горизонтам выветривания преимущественно в песчаниках и алевролитах. Максимумы на границах модели, вероятно, являются артефактами. С – пещера

ченные значения σ_{UCS} были скорректированы с использованием следующей формулы (Obert et al., 1960):

$$\sigma_{UCS}^R = \sigma_{UCS} \times [0,778 + 0,222 \times (d/h)], \quad (2)$$

где σ_{UCS}^R – осевое сжимающее напряжение, полученное путем испытаний на одноосное сжатие образца с отношением диаметра d к высоте h , отличным от единицы, но в допустимом диапазоне от 0,5 до 2.

Этот принцип оценки коэффициента запаса устойчивости согласно Оберту и Дювалю (Obert, Duvall, 1967) доказал свою эффективность в процессе сопоставимых подземных исследований при наличии опорных колонн (Castellanza et al., 2018; de Silva, Scotto di Santolo, 2018). Следует отметить, что он аналогичен принципу определения коэффициента снижения прочности SRF (Strength Reduction Factor; см. рис. 19), который использовался для ручного уменьшения прочности в моделях МК-У5-рМСП. Но все-таки эти коэффициенты не следует путать.

Подтверждая интерпретацию картин эквивалентных пластических деформаций (см. рис. 16, 17) и растягивающих и сжимающих напряжений (см. рис. 19), авторы рассматривали опорные колонны 4 и 5 и «полуколонну» p2b как наиболее неустойчивые из-за их ненадежных конструкций и низких запасов прочности (таблица 6). Однако в соответствии с ранжированием площади поперечного сечения и коэффициента запаса устойчивости, видимо, оба параметра влияют друг на друга лишь частично следующим образом:

- ранжирование колонн по величине поперечного сечения: $p5 < p2b < p4 < p2a < p1 < p3$;

- ранжирование колонн по значению коэффициента запаса устойчивости: $p2b < p5 < p4 < p3 < p1 < p2a$.

По сравнению с другими архитектурными элементами опорные колонны 4 и 5, а также «полуколонна» p2b тоньше и подвергаются повышенным нагрузкам от вышележащего грунта из-за их довольно изолированного размещения в пределах большего внутреннего пространства. Напротив, колонны 1 и 2а толще и в то же время более однородно окружены объемами грунтов с похожими свойствами, что приводит к более стабильному распределению напряжений внутри данных опорных конструкций. Это многофакторное влияние на коэффициенты запаса устойчивости SF особенно хорошо видно на

Таблица 6. Коэффициенты запаса устойчивости для опорных колонн в пещерах 1, 2, 3, 4, 5 (см. рис. 16, 17, 19)

| Опорная колонна | Площ. попер. сечения, м ² | Среднее напряжение, кПа | Коэффициент запаса устойчивости |
|-----------------|--------------------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| p1 | 2,95 | 688,1 | 0,94 |
| p2a | 2,43 | 682,4 | 0,95 |
| p2b | 0,88 | 993,8 | 0,65 |
| p3 | 7,20 | 781,6 | 0,83 |
| p4 | 1,16 | 830,7 | 0,78 |
| p5 | 0,72 | 845,8 | 0,76 |

Примечание. Грунтовая конструкция p2b соединена со стеной пещеры тонкой перемычкой, но оценивалась авторами как самостоятельная опорная колонна и получила название "полуколонна".

примере колонны 3, имеющей наибольшую площадь поперечного сечения и наибольший объем окружающих пород, но тем не менее относящейся к опорным элементам с более низкими величинами SF среди всех колонн в изученных пещерах.

Важно учитывать, что абсолютные значения SF зависят от напряжения одноосного сжатия (см. рис. 11 (из первой части перевода, опубликованной ранее. – *Ред.*)), использованного в уравнении (1) с меньшими одноосными сжимающими напряжениями, приводящими к меньшим величинам SF, и наоборот. Ранжирование относительно коэффициента запаса устойчивости (то есть вероятности разрушения отдельных колонн) остается прежним. При этом абсолютные значения SF ниже единицы теоретически указывают на разрушение шести рассматриваемых опорных колонн. Эти результаты согласуются с соответствующими картинками эквивалентных пластических деформаций (см. рис. 16, 17), но не с тем, что в действительности все эти колонны еще стоят. Данное несоответствие возникает по двум причинам:

- 1) модели не предполагают наличие трещин внутри колонн и, следовательно, не учитывают перераспределение напряжений из-за частичного снятия напряжений, вызванного возникновением и развитием трещин;

- 2) испытания на прочность при одноосном сжатии проводились на образцах грунта, собранных из уже упавших обломков, допустимые сжимающие напряжения для которых не обязательно

являются репрезентативными для опорных колонн.

Обсуждение, рекомендации и перспективы ►

Обобщая результаты полевых исследований прошлых лет и работы с различными сериями полученных численных моделей (см. таблицу 4 (в первой части перевода. – *Ред.*)), авторы более подробно рассмотрели конкретные аспекты, касающиеся условий устойчивости исследованного пещерного монастыря Сабееби. Моделирование с различными целями и в разных масштабах пролило свет на общую устойчивость и вероятность разрушения обрыва, в котором находятся семь отдельных пещер и связанных с ними небольших полостей.

Крупномасштабные модели на основе теории Мора – Кулона (МК) выявили классический механизм оползнеобразования из-за повышенной нагрузки от вышележащих грунтов и систем трещин, параллельных склону, в стенках пещер. Предметом критики в отношении этой серии моделей может быть принятое в них поведение материала согласно модели грунта Мора – Кулона, которая является одним из классических «вариантов первого выбора» для общих нелинейных моделей местности. Существенным недостатком моделей МК является то, что естественная нелинейная реакция материала на приложенные напряжения, например деформационное упрочнение или деформационное упрочнение, плохо аппроксимируется идеально-упругопластическим поведением материала. Вероятно, более хорошие ре-



Рис. 22. Подпорно-распорная конструкция у входа в пещеру 3, с кровли которой ранее отвалилось несколько крупных обломков (обломок посередине имеет высоту около 0,5 м)

зультаты можно было бы получить, используя другие законы поведения материалов и критерии разрушения грунтовых массивов, например критерий Хука – Брауна (Hoek, Brown, 1980).

Тем не менее на основе доказанного механизма оползнеобразования (см. рис. 14) мерой против неустойчивости более пологого подножия обрыва могла бы послужить комбинация террасовидных геотехнических сооружений, например анкерных креплений и экологических решений в форме небольших каменных и/или деревянных дамб.

Система дренажных лотков и труб могла бы предотвратить неконтролируемую инфильтрацию, в частности в самый нижний слой грунта, состоящий в основном из глины, что делает его восприимчивым к набуханию (Frodella et al., 2021).

Экологичные решения можно было бы применить и для пешеходных дорожек, чтобы обеспечить безопасный для людей и при этом безвредный для археологических памятников и природы доступ к обрыву.

Мелкомасштабные модели на основе теории Мора – Кулона с упругим слоем 5 (МК-У5) или с упругим склоном (МК-Ус) и чисто упругие (У) фокусировались на устойчивости и потенциале разрушения архитектурных элементов вокруг и внутри пещер и связанных с ними небольших полостей. Они помогли выявить, что особенно уязвимые зоны находятся вокруг опорных колонн, тонких стен, дверных проемов, окон, ниш и арок (см. рис. 16–19). Эти модели показали

значительно меньший потенциал разрушения в зонах, где произошло недавнее обрушение колонны или кровли над входом (см. рис. 7, 8 (в первой части перевода. – *Ред.*)). И напротив, они показали, что неизбежно произойдет обрушение выступа грунта на поверхности обрыва между пещерами 6 и 7 (включая зону под входом в пещеру 6). Анализ коэффициентов запаса прочности показал, что колонны в пещерах 2 («полуколонна» р2b), 4 и 5 скорее всего разрушатся, а колонны в пещерах 1, 2 (колонна р2a) и 3 являются чуть более устойчивыми. В соответствии с установленными приоритетами все эти архитектурные элементы могут быть подвергнуты соответствующим измерениям в целях принятия мер для их поддержки и усиления. Это могли бы быть подпорки и распорки (см. рис. 15, г; рис. 22), анкерные крепления, а также механическое и/или химическое укрепление, например с помощью обработки нанокремнеземом. Предварительно грунты и анкерные конструкции должны быть оценены в разных слоях с помощью бурения и испытаний на выдергивание.

Другим очевидным необходимым аспектом сохранения рассматриваемых археологических памятников должен быть строгий запрет на вандализм в виде выщарапывания надписей и рисунков посетителями (см. рис. 15, в), поскольку это ослабляет структуру породы и в конечном итоге приводит к различным формам эрозии.

Крупномасштабные и мелкомасштабные модели на основе теории Мо-

ра – Кулона, но с упругим слоем 5 и ручным использованием метода снижения прочности (МК-У5-рМСП) указывают на возможную сильную зависимость от устойчивости и погодных условий. В этой серии моделей (принимаящих, что горизонты выветривания являются однородными, то есть что прочность материала неоднородно снижается по всему массиву грунта) предполагается, что зоны с высоким потенциалом разрушения сосредоточены вокруг пещер и связанных с ними небольших полостей в слоях песчаника и алевролита (см. рис. 21). Более хорошие результаты можно было бы получить с помощью численных моделей, использующих градиенты выветривания (рис. 23), которые учитывают воздействие атмосферного воздуха в пещерах и за их пределами, площадь свободной поверхности, типы деградации в зависимости от типа породы, возможные пути инфильтрации воды, а также частоту и интенсивность сильных осадков. В этом контексте можно рассмотреть аспект химических связей между частицами грунта и, на втором этапе, выщелачивание минералов (например, Ciantia et al., 2018). Кроме того, данные, полученные при недавно начатой кинематической оценке трещин, включая результаты измерений экстензометрами *in situ* (см. рис. 15, б; Frodella et al., 2021), можно было бы включить в усовершенствованные численные модели, поскольку было задокументировано, что имеющиеся системы трещин являются не только параллельными, но и перпендикулярными поверхности склона, а также произвольно ориентированным (NACHPG, 2019). В этом отношении можно рассматривать преобразование континуальной (сплошной) модели в дискретную (дискретную).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ►

Перед геологами, инженерами и археологами стоит задача сохранения пещерных монастырей Саберееби (как и других искусственных пещерных комплексов в стране), расположенных примерно в 60 км к юго-востоку от столицы Грузии Тбилиси. Обрыв, в котором были выкопаны помещения одного из этих монастырей Грузинской православной церкви, сложен слоями слабых осадочных пород (снизу вверх: окаменелой глины, слабого песчаника, слабого алевролита, морских конгломератов, тонкого почвенного покрова), которые имеют значительный потенциал разрушения.

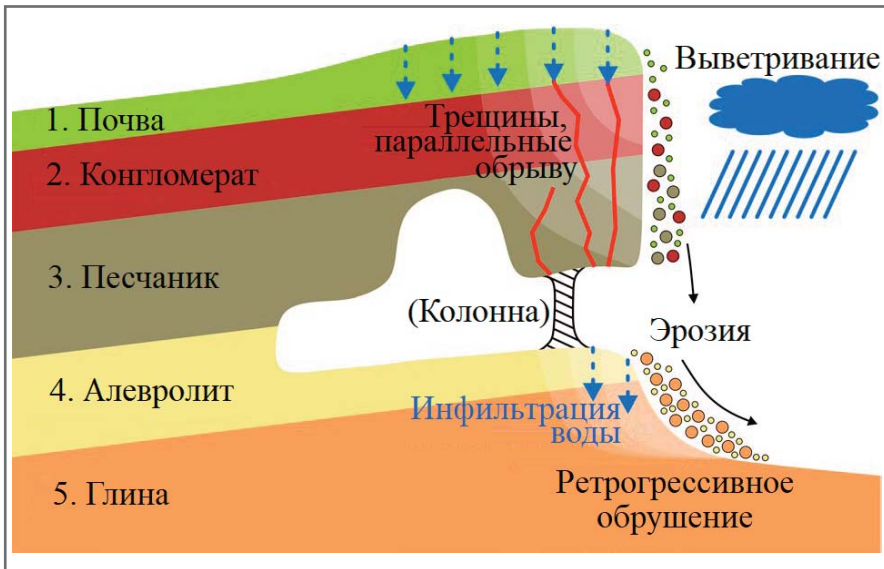


Рис. 23. Схематическое изображение влияния выветривания, инфильтрации воды и эрозии на вероятные ретрогрессивные (отступающие внутрь) обрушения над и под входами в пещеры. Результаты моделирования на основе метода конечных элементов (МКЭ) могли бы быть улучшены за счет использования градиента выветривания, а не принятия неоднородных условий выветривания по всему массиву грунта

В первой части этого исследования была представлена стратегия обработки облаков точек, полученных с помощью фотограмметрии с дронов, а также с помощью лазерных сканеров, установленных внутри исследованных пещер и за их пределами, в объекты САПР с высоким разрешением, которые можно использовать для численного моделирования критических в отношении возможного разрушения зон от макро- до микромасштабов.

Данная стратегия, с одной стороны, помогла выполнить комплексную трехмерную оценку устойчивости исследованного пещерного монастыря Сабереби. С другой стороны, разработанная стратегия должна послужить пилотной схемой, которую в будущем можно будет адаптировать к различным похожим объектам, сочетая неинвазивные и от-

носительно экономичные методы обработки данных, анализа и оценки опасности разрушения.

Во второй части представлено исследование серии статических упругопластических конечноэлементных моделей для оценки устойчивости исследованной части обрыва и пещер внутри него.

Авторы обсудили результаты четырех отдельных серий моделей с разными уровнями детализации, каждая из которых фокусировалась на определенных геомеханических сценариях (развитии классического оползня из-за чрезмерной нагрузки от вышележащих грунтов, деформации архитектурных элементов в результате концентрации напряжений, реакции грунта на атмосферные воздействия, разрушении опорных колонн из-за вертикальной нагрузки).

В целом был сделан вывод, что особо уязвимые места находятся в зонах колонн, тонких стен, дверных проемов, окон, ниш и арок. Также были даны соответствующие рекомендации по сохранению рассмотренных архитектурных памятников и указаны перспективы будущей работы.

Кроме того, было отмечено, что особый интерес может представлять усовершенствование моделей с учетом градиентов выветривания и результатов новых съемок, а также динамические модели, поскольку рассматриваемый регион характеризуется сильной сейсмичностью. **и**

Представленная работа была проведена в рамках «Междисциплинарного исследования и мониторинга пещерного комплекса Гареджа, памятника национального значения» при финансировании Национальным управлением по сохранению культурного наследия Грузии, руководстве Государственным университетом Ильи (Грузия) совместно с Итальянским институтом охраны и исследований окружающей среды и при поддержке Миланским университетом Бикокка (Италия). Данные, использованные в этой работе, были получены совместно и, соответственно, принадлежат всем трем указанным учреждениям.

Эта статья находится в открытом доступе в соответствии с международной лицензией Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0), которая разрешает ее воспроизведение и распространение на любом носителе и в любой форме, использование, перевод и адаптацию при условии указания ссылки на первоисточник и типа изменений. Финансирование открытого доступа данной статьи было предоставлено Миланским университетом Бикокка (Италия) в рамках соглашения CRUI-CARE.

ИСТОЧНИК ДЛЯ ПЕРЕВОДА ►

Domej G., Previtali M., Castellanza R., Spizzichino D., Crosta G.B., Villa A., Fusi N., Elashvili M., Margottini C. High-resolution 3D FEM stability analysis of the Sabereebi Cave Monastery, Georgia // *Rock Mechanics and Rock Engineering*. Springer, 2022. Vol. 55. P. 5139–5162. DOI: doi.org/10.1007/s00603-022-02858-z. URL: link.springer.com/article/10.1007/s00603-022-02858-z.


СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ, ИСПОЛЬЗОВАННОЙ АВТОРАМИ ПЕРЕВЕДЕННОЙ СТАТЬИ ►

1. Abell AB, Willis KL, Lange DA (1999) Mercury intrusion porosimetry and image analysis of cement-based materials. *J Colloid Interface Sci* 211(1):39–44. <https://doi.org/10.1006/jcis.1998.5986>.
2. Agisoft LLC, 2021. Agisoft metashape user manual: professional edition. Agisoft LLC, St. Petersburg, Russia, ver. 1.7. https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_7_en.pdf. Accessed 26 Sept 2021.
3. Basilaia G, Elashvili M, Vacheishvili N, Chkhaidze D, Kvavadze D, (2016) Concept of complex environmental monitoring network — Vardzia rock cut city case study. In: *Proceedings of the 16th international multidisciplinary scientific geoconference, Albena, Bulgaria, 28 June–6 July 2016, Surveying, Geology and Mining, Ecology and Management, Sofia, Bulgaria, 1st ed.*, p 427–434. <https://doi.org/10.5593/SGEM2016/B13/S05.054>.

4. Ben-Israel A (1966) A Newton–Raphson method for the solution of systems of equations. *J Math Anal Appl* 15(2):243–252. [https://doi.org/10.1016/0022-247X\(66\)90115-6](https://doi.org/10.1016/0022-247X(66)90115-6).
5. Bergamini L (2020) Tecniche di classificazione di siltiti, arenarie e calcareniti debolmente cementate. Bachelor thesis, Department of Earth and Environmental Sciences, University of Milano Bicocca, Italy (in Italian).
6. Bernardini F, Mittleman J, Rushmeier H, Silva C, Taubin G (1999) The ball-pivoting algorithm for surface reconstruction. *Inst Electr Electron Eng Trans Visual Comput Graphic* 5(4):349–359. <https://doi.org/10.1109/2945.817351>.
7. Besl P, McKay N (1992) A method for registration of 3-D shapes. *Inst Electr Electron Eng Trans Pattern Anal Mach Intell* 14(2):239–256. <https://doi.org/10.1109/34.121791>.
8. Boldini D, Guido GL, Margottini C, Spizzichino D (2018) Stability analysis of a large-volume block in the historical rock-cut city of Vardzia (Georgia). *Rock Mech Rock Eng* 51:341–349. <https://doi.org/10.1007/s00603-017-1299-7>.
9. Brodu N, Lague D (2012) 3D terrestrial lidar data classification of complex natural scenes using a multi-scale dimensionality criterion: applications in geomorphology. *Int Soc Photogramm Remote Sens J Photogramm Remote Sens* 68:121–134. <https://doi.org/10.1016/j.isprs.2012.01.006>.
10. Castellanza R, Lollino P, Ciantia M (2018) A methodological approach to assess the hazard of underground cavities subjected to environmental weathering. *Tunnel Undergr Space Technol* 82: 278–297. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.08.041>.
11. Ciantia MO, Castellanza R, Crosta GB, Hueckel T (2015a) Effects of mineral suspension and dissolution on strength and compressibility of soft carbonate rocks. *Eng Geol* 184:1–18. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2014.10.024>.
12. Ciantia MO, Castellanza R, di Prisco C (2015b) Experimental study on the water-induced weakening of calcarenites. *Rock Mech Rock Eng* 48:441–461. <https://doi.org/10.1007/s00603-014-0603-z>.
13. Ciantia MO, Castellanza R, Fernandez-Merodo JA (2018) A 3D numerical approach to assess the temporal evolution of settlement damage to buildings on cavities subject to weathering. *Rock Mech Rock Eng* 51:2839–2862. <https://doi.org/10.1007/s00603-018-1468-3>.
14. CloudCompare (2022) CloudCompare user manual. Telecom ParisTech & EDF, ver. 2.6.1. <https://www.cloudcompare.org/doc/qCC/CloudCompare%20v2.6.1%20-%20User%20manual.pdf>. Accessed 19 Feb 2022.
15. Corsini M, Cignon P, Scopigno R (2012) Efficient and flexible sampling with blue noise properties of triangular meshes. *Inst Electr Electron Eng Trans Visual Comput Graphic* 18(6):914–924. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2012.34>.
16. Cortes C, Vapnik V (1995) Support-vector networks. *Mach Learn* 20(3):273–297. <https://doi.org/10.1007/bf009 94018>.
17. Davis GH, Reynolds SJ, Kluth JF (2011) Structural geology of rocks and regions, 3rd edn. Wiley, Hoboken.
18. Dawson EM, Roth WH, Drescher A (1999) Slope stability analysis by strength reduction. *Geotechnique* 49(6):835–840. <https://doi.org/10.1680/geot.1999.49.6.835>.
19. de Silva F, Scotto di Santolo A (2018) Probabilistic performance-based approaches to the static and seismic assessment of rock cavities. *Int J Rock Mech Min Sci* 112:354–368. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2018.10.028>.
20. Domej G, Pluta K (2020) From point clouds to CAD objects: overview on a case study. Workflow description for open source use, ver. 1. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11452.67208>.
21. Edelsbrunner H (2003) Surface reconstruction by wrapping finite sets in space. In: Aronov B, Basu S, Pach J, Sharir M (eds) *Discrete and computational geometry. Algorithms and combinatorics*, 1st edn. Springer, Berlin, pp 379–404. https://doi.org/10.1007/978-3-642-55566-4_17.
22. Elashvili E, Vacheishvili N, Basilaia G, Chkhaidze D, Kavadze D, Kirkitadze G, Adikashvili L (2015) Complex monitoring of Vardzia rock cut city. *Ancient Art Today* 6:28–45 (in Georgian, English abstract).
23. Fisher R, Perkins S, Walker A, Wolfart E (1997) *Hypermedia image processing reference*. Wiley, Chichester. <https://www.dsi.unive.it/~atorsell/Hipr.pdf>. Accessed 26 Sept 2021.
24. Frodella W, Elashvili M, Spizzichino D, Gigli G, Adikashvili L, Vacheishvili N, Kirkitadze G, Nadaraia A, Margottini C, Casagli N (2020) Combining InfraRed thermography and UAV digital photogrammetry for the protection and conservation of Rupestrian Cultural Heritage Sites in Georgia: a methodological application. *Remote Sens* 12(5):25. <https://doi.org/10.3390/rs12050892>.
25. Frodella W, Elashvili M, Spizzichino D, Gigli G, Nadaraia A, Kirkitadze G, Adikashvili L, Margottini C, Antidze N, Casagli N (2021) Applying close range non-destructive techniques for the detection of conservation problems in rock-carved cultural heritage sites. *Remote Sens* 13(5):30. <https://doi.org/10.3390/rs130 51040>.
26. Gagaa G, Mumladze D (2012) Annual air temperature map of Georgia in the National Atlas of Georgia. *Kartografia, Tbilisi*, p 57 (in Georgian).
27. Gamkrelidze IP (1992) Geological map of Georgia in the National Atlas of Georgia. *Kartografia, Tbilisi*, p 9 (in Georgian).
28. Gasbarrone F (2005) Studio geomorfologico e analisi di stabilita' della frana del centro storico di Craco (Matera). Diploma thesis, Civil and Industrial Engineering, University of Rome Sapienza/Italy (in Italian).
29. Gobejishvili R (2011) Relief of Georgia. *Universali, Tbilisi*, p 258 (in Georgian).
30. Gobejishvili R, Tielidze L (2019) General characteristics of exogenic processes (chapter 15). In: Tielidze L (ed) *Geomorphology of Georgia*, 1st edn. Springer, Cham, pp 259–267. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77764-1_15.

31. Gobejishvili R, Tsereteli E (2012) Quaternary sediment map of Georgia in the National Atlas of Georgia. Kartografia, Tbilisi, p 32 (in Georgian).
32. Godoladze T, Javakhishvili Z, Tvaradze N, Tumanova N, Jorjiashvili N, Gok R (2016) Seismic databases and earthquake catalogue of the Caucasus. Geophysical Research Abstracts of the European Geoscience Union General Assembly, Vienna, Austria, 17–22 April 2016, vol. 18 (EGU2016–16200). <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2016/EGU2016–16200.pdf>. Accessed 26 Sept 2021.
33. Gogishvili N, Gogichaishvili G, Dolidze J (2012) Average annual precipitation map of Georgia in the National Atlas of Georgia. Kartografia, Tbilisi, p 68 (in Georgian).
34. Griffiths DV, Lane PA (1999) Slope Stability Analysis by Finite Elements. *Geotechnique* 49(3):387–403. <https://doi.org/10.1680/geot.1999.49.3.387>.
35. Hoek E, Brown ET (1980) *Underground excavations in rock*. Institution of Mining and Metallurgy, London.
36. Javakhishvili A, Maruashvili L, Gobejishvili R, Tielidze L (2019) Morphological division of the landscape of Georgia (Chapter 7). In: Tielidze L (ed) *Geomorphology of Georgia*, 1st edn. Springer, Cham, pp 91–98. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77764-1_7.
37. Kazhdan M, Hoppe H (2013) Screened Poisson surface reconstruction. *Assoc Comput Mach Trans Graph* 32(3):1–13. <https://doi.org/10.1145/2487228.2487237>.
38. Kirkitadze G, Elashvili M, Adikashvili L (2015) Use of photogrammetric method on earth sciences: example of Vardzia Museum Reserve. In: Proceedings of the 5th Associazione Italiana di Geografia Fisica e Geomorfologia National conference and the 6th young geomorphologists' day, Cagliari, Italy, 28–30 September 2015, Associazione Italiana di Geografia Fisica e Geomorfologia, Padova/Italy. <https://doi.org/10.13125/gfs-1905>.
39. Kirkitadze G, Basilaia G, Elashvili M, Adikashvili L, Asatiani G (2016) Photogrammetric technique in earth sciences, application from Vardzia rock-cut city complex study. In: Proceedings of the 16th international multidisciplinary scientific geoconference, Albena, Bulgaria, 28 June–6 July 2016, Surveying, Geology and Mining, Ecology and Management, Sofia, Bulgaria, 2nd ed, p 1059–1066. <https://doi.org/10.5593/SGEM2016/B22/S10.135>.
40. Kldiashvili D, Skhirtladze Z (2010) Gareji (RU: Гареджи/READ:Gareji). Orthodox encyclopedia edited by Patriarch Kirill of Moscow and all Russia (RU: Православная Энциклопедия под редакцией Патриарха Московского и всея Руси Кирилла/READ: Pravoslavnaya Entsiklopedia pod redaktsiyey Patriarkha Moskovskovo i vseya Rusi Kirilla), vol 10, ref. 161684. <https://www.pravenc.ru/text/161684.html>. Accessed 26 Sept 2021 (in Russian).
41. Kordzakhia M (1964) Climate type map of Georgia in the Atlas of the Georgian Soviet Socialist Republic. Main directorate of geodesy and cartography of the state geological committee of the USSR (RU: Главное управление геодезии и картографии государственного геологического комитета СССР/READ: Glavnoye upravlenie geodezii i kartografii gosudarstvenno geologicheskovo komiteta SSSR), Tbilisi/USSR, p 97–98 (in Georgian and Russian).
42. Korzhenkov AM, Vardanyan AA, Stakhovskaya RY (2017) Traces of an earthquake in the cave city of Vardzia (RU: Следы землетрясения в пещерном городе Вардзиа/READ: Slyedi zemlyetraseniya v peshernom gorode Vardzia). *Nature* (RU: Природа/READ: Priroda), vol 10, p 55–62. https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/434749/Sledy_zemletryaseniya_v_peshernom_gorode_Vardzia. Accessed 26 Sept 2021 (in Russian).
43. Leong KF, Chua CK, Ng YM (1996) A study of stereolithography file errors and repair. Part 1. Generic solution. *Int J Adv Manuf Technol* 12(6):407–414. <https://doi.org/10.1007/BF01186929>.
44. Margottini C, Benedetti AI, Sonnessa A, Spizzichino D (2012) Landslide risk assessment and implementation of a monitoring system for the conservation of Vardzia monastery, Georgia. *Ancient Art Today* 3:37–46 (in Georgian, English abstract).
45. Margottini C, Antidze N, Corominas J, Crosta GB, Frattini P, Gigli G, Giordan D, Iwasaky I, Lollino G, Manconi A, Marinos P, Scavia C, Sonnessa A, Spizzichino D, Vacheishvili N (2015a) Landslide hazard, monitoring and conservation strategy for the safeguard of Vardzia Byzantine monastery complex, Georgia. *Landslides* 12:193–204. <https://doi.org/10.1007/s10346-014-0548-z>.
46. Margottini C, Corominas J, Crosta GB, Frattini P, Gigli G, Iwasaky I, Lollino G, Marinos P, Scavia C, Sonnessa A, Spizzichino D, Giordan D (2015b) Landslide hazard assessment, monitoring and conservation of Vardzia Monastery complex. In: Lollino G, Giordan D, Marunteanu C, Christaras B, Yoshinori I, Margottini C (eds) *Engineering Geology for Society and Territory*, vol 8(51). Springer, Berlin, pp 293–297. https://doi.org/10.1007/978-3-319-09408-3_51.
47. Margottini C, Gigli G, Ruther H, Spizzichino D (2016a) Advances in geotechnical investigations and monitoring in rupestrian settlements inscribed in the UNESCO's World Heritage List. *Proc Earth Planet Sci* 16:35–51. <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2016a.10.005>.
48. Margottini C, Gigli G, Ruther H, Spizzichino D (2016b) Advances in sustainable conservation practices in rupestrian settlements inscribed in the UNESCO's World Heritage List. *Proc Earth Planet Sci* 16:52–60. <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2016.10.006>.
49. Margottini C, Spizzichino D (2020) Multidisciplinary survey and monitoring of the Gareji rock cut complex, the Monument of National Value and the relevant consultancy service. Internal report of the National Agency for Cultural Heritage Preservation of Georgia, ver. 1 (unpublished document).
50. Margottini C, Spizzichino D, Crosta GB, Frattini P, Mazzanti P, Mugnozsa GS, Beninati L (2016c) Rock fall instabilities and safety of visitors in the historic rock cut monastery of Vardzia (Georgia). In: Rotonda T, Cecconi M, Silvestri F, Tommasi P (eds) *Volcanic rocks and soils—proceedings of the international workshop on volcanic rocks and soils*, 1st ed, Ischia, Italy, 24–25 September 2016c, CRC Press, Boca Raton, USA, p 371–378.

51. Margottini C, Bobrowsky P, Gigli G, Ruther H, Spizzichino D, Vlcko J (2017) Rupestrian world heritage sites: instability investigation and sustainable. In: Sassa K, Mikoš M, Yin Y (eds) *Advancing culture of living with landslides—proceedings of the 4th world landslide forum*, Ljubljana, Slovenia, 29 May–2 June 2017, Springer, Cham, Switzerland, vol 1, p 23–50. https://doi.org/10.1007/978-3-319-59469-9_2.
52. Martinez AM, Kak AC (2001) PCA versus LDA. *Inst Electr Electron Eng Trans Pattern Anal Mach Intell* 23(2):228–233. <https://doi.org/10.1109/34.908974>.
53. MIDAS (2021) GTS NX online manual. http://manual.midasuser.com/EN_Common/GTS%20NX/310/GTS.htm. Accessed 26 Sept 2021.
54. Mumladze D, Lomidze N (2012) Climate type map of Georgia in the National Atlas of Georgia. *Kartografiya*, Tbilisi/Georgia, p. 47. (in Georgian).
55. NACHPG (National Agency for Cultural Heritage Preservation of Georgia) (2019) Point cloud processing and 3D/2D model implementation. Internal report of the National Agency for Cultural Heritage Preservation of Georgia, ver. 1 (unpublished document).
56. Obert L, Duvall WI (1967) *Rock Mechanics and the Design of Structures in Rock*. Wiley, New York.
57. Obert L, Duvall WI, Merrill RH (1960) Design of underground openings in competent rock. *Bull Bureau Mines* 587: IV & 36. https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc12741/m2/1/high_res_d/Bulletin0587.pdf. Accessed 20 Feb 2022.
58. Okrostsvardize A., Elashvili M., Popkhadze N., Kirkitadze G., 2016. New Data on the Geological Structure of the Vardzia Cave City. *Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences*, vol. 10(3), p. 98–106. (<http://science.org.ge/bnas/vol-10-3.html>, last accessed on 26 September 2021).
59. Shafiei A, Dusseault MB (2008) Geomechanical properties of a conglomerate from Iran. In: *Proceedings of the 42nd US rock mechanics symposium and 2nd US-Canada rock mechanics symposium*, San Francisco, USA, 29 June–2 July 2008, American Rock Mechanics Association, ARMA 08-053. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1722.7684>.
60. Spizzichino D, Boldini D, Frodella W, Elashvili M, Margottini C (2017). Landslide risk analysis and mitigation for the ancient rockcut city of Vardzia (Georgia). In: *Proceedings of the 2017 international programme on landslides symposium*, Paris, France, 29 November 2017, International Consortium on Landslides, Kyoto/Japan, p. 1–8. <http://iplhq.org/icl/wp-content/uploads/2017/12/2017-IPL-Symposium-Proceedings.pdf>. Accessed 26 Sept 2021.
61. Tielidze L, Gobejishvili R, Tsereteli D, Maruashvili L, Kumladze R (2019a) Eastern Georgia (Iveria) intermountain plain (Chapter 12). In: Tielidze L (ed) *Geomorphology of Georgia*, 1st edn. Springer, Cham, pp 205–223. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77764-1_12.
62. Tielidze L, Gobejishvili R, Tutberidze B, Maruashvili L, Astakhov N, Wheate R (2019b) Long-term geomorphic history of Georgia (Chapter 1). In: Tielidze L (ed) *Geomorphology of Georgia*, 1st edn. Springer, Cham, pp 3–14. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77764-1_1.
63. Tielidze L, Trapaidze V, Matchavariani L, Wheate R (2019c) Climate, hydrography, and soils of Georgia (Chapter 2). In: Tielidze L (ed) *Geomorphology of Georgia*, 1st edn. Springer, Cham, pp 15–34. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77764-1_2.
64. Tsereteli D (1964) Quaternary sediment map of Georgia in the Atlas of the Georgian Soviet Socialist Republic. Main directorate of geodesy and cartography of the state geological committee of the USSR (RU: Главное управление геодезии и картографии государственного геологического комитета СССР / READ: Glavnoye upravlenie geodezii i kartografii gosudarstvennogo geologicheskovo komiteta SSSR), Tbilisi/USSR, p 33–34 (in Georgian & Russian).
65. UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) (2021). Vardzia-Khertvisi, ref. 5236. <https://whc.unesco.org/en/tentativelists/5236/>. Accessed 26 Sept 2021.



Телеграм-канал журнала

Независимый электронный журнал

ГеоИнфо

- Новости
- Статьи
- Обсуждения



АО «МОСТДОРГЕОТРЕСТ»

ГЕОТЕХНИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ

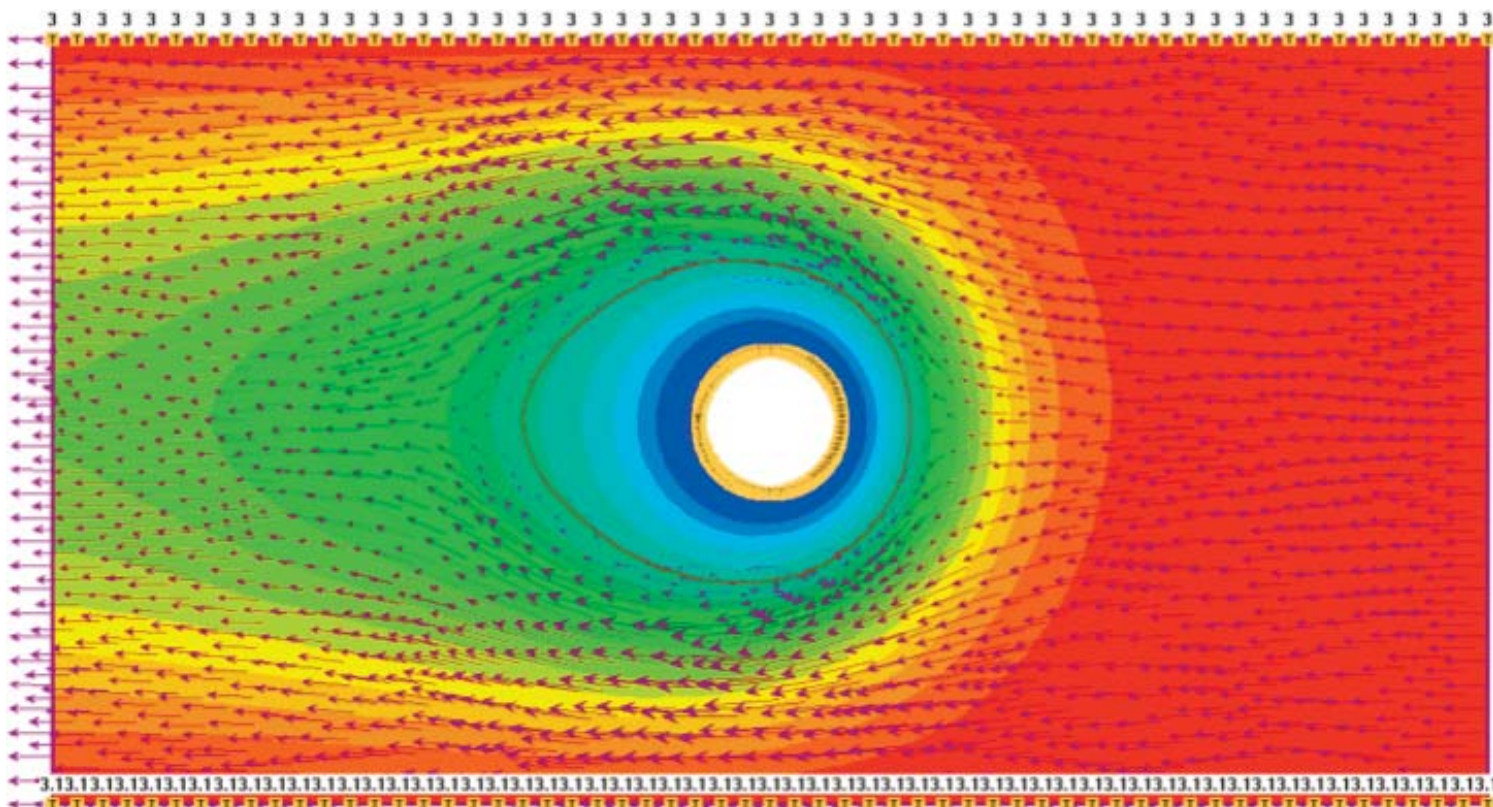
Лаборатория оснащена отечественным и зарубежным оборудованием последнего поколения по всем направлениям деятельности лаборатории: испытания дисперсных, скальных, мерзлых грунтов и геокомпозитов.

На постоянной основе работают курсы повышения квалификации для экспертов в области геотехники.

Организован постоянный доступ супервайзеров и общедоступная онлайн трансляция работы лаборатории на портале Геоинфо и сайте лаборатории.



MDGT.RU



ВВЕДЕНИЕ В ПРОГРАММУ ROSCIENCE RS2 МОДУЛЯ ДЛЯ ТЕПЛОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА

ВАСИН МИХАИЛ ВАСИЛЬЕВИЧ
Обозреватель

**ООО «СОВРЕМЕННЫЕ
ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»
(ADVANCED SURVEY
TECHNOLOGIES) – ОФИЦИАЛЬНЫЙ
ПРЕДСТАВИТЕЛЬ КОМПАНИИ
ROSCIENCE В РОССИИ**
info@geoast.pro

Компания Rocscience, основанная в 1996 году на базе Университета Торонто в Канаде, является одним из мировых лидеров по разработке, усовершенствованию и распространению 2D и 3D программного обеспечения для инженеров-строителей, горных инженеров, инженеров-геологов и геотехников. На сайте этой компании не так давно появилась заметка «Введение в программу Rocscience RS2 модуля для теплового моделирования и анализа» [2]. Предлагаем вниманию читателей адаптированный перевод этой заметки с привлечением дополнительных материалов [1, 3–6].

Консультационную помощь редакции оказали сотрудники ООО «Современные Изыскательские Технологии» – официального представителя компании Rocscience в России.

INTRODUCING THERMAL MODULE IN RS2

VASIN MIKHAIL VASILYEVICH
Analyst

ADVANCED SURVEY TECHNOLOGIES
LLC – AN OFFICIAL REPRESENTATIVE
OF THE ROCSCIENCE COMPANY IN
RUSSIA
info@geoast.pro

The Rocscience company, which was founded in 1996 at the University of Toronto in Canada, is among leading developers and distributors of 2D and 3D software for civil engineers, mining engineers, engineering geologists and geotechnical engineers in the world. Not so long ago, the website of this company published the note “Introducing Thermal Module in RS2” [2]. We bring to the attention of the readers an adapted translation of this note with the involvement of some additional information [1, 3–6].

The editorial staff was consulted by the employees of LLC “Advanced Survey Technologies” that is an official representative of the Rocscience company in Russia.

Введение ▶

RS2 представляет собой одну из флагманских геотехнических программ от компании Rocscience. Это универсальный программный комплекс для 2D моделирования и анализа напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов, который может использоваться при подземных горных работах, для проектирования тоннелей, карьеров, котлованов и фундаментов, а также систем их крепления, для оценки устойчивости склонов и пр. [3, 4]. Теперь он (в дополнение к вероятностным расчетам, анализу консолидации, совмещенным стационарным и нестационарным гидромеханическим расчетам, в том числе с использованием модели Viot,

усовершенствованному динамическому анализу. – *Ред.*) способен выполнять и теплофизические расчеты [2].

Модуль для теплового моделирования и анализа Thermal Module программы RS2 (далее – термический модуль) – это новая функция, предназначенная для двумерного моделирования и анализа теплового состояния различных геотехнических сооружений с использованием метода конечных элементов. В этом модуле также поддерживается совмещенный анализ термогидромеханических взаимодействий. Термический модуль позволяет моделировать статическую температуру и теплопередачу, а также определять тепловые свойства конструктивных элементов.

В программе RS2 предусмотрены различные типы тепловых граничных условий, включая условия с термосифонной системой (например, для моделирования термостабилизаторов. – *Ред.*), границы с теплоизоляцией и условия конвективного теплообмена. При использовании нового модуля по результатам анализа модели можно оценить температурную деформацию и устойчивость геотехнического сооружения (рис. 1).

Применение термического модуля ▶

Термический модуль программного комплекса RS2 можно использовать для моделирования поведения объекта при различных тепловых режимах, например

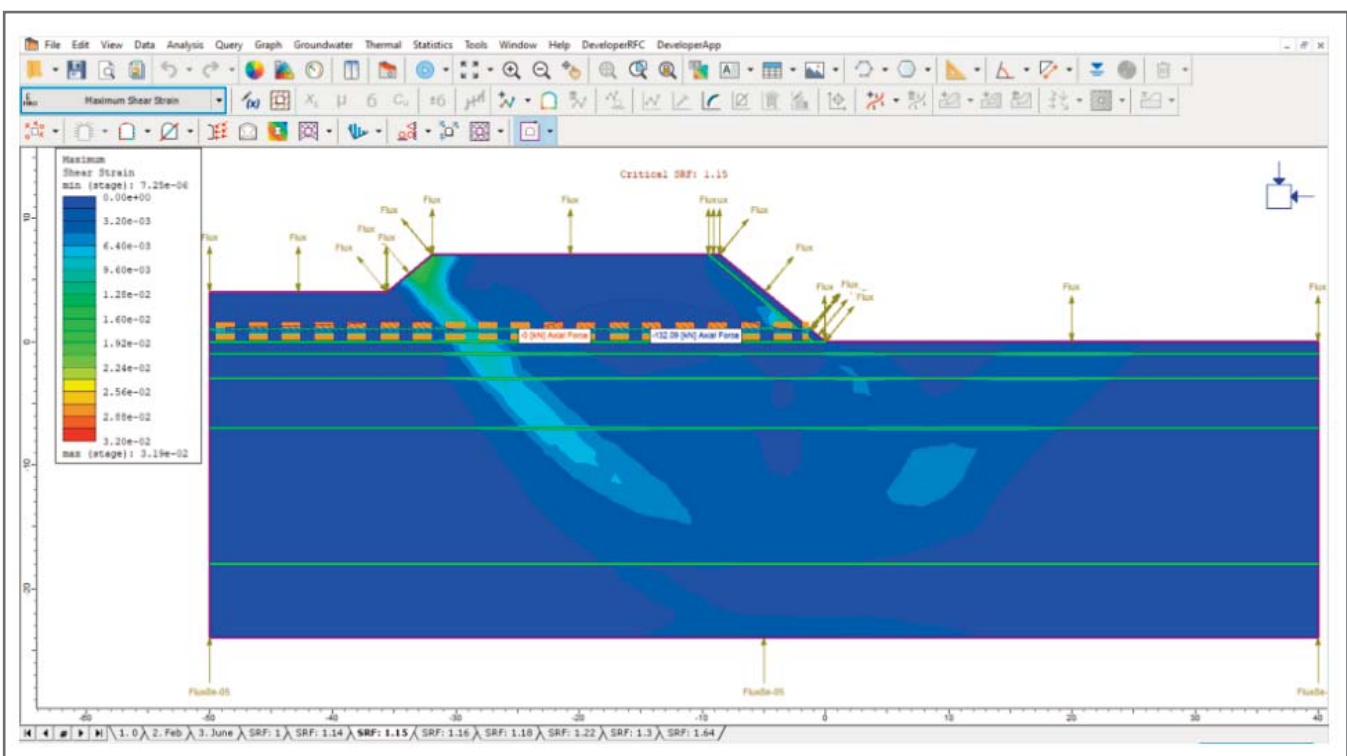


Рис. 1. Результаты анализа устойчивости откосов модели насыпи в программе RS2 с использованием термического модуля (Thermal Module)

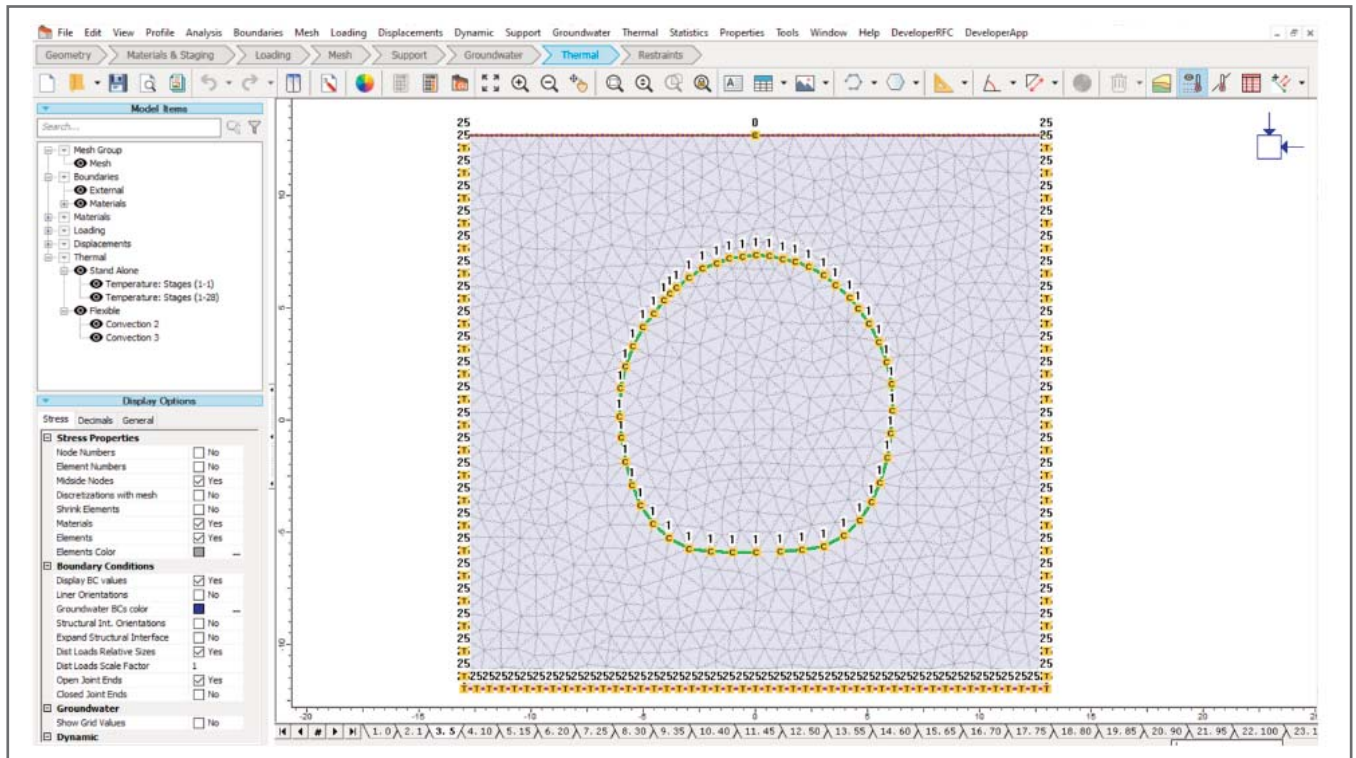


Рис. 2. Применение термического модуля программы RS2 при анализе искусственного промораживания грунтов при строительстве тоннелей

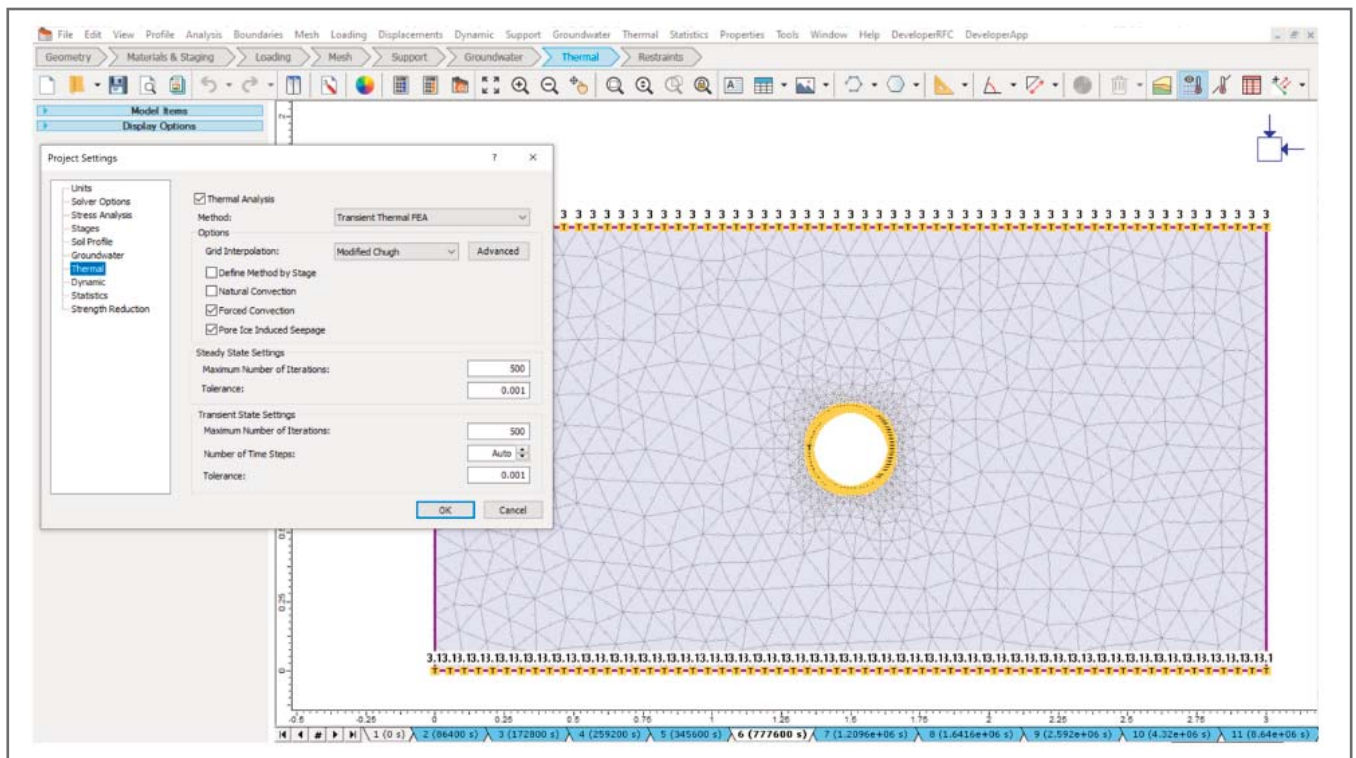


Рис. 3 Моделирование эффектов потока подземных вод вокруг замерзающей трубы в условиях принудительной конвекции и фильтрации, вызванной поровым льдом, с использованием термического метода

для моделирования устойчивости грунта при его искусственном промораживании, тепловых расчетов геоконструкций при использовании теплоизоляции для предотвращения промерзания грунта или при использовании термостабилизаторов для предотвращения оттаивания

грунта, анализа воздействия сезонных изменений на расход воды, влияния изменений температуры на результаты геотехнических расчетов из-за теплового расширения/сжатия и т. д. [2]. Читатели могут ознакомиться с другими примерами и верификационными моделями с ис-

пользованием термического модуля программы RS2 в сборнике [5] и в руководстве [7] компании Rocscience.

Термические методы ▶

Помимо решения статической задачи с использованием метода конечных

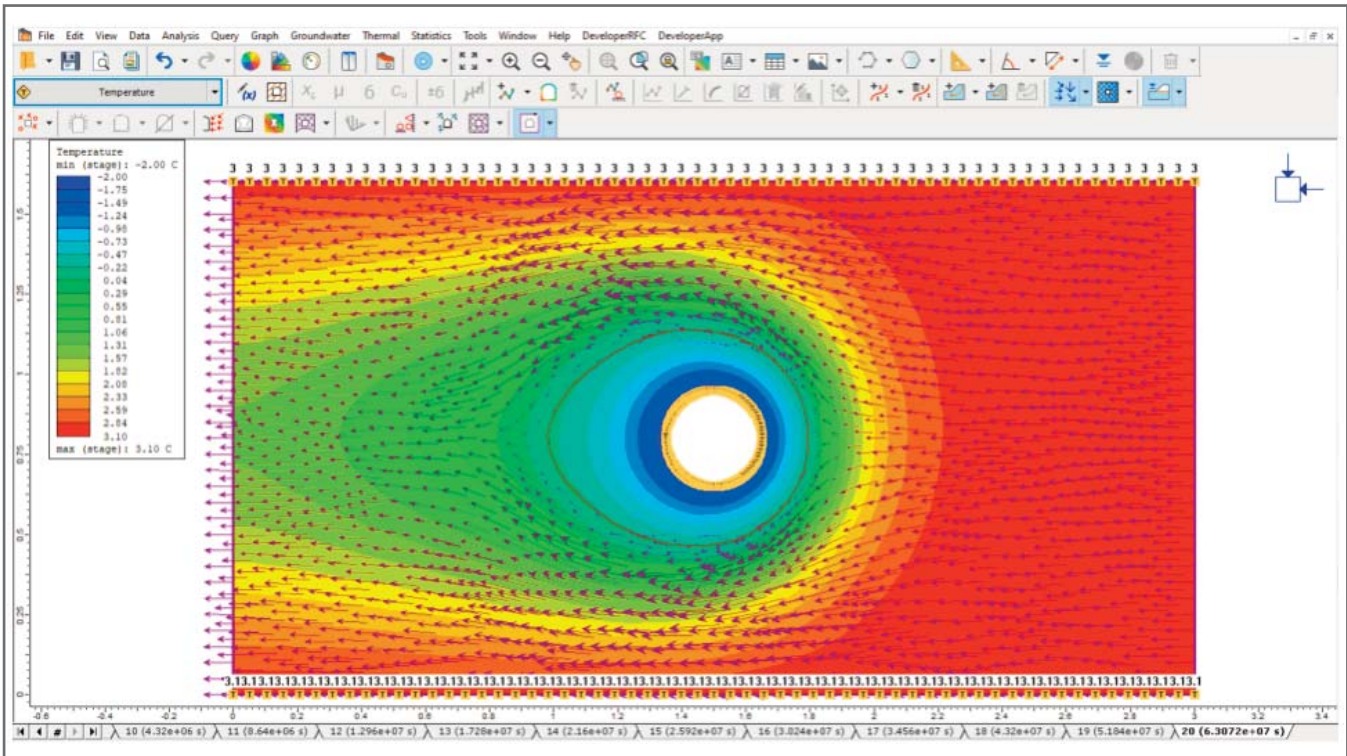


Рис. 4. Результат использования термического метода при моделировании. Влияние потока подземных вод вокруг замерзающей трубы в условиях принудительной конвекции и фильтрации, вызванной поровым льдом

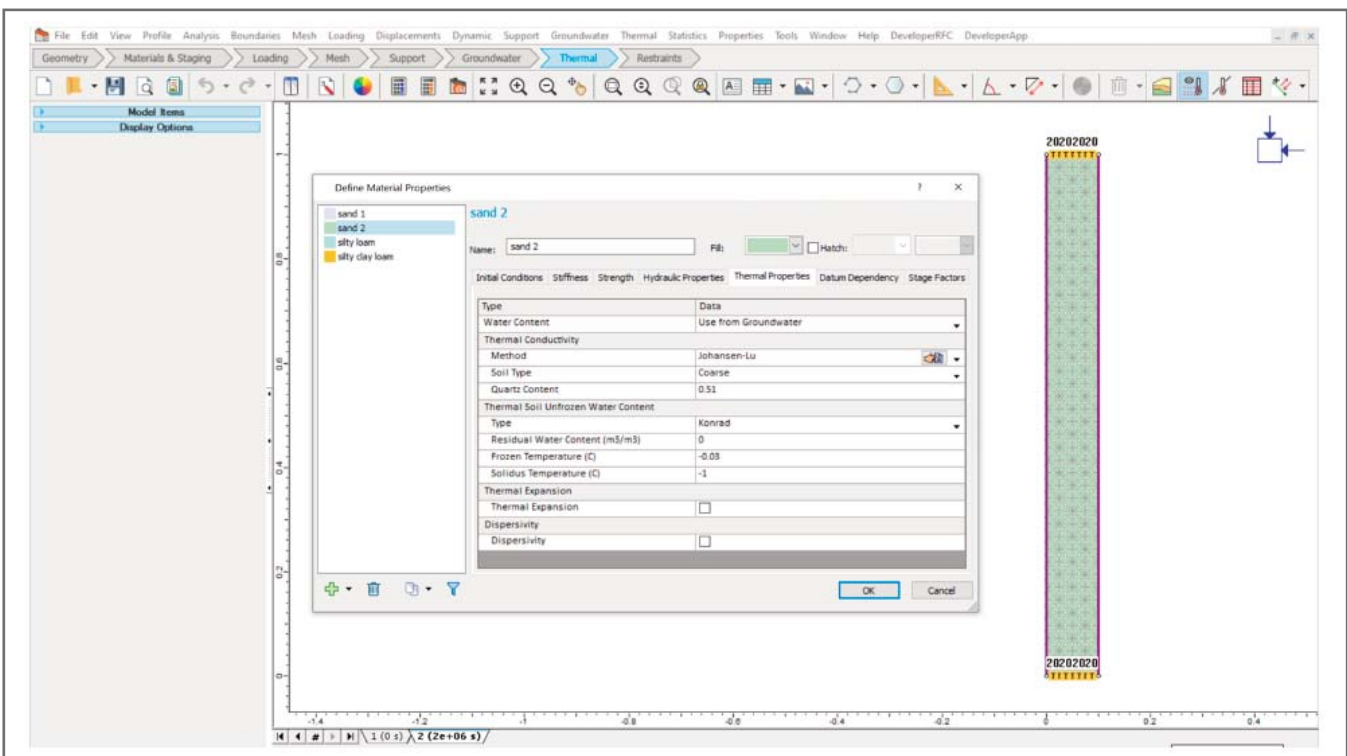


Рис. 5. Тепловые свойства материалов

элементов можно моделировать как установившиеся, так и не установившиеся тепловые потоки. Кроме того, для анализа термогидромеханических взаимодействий доступно моделирование механизмов естественной конвекции, принудительной конвекции и эффекта фильтрации, вызванной поровым льдом

(рис. 3, 4). (Указанный эффект учитывает дополнительное всасывание сверх существующего порового давления из-за изменений температуры. Фильтрация, вызванная поровым льдом, влияет только на гидравлические модели с ненасыщенным поведением. – *Ред.*). Также в процессе моделирования можно

учитывать тепловое расширение и термическую дисперсию [2].

Тепловые свойства материалов ►

Тепловые свойства материалов в программе RS2 могут быть определены с помощью разных расчетных моделей в сочетании с учетом параметров грун-

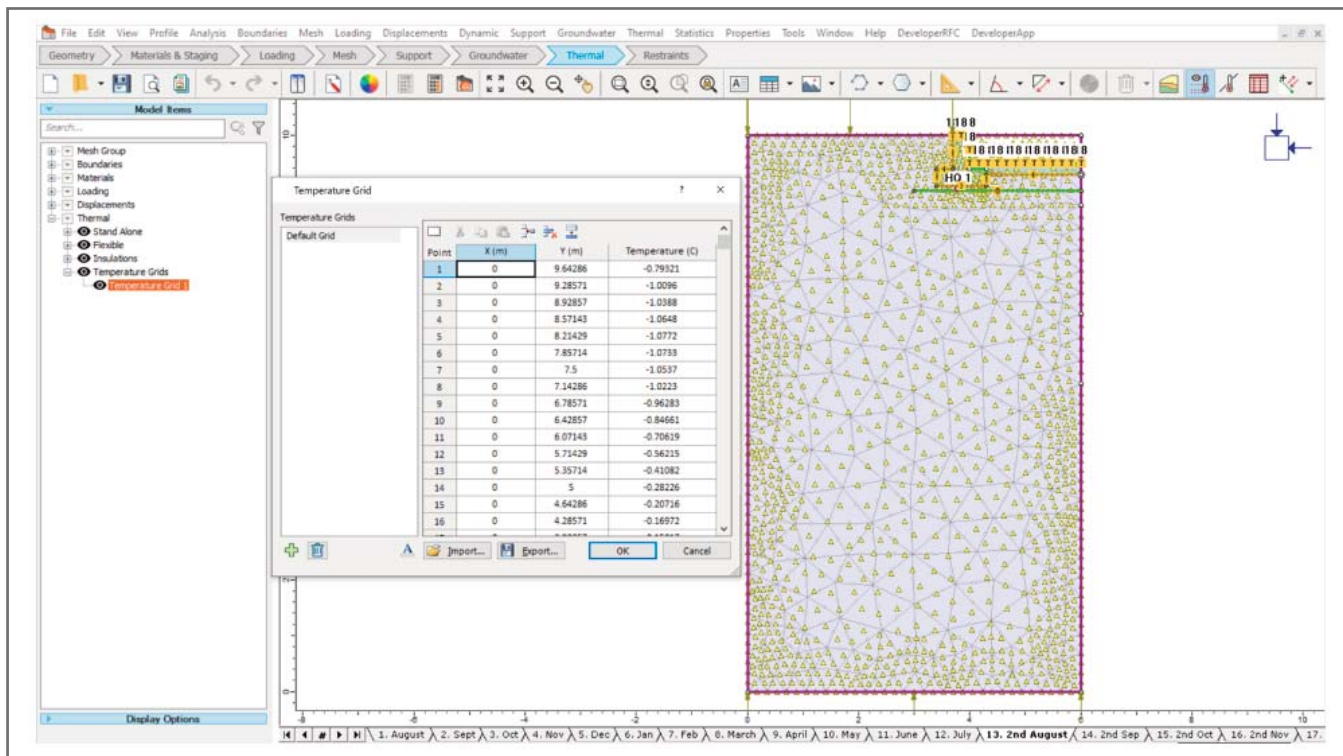


Рис. 6. Модель с температурной сеткой (углы ее ячеек показаны мелкими желтыми треугольниками)

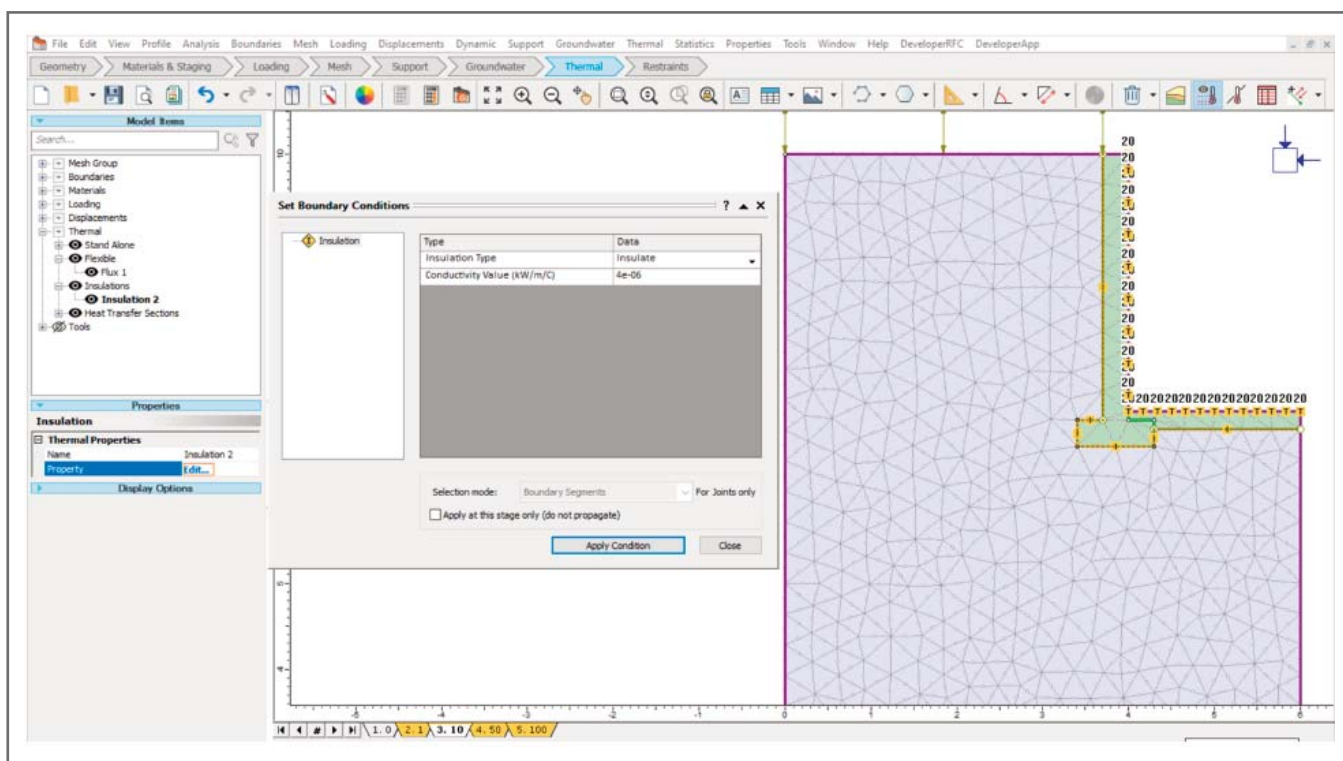


Рис. 7. Моделирование теплопереноса для теплоизолированной стены с использованием граничного условия теплоизоляции в программе RS2

товых вод (и степени водонасыщения грунтов. – *Ped.*) (рис. 5). Основные тепловые свойства включают начальный температурный режим, содержание воды (влажность), теплопроводность, теплоемкость, содержание незамерзшей воды в грунте, тепловое расширение и термическую дисперсию [2].

(В RS2 может быть использовано шесть методов определения теплопроводности. Она может быть определена:

- 1) как константа;
- 2) методом Йохансена (Johansen, 1977);
- 3) методом Йохансена – Лу (Johansen-Lu, 1977);

4) методом Де Вриса (De Vries) (Faruqi, 1981);

5) методом Коте и Конрада (Cote and Konrad, 2005)

5) или задана пользователем с помощью набора точек данных.

При выполнении нестационарных расчетов в теплофизической модели

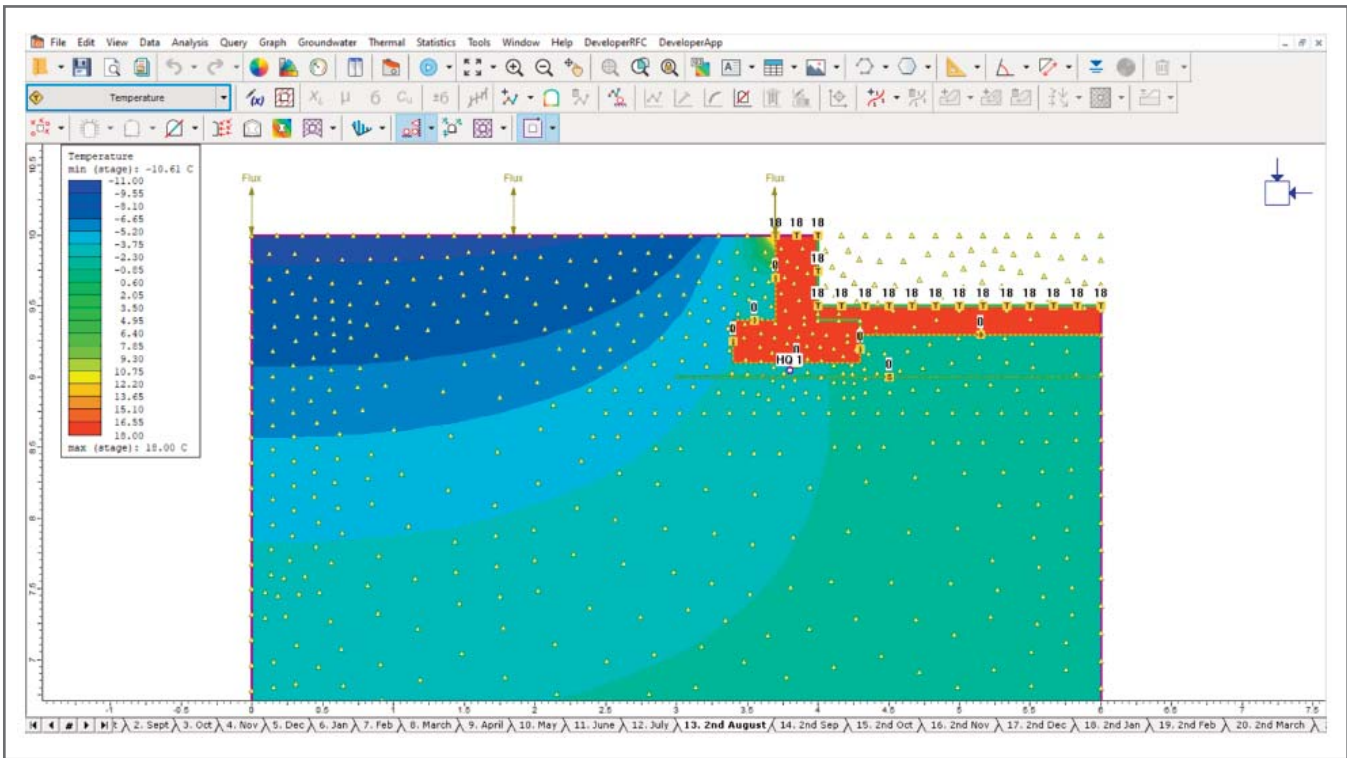


Рис. 8. Изолинии температуры (с использованием цветовой шкалы) вмещающего грунта и сооружения с термосифонной системой, установленной в фундаменте

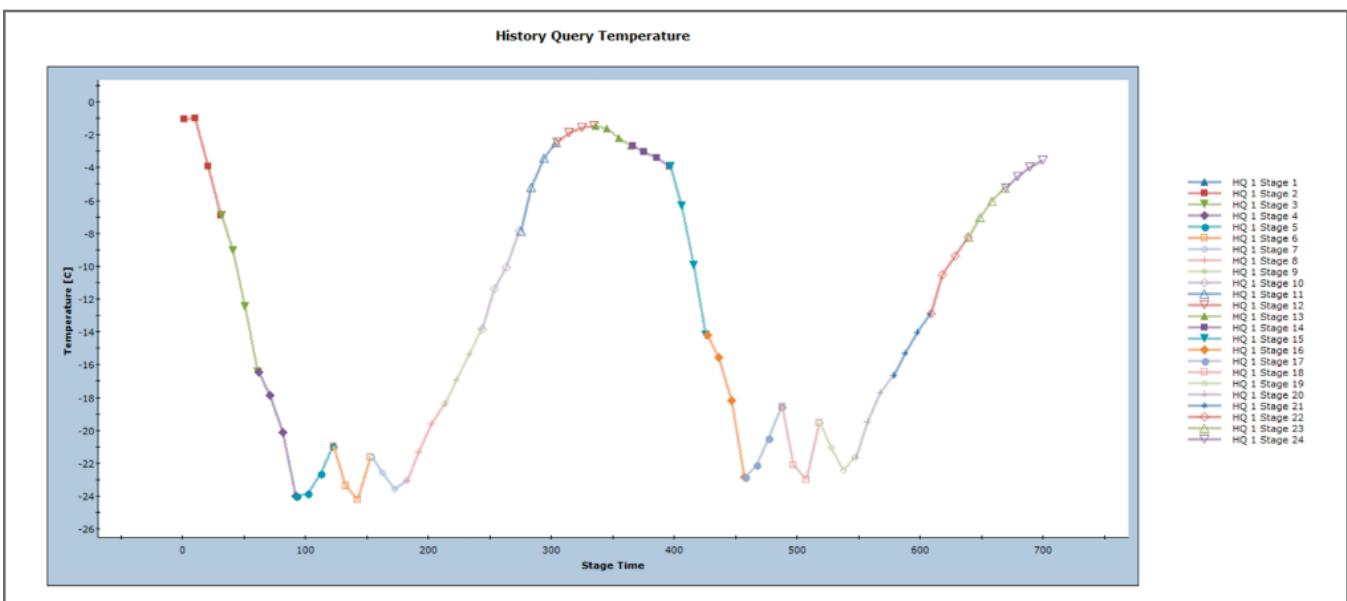


Рис. 9. Изменения температуры в точке во времени

должна быть определена объемная теплоемкость. В RS2 доступно три способа задания данного параметра:

- 1) в виде постоянной теплоемкости;
- 2) определенного на основе метода Джаме Ньюмана (Jame Newman);
- 3) заданного пользователем. – Ped.)

Моделирование начальных условий ▶

Начальные условия можно определить как статическое распределение температуры в рамках геометрии модели,

введя точки сетки с указанием их температуры. Для моделирования теплового потока в модели можно использовать различные сечения теплопередачи с заданной скоростью теплового потока [2].

Граничные условия ▶

Граничные условия имеют решающее значение при выполнении теплофизических расчетов методом конечных элементов. Программа RS2 не только позволяет определять обычные граничные условия (например, для темпе-

ратуры, плотности потока (flux), узловой плотности потока (nodal flux)), но также может использоваться при моделировании более сложных случаев, например граничных условий конвекции для моделирования поверхностей, подверженных конвективному теплообмену, граничных условий термосифона для моделирования термостабилизирующих систем, граничных условий теплоизоляции для добавления теплопроводности между структурным элементом и телом объекта (рис. 7) [2].

Интерпретация результатов ▶

Важным элементом моделирования является возможность легкой визуализации и интерпретации результатов. В программе RS2 температура, поток, градиент, проводимость, удельная теплоемкость и содержание незамерзшей воды могут отображаться в модели в виде изолиний с использованием цветовой шкалы (рис. 8). Для просмотра истории тепловых данных для конкретной точки можно построить графики изменений температуры (рис. 9), потока и градиента во времени. Также с помощью линий

можно показать направления тепловых потоков [2].

Дополнительные сведения о термическом модуле (Thermal Module) программы RS2 можно найти в соответствующем руководстве [6]. С дополнительными инструкциями по тепловым моделям можно ознакомиться в «Руководстве пользователя RS2» [8].

Как получить RS2 с термическим модулем? ▶

Новая версия программного комплекса RS2 с термическим модулем

теперь доступна для желающих. (Все пользователи RS2 с действующей подпиской на техническое обслуживание (Maintenance+) могут получить модуль теплофизического анализа абсолютно бесплатно, просто обновив программу RS2 до последней версии. – *Ред.*)

Потенциальные пользователи программы RS2 с термическим модулем могут больше узнать о ее возможностях на сайте компании Rocscience [4] или воспользоваться бесплатной 15-дневной пробной версией [1]. **и**

Источники ▶

1. Get your free trial. RS2 // Rocscience. August 25, 2022. URL: rocscience.com/learning/introducing-thermal-module-in-rs2.
2. Introducing Thermal Module in RS2. August 25, 2022. URL: rocscience.com/learning/introducing-thermal-module-in-rs2.
3. RS2 // Advanced Survey Technologies (ООО «Современные изыскательские технологии»). 2022. URL: geoast.pro/rs2.
4. RS2 // Rocscience. 2022. URL: rocscience.com/software/rs2.
5. RS2. Thermal Analysis. Examples // Rocscience. 2022. URL: static.rocscience.cloud/assets/verification-and-theory/RS2/RS2_Thermal_Analysis_Examples.pdf.
6. RS2. Thermal Analysis. Theory Manual // Rocscience. 2022. URL: static.rocscience.cloud/assets/verification-and-theory/RS2/RS2_Thermal_Theory_Manual.pdf.
7. RS2. Thermal Analysis. Verification Manual // Rocscience. 2022. URL: static.rocscience.cloud/assets/verification-and-theory/RS2/Thermal-Analysis-Verification-Manual.pdf.
8. Thermal analysis overview // RS2 User Guide. Rocscience, 2022. URL: rocscience.com/help/rs2/documentation/rs2-model/thermal/thermal-analysis-overview.

Независимый электронный журнал ГеоИнфо

С 2022 года журнал «ГеоИнфо»
будет выходить ежемесячно
в формате *PDF.



WWW.GEOINFO.RU

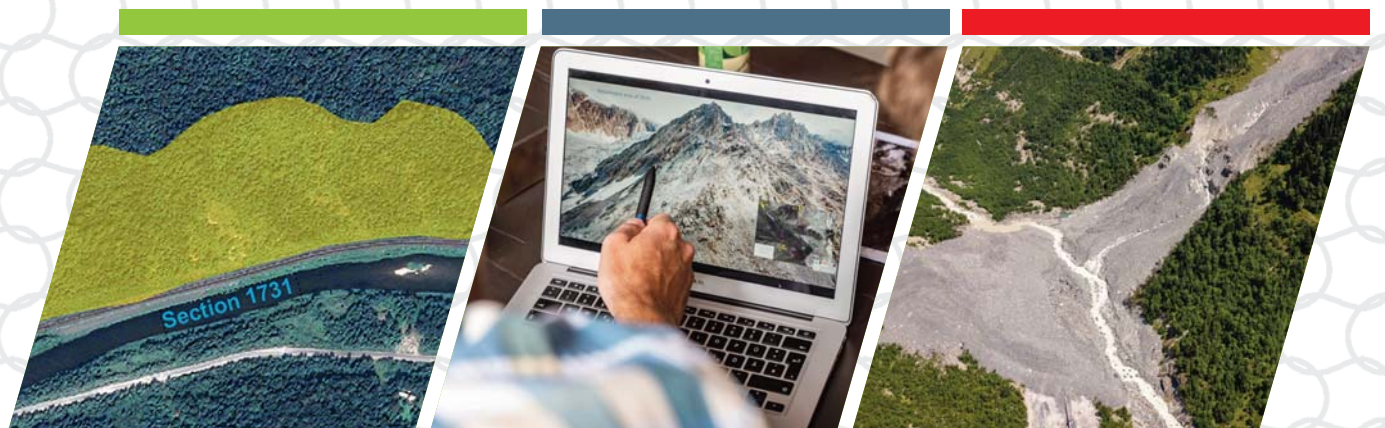


Mountain
Risk
Consultancy

ЗАЩИТА ОТ ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ И СНИЖЕНИЕ РИСКОВ ПОСЛЕДСТВИЙ КАТАСТРОФ



- РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ
- КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЙ
- ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ И КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ ЗОНИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ
- ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ
- РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ РАННЕГО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И МОНИТОРИНГ



Skype: Mountain Risk Consultancy
E-Mail: office@mountain-risk.ru
<https://www.mountain-risk.ru>





МОНИТОРИНГ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ РАСПРЕДЕЛЕННОГО РЕЕСТРА (DLT)

ХРИСТОВА ТЕОДОРА

Горно-геологический университет имени св. Ивана Рильского, г. София, Болгария
teodora@mgu.bg

МИТЕВ ИВАН

Софийский горно-геологический университет имени св. Ивана Рильского, г. София, Болгария

БАЛЕВ ВЕСЕЛИН

Софийский горно-геологический университет имени св. Ивана Рильского, г. София, Болгария

Предлагаем вниманию читателей немного сокращенный адаптированный перевод доклада болгарских специалистов Теодоры Христовой, Ивана Митева и Веселина Балева «Мониторинг геотехнических объектов с помощью технологии распределенного реестра (DLT)». Он был сделан в 2021 году на 3-й Международной конференции «Новое в науке и практике горного дела» (Essays of Mining Science and Practice). Эта работа опубликована в сборнике материалов конференций Earth and Environmental Science («Науки о Земле и окружающей среде») издательской компанией IOP Publishing британского научного общества IOP (Institute of Physics – «Институт физики»), ставшего фактически международным. Указанный доклад находится в открытом доступе и распространяется по лицензии Creative Commons Attribution 3.0, которая позволяет переводить, адаптировать и использовать эту работу в любых целях при указании ссылки на первоисточник и типа изменений. В нашем случае ссылка приводится в конце перевода.

В данной публикации излагаются цели геотехнического мониторинга карьера и обсуждаются основные методы измерений. Для мониторинга и обмена данными по состоянию бортов и ступеней карьера между горнодобывающей компанией, ответственными учреждениями и регулирующими органами было рекомендовано использование технологии распределенного реестра (DLT, Distributed Ledger Technology). Было выбрано применение частной системы DLT, потому что конфиденциальные корпоративные данные используются вовлеченными сторонами, находящимися в разных местах. Была предложена концептуальная модель коммуникаций между участниками. Было установлено, что существует возможность утечки персональных данных, что не будет отвечать требованиям серии директив Европейского Союза, называемой «Общим регламентом по защите данных» (GDPR, General Data Protection Regulation).

MONITORING OF GEOTECHNICAL FACILITIES THROUGH DLT SOLUTION

HRISTOVA TEODORA

University of Mining and Geology
"St. Ivan Rilski", Studentski Grad,
"prof. Boyan Kamenov" Street, 1, Sofia,
1700, Bulgaria
teodora@mgu.bg

MITEV IVAN

University of Mining and Geology
"St. Ivan Rilski", Studentski Grad,
"prof. Boyan Kamenov" Street, 1, Sofia,
1700, Bulgaria

BALEV VESELIN

University of Mining and Geology
"St. Ivan Rilski", Studentski Grad,
"prof. Boyan Kamenov" Street, 1, Sofia,
1700, Bulgaria

We bring to the attention of the readers a slightly reduced and adapted translation of the report of the Bulgarian specialists (Teodora Hristova, Ivan Mitev and Veselin Balev). This report named "Monitoring of geotechnical facilities through DLT solution" was made in 2021 at the 3rd International Conference "Essays of Mining Science and Practice". This work was published in the IOP Conference Series "Earth and Environmental Science" by the publishing company "IOP Publishing" of the British scientific society "Institute of Physics" (IOP), which has become actually international. This is an open access report. It is distributed under the Creative Commons Attribution 3.0 license, which allows you to translate, adapt and use this work for any purpose if the source reference and types of changes are indicated. In our case, the source reference is provided at the end of the translation.

The article states the objectives of geotechnical monitoring in an open cast mine and discusses the main measurement methods. Distributed ledger technology (DLT) is recommended for monitoring and sharing data on the condition of the mine slopes between private and public organizations. Private DLT implementation is chosen because confidential corporate data is shared. A conceptual model for communication among the Mining Company, the responsible institutions and regulatory authorities has been suggested. It has been established that there is a possibility of leakage of personal data (that does not meet the requirements of the GDPR (General Data Protection Regulation) of the European Union).

ВВЕДЕНИЕ ►

В горнодобывающей промышленности одной из наиболее рискованных с точки зрения охраны труда задач геотехники является создание соответствующих сооружений и обеспечение безопасных условий их эксплуатации [1]. При горных работах для оценки поведения этих сооружений при воздействии природных процессов и явлений во время строительства и эксплуатации применяется геотехнический мониторинг: измерение смещений, трещин и других признаков развития оползней, уровней воды и т. д. на основе данных от множества датчиков – как поверхностных, так и встроенных в массив грунта (последние измеряют изменения на разной глубине от поверхности в течение более длительных периодов времени) [1].

В наше время цифровизация имеет тенденцию к подключению устройств беспроводных сенсорных сетей (WSN, Wireless Sensor Network) к так называемому Интернету вещей (IoT, Internet of Things – системе взаимосвязанных устройств, которые могут собирать данные, обрабатывать их и обмениваться ими между собой, с человеком и серверами. – *Ред.*) для реального мониторинга процессов при низком энергопотреблении, высокой рентабельности и стабильности [2].

Системы WSN и IoT основаны на новейших лазерных или ультразвуковых технологиях и могут проводить измерения с точностью до нескольких миллиметров или выше. Однако пренебрежение источниками погрешностей (такими как температурная зависимость датчика, наклон и ориентация используемой призмы, препятствия и отражения измерительного луча и его преломление в зависимости от погодных условий) может привести к накоплению ошибок в несколько миллиметров или даже сантиметров [3]. Интеллектуальные системы передачи данных не имеют функции исправления ошибок или анализа качества восстановительных работ после регистрации нарушений. Необходимо модернизировать такие цифровые системы с помощью технологии неизменяемого обмена и записи измеренных данных, позволяющей исправлять ошибки после анализа. Обсуждение этой темы и является целью данной статьи.

МЕТОДЫ ►

В статье рассматриваются методы геотехнического обследования бортов и ступеней карьера. Анализируются коммуникации между горнодобывающей компанией, регулирующими органами и пр. (далее – вовлеченными сторонами, сетевыми партнерами) при начале развития оползней и в том числе обва-

лов в карьере, иногда затрагивающих также объекты региональной или национальной инфраструктуры. Исходя из необходимости неизменяемой и безопасной передачи данных между сетевыми партнерами предлагается использование технологии распределенного реестра (DLT, Distributed Ledger Technology). Дается краткое описание сути этой технологии. Предлагается концептуальная модель, показывающая поток данных геотехнического мониторинга карьера при измеренных параметрах за пределами и в пределах нормативных значений.

ПОСТРОЕНИЕ СЕТИ ►

В горнодобывающей деятельности объектами геотехнического мониторинга могут быть горные выработки, тоннели, стенки плотин, пилотные конструкции, подпорные стенки, трубопроводы, массивы грунтов, пещеры и др. В рассматриваемом в данной статье случае для выявления деформаций проводился мониторинг бортов и ступеней карьера, вырабатываемого в массиве скальных пород, с помощью соответствующих датчиков.

Геотехнический мониторинг в процессе горных работ ►

На рисунке 1 представлены фотографии рассматриваемого карьера и скаль-



Рис. 1. Фотографии рассматриваемого карьера (а) и скального склона над проходящей в непосредственной близости автомагистралью национальной дорожной сети (б)

ного склона над проходящей в непосредственной близости автомагистрали национальной дорожной сети.

Существует ряд методов мониторинга смещений в бортах и ступенях карьеров. Некоторые из этих методов являются низкотехнологичными и основаны на наблюдениях специалистов, прошедших подготовку в области геотехнических опасностей. Если они обнаруживают проблемы, то сразу сообщают о них.

Другие методы являются более современными и включают использование сложных измерительных систем емкостных, омических и пьезометрических датчиков (таких как пьезометрические трубки, датчики уровня воды, расходомеры, тензометры, устройства для измерения вертикальных и горизонтальных смещений, инклинометры, термометры и др.).

Существуют также весьма высокотехнологичные приборы, работа которых основана на использовании лазерных, ультразвуковых излучений и пр., такие как сканирующие лазерные дальнометры (лидары, LiDAR), интерферометрические радары с синтетической апертурой (InSAR), воздушные лазерные сканеры (ALS), наземные лазерные сканеры (TLS) и др. [3]. Эти высокотехнологичные устройства становятся все более популярными и доступными для любого бизнеса.

Недостатком всех датчиков (даже самых современных, например лидаров) является накопление ошибок из-за температурных аномалий, наличия пыли и/или воды.

При сканировании цифровые измерительные системы предоставляют: графики и отчеты в реальном времени о статистических характеристиках (таких как среднее значение, дисперсия, кумулятивное среднее и т. д.), расчеты виртуальных датчиков (сложных математических моделей с использованием статистик датчиков), результаты автоматической регистрации событий, журналы регистрации данных, аварийные и предупреждающие сигналы на основе специальных программных продуктов. Аварийные и предупреждающие сигналы предназначены для передачи сообщений с требуемой скоростью с помощью SMS и электронных писем, для запуска новой записи, для восстановления исходного состояния системы и автоматического переключения управления освещением, клапанами, насосами и т. д. Данные записываются с помощью кодов событий (метаданных). Ошибки исправляются используемым программным обеспечением.

Деятельность геотехнического отдела горнодобывающей компании включает периодическую отправку отчетов об измерениях в регулирующие органы, такие как Управление концессий Министерства энергетики, Министерство регионального развития и благоустройства, Министерство окружающей среды и водных ресурсов (Болгария). Если измеренные значения превышают допустимые, что указывает на начало развития оползней или обрушения бортов, то объявляется чрезвычайная ситуация. Это означает остановку работ, оповещение ремонтных бригад и ответственных

государственных учреждений, сбор специалистов, начало принятия мер по усилению бортов и ступеней карьера с последующим контролем выполненных работ. Весь такой процесс измерений, уведомления и запуска принятия мер по усилению связан с процессами передачи информации и обменом конфиденциальными данными между горнодобывающим предприятием и головными учреждениями (такими как Министерство регионального развития и благоустройства, Министерство энергетики, Министерство окружающей среды и водных ресурсов, Агентство дорожной инфраструктуры Болгарии), специалистами компаний или образовательных и научно-исследовательских учреждений и пр. Кроме того, необходимо зарегистрировать накопившуюся погрешность измерений или отрицательные результаты некачественных ремонтно-восстановительных работ, установить их причины и принять адекватные меры по их устранению, но без «сваливания вины» на другое учреждение.

Для обеспечения безопасной, неизменной, прозрачной и своевременной передачи данных между вовлеченными сторонами с возможностью исправления ошибок предлагается технология распределенного реестра (DLT). Недоработанность этой относительно новой технологии не препятствует ее успешному внедрению в бизнес-сектор, приводящему к большим прибылям, но пока еще имеются сомнения в ее применимости в горнодобывающей промышленности [4]. Несмотря на это, доступность конфиденциальных данных и возможность их

модификации третьей стороной также удовлетворяют применимости моделей Моргена Пека (Morgen Peck) и А. Льюиса (A. Lewis) [5, 6, 7]. Необходимость использования DLT доказана на примере оползневых процессов, развивающихся на концессионной территории и в то же время воздействующих на объекты региональной инфраструктуры (такие как транспортная инфраструктура, линии электропередачи и др.).

Технология распределенного реестра (DLT) ►

Технология распределенного реестра (DLT) – это технология обмена данными без участия стороннего посредника [8]. Ее преимущества заключаются в невозможности изменить или запретить получение совместно используемых данных, в информационной безопасности, в отслеживаемости, надежности, прозрачности данных и во многом другом. Благодаря этому каждый участник сети DLT получает совместно используемые идентичные данные. Каждый из них подтверждает право своего участия, используя секретный ключ (private key). Синхронизация данных между узлами DLT осуществляется с помощью механизма консенсуса [9].

(Технология DLT – это относительно новая и еще развивающаяся технология хранения информации в электронной системе баз данных, распределенной между несколькими сетевыми узлами или устройствами при отсутствии единого управляющего узла. Поэтому она позволяет записывать и хранить информацию в сети DLT, которая одновременно является децентрализованной, поскольку данные хранятся на нескольких одноранговых серверах, и распределенной, а также прозрачной, поскольку эти сетевые узлы взаимосвязаны и взаимодействуют между собой. Основные особенности этой технологии: распределение копий цифровых данных по разным точкам, их совместное использование и синхронизация. Для обновления данных применяется автоматический алгоритм консенсуса: данные передаются по узлам, образующим сеть, дублируются на них и синхронизируются. То есть каждый узел самостоятельно обновляется, после чего все узлы «голосуют» за обновление реестра и достигают согласия, или консенсуса, в отношении одной из его копий. Каждое такое обновление защищается уникальной электронной подписью. Это обуславливает защищенность базы данных и при этом ее прозрачность. Подоб-

ные сети могут быть как частными, так и публичными, могут использоваться в самых разных сферах. Преимуществами DLT являются: прозрачность и при этом безопасность данных, осуществление контроля сети самими пользователями и распределение его по всей сети, автоматизация и эффективность благодаря отмене необходимости участия посредников, третьих лиц или центрального контролирующего органа (ru.beincrypto.com/learn/chto-takoe-tehnologiyaraspredelennogo-reestra/). – *Ред.*)

В рассматриваемом в данной статье случае выбор сети зависит от договорных отношений между вовлеченными сторонами. Эти отношения эмулируются так называемым умным контрактом. Сети DLT бывают трех основных типов – открытыми, частными и гибридными. Согласно правовой базе Болгарии и требованиям к хранению данных на уровне корпоративной безопасности сеть должна быть закрытой (частной), то есть использоваться в пределах ряда выбранных учреждений [10].

Чтобы реализовать сеть DLT, передаваемые данные (например, от лидера или портативных устройств) должны поступить в систему DLT в точке ввода. Это делается оператором с электронной подписью, который считывает, проверяет и подтверждает правильность информации. Результаты измерений датчиков передаются с их коммуникационных портов (USB, Bluetooth, RS232, RS485 или др.) на считывающее устройство оператора через дополнительно разработанный конвертер. Для этого требуется реализация «слоя», обеспечивающего interoperability (функциональную совместимость, возможность взаимодействия), что позволяет дополнительно включать в систему разные измерительные приборы, в том числе от разных производителей. Недостатком в этом случае является то, что идентификация с помощью цифрового сертификата может привести к утечке персональных данных оператора. Поэтому сетевые организации должны обеспечивать защиту данных в соответствии с серией директив Европейского Союза, называемой «Общим регламентом по защите данных» (GDPR, General Data Protection Regulation) [11]. Таким образом, тип DLT (Blockchain, Ethereum, Waltonchain, Hyperledger Fabric и т. д.) должен соответствовать требованиям этого регламента.

Работа сети ►

Результаты каждого измерения записываются в системе мониторинга. Когда

реализуется уровень функциональной совместимости, оператор считывает, проверяет, и пересылает данные после подтверждения цифровой идентификации. Верифицированные таким образом данные представляют собой отчеты, которые предоставляются в нормативно регламентированные сроки в Министерство окружающей среды и водных ресурсов, Управление концессий Министерства энергетики и Министерство регионального развития и благоустройства (Болгария). На рисунке 2 показана модель коммуникаций между вовлеченными сторонами, построенная с помощью унифицированного языка моделирования (UML, Unified Modeling Language) [12]. (UML – это графический язык моделирования для спецификации, визуализации, проектирования и документирования всех артефактов, создаваемых при разработке компьютерных программ. Но он не является языком программирования, хотя генерация кода и не возбраняется. Для моделей UML не определен способ их выполнения на компьютере. UML является сильно объектно-ориентированным языком. Он используется в основном для рисования схем, обмена информацией, спецификации систем, повторного использования модельных решений, генерации кода, имитационного моделирования систем, верификации моделей. Модель UML – это конечное множество структурных, поведенческих, группирующих, аннотационных «сущностей» и отношений между ними. Знание UML является необходимым, но не достаточным условием построения разумных моделей программных систем. Он используется с учетом особенностей реальных задач и инструментов. Элементы модели группируются в схемы и представления для наилучшего описания моделируемой системы с различных точек зрения (books.ifmo.ru/file/pdf/424.pdf). – *Ред.*)

При регистрации значений выше допустимых, что указывает на начало смещений в массиве грунта, оператор передает, удостоверяет и отправляет ответственным и регулирующим органам измеренные величины с помощью персонального ключа идентификации пользователя, проверенного уполномоченным лицом. Запускается процедура по эвакуации людей из горнодобывающего объекта и прекращению движения автомобильного транспорта в опасной зоне. Оператор электроснабжения должен быть уведомлен о необходимости прекращения подачи электроэнергии, если в этой зоне есть линия электропередачи



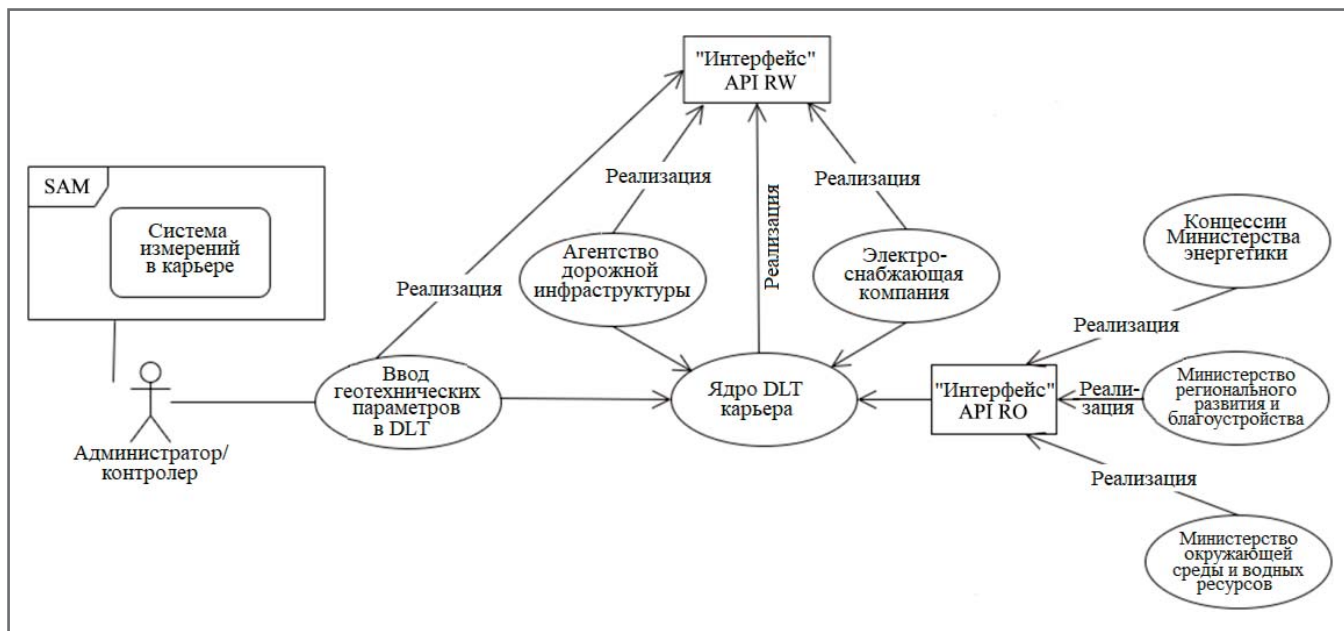


Рис. 2. Модель коммуникаций между вовлеченными сторонами, построенная с помощью унифицированного языка моделирования UML (Примечания: SAM – управление программными активами, то есть набор проверенных ИТ-практик, объединяющих людей, процессы и технологии для управления и оптимизации использования в компании программного обеспечения; API – описание способов взаимодействия одной компьютерной программы с другими, то есть программные компоненты в системе взаимодействуют друг с другом посредством API; RO – только для чтения; RW – для чтения и записи. – Ред.)

или оборудование, питаемое электричеством. Обе компании общаются через один и тот же интерфейс, имея право на чтение и запись, и сообщают о том, что предпримут соответствующие действия. Оператор электроснабжения подает сигнал о прекращении подачи электроэнергии в карьер и т. д. За остановку движения отвечает Агентство дорожной инфраструктуры [7].

В рамках собственной деятельности горнодобывающая компания уведомляет ремонтную и аварийную службы о принятии мер по усилению оползневой зоны. Это не показано на рисунке 2, поскольку касается связи между подразделениями внутри компании, для которой требуется отдельный конфиденциальный канал.

После завершения мероприятий по усилению или восстановлению нарушенных частей грунтового массива или инфраструктуры карьера и прилегающих зон, а также по контролю выполненных работ горнодобывающая компания через интерфейс подает запрос оператору электроснабжения на возобновление подачи электроэнергии и запрос в Агентство дорожной инфраструктуры на восстановления движения транспорта по отремонтированной и защищенной дороге.

По мере продвижения горнодобывающих работ и последующих изменений контуров карьера и отвалов соответствующая информация также дово-

дится до сведения соответствующих ведомств.

Заключение

Для предотвращения фатальных несчастных случаев в горнодобывающей промышленности методы геотехнического мониторинга нуждаются в дальнейшем совершенствовании и расширении использования. Каждый карьер имеет уникальные инженерно-геологические условия и поэтому требует комбинаторного подхода к мониторингу. Модернизация системы мониторинга с помощью технологии распределенного реестра (DLT) обеспечивает надежный обмен данными с регулирующими органами не только при инициировании опасных процессов и явлений с предоставлением отчетов о мерах по усилению и контролю бортов и ступеней карьера, но и во время стандартного процесса добычи полезных ископаемых.

Предложенная концептуальная модель доказывает, что независимо от методов измерений применение DLT является в первую очередь мерой контроля опасных ситуаций, с помощью которой данные о критических результатах мониторинга передаются всем участникам процесса и регулирующим органам без изменений, надежно и прослеживаемо. Это эффективный способ накопления данных для анализа с целью предотвращения событий высокого риска.

Преимущества внедрения технологии распределенного реестра в горнодобывающем секторе неоспоримы. Это доверие между участниками сети DLT, прозрачность, синхронизированность, к тому же без привлечения посредника, отслеживающего потоки данных. В горнодобывающих компаниях имеется большое количество объектов, где эта технология может быть применена, но с учетом особых ограничивающих факторов. Глобальная тенденция к внедрению DLT во всех секторах экономики говорит о том, что ее использование и в горнодобывающих компаниях – это вопрос времени и престижа.

Несмотря на ожидаемые административные, технологические и технические неудобства для руководства горнодобывающих компаний, технология распределенного реестра, несомненно, приведет к повышению качества работы и экономической эффективности за счет увеличения инновационного индекса и снижения рисков.

Конкретные преимущества и недостатки DLT для работы рассматриваемого карьера будут проанализированы в дальнейшем дополнительно. **и**

Авторы выражают признательность своим коллегам за помощь, техническому персоналу за особую работу и руководству Горно-геологического университета имени св. Ивана Рильского (г. София, Болгария) за финансовую поддержку.

ИСТОЧНИК ДЛЯ ПЕРЕВОДА ►

Hristova T., Mitev I., Balev V. Monitoring of geotechnical facilities through DLT solution: a report at the 3d International Conference "Essays of Mining Science and Practice", 06–08 October, 2021, Dnipro. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing Ltd., 2021. Vol. 970. № 012011. DOI: 10.1088/1755-1315/970/1/012011. URL: iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/970/1/012011/meta.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ, ИСПОЛЬЗОВАННОЙ АВТОРАМИ ПЕРЕВЕДЕННОЙ СТАТЬИ ►

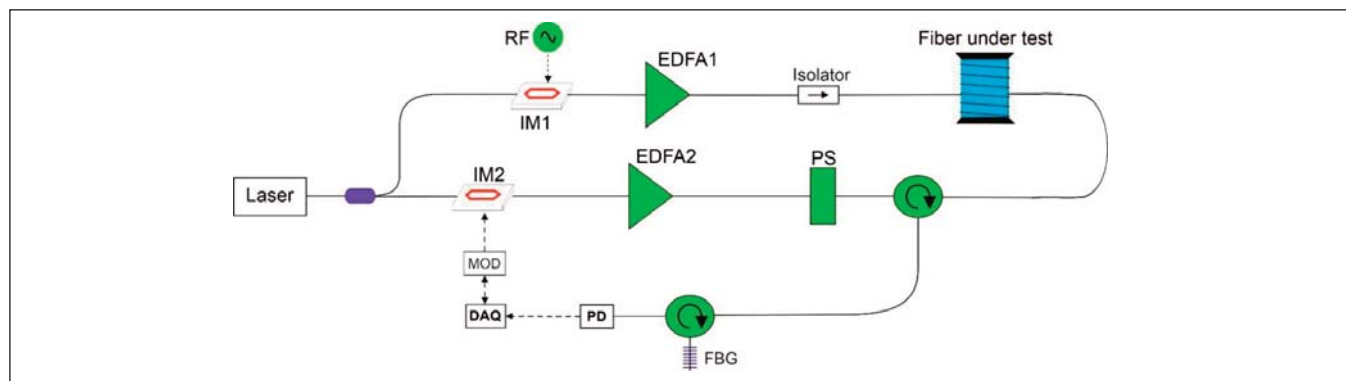
1. Aleksandrova E., Trifonova M. Assessment of slopes stability taking the risk into consideration // Scientific researches of the Union of Scientists in Bulgaria-Plovdiv. 2013. Vol. XV. P. 107–111. URL: usb-plovdiv.org/2013_estestveni_i_humanitarni_nauki_tom_XV.
2. Yadav D.K., Jayanthu S., Das S.K., Chinara S., Mishra P. Critical review on slope monitoring systems with a vision of unifying WSN and IoT // IET Wirel. Sens. Syst. 2019. Vol. 9. № 4. P. 167–80. DOI: 10.1049/iet-wss.2018.5197.
3. Lienhart W. Geotechnical monitoring using total stations and laser scanners: critical aspects and solutions // J. Civil Struct. Health Monit. 2017. Vol. 7. P. 315–324. DOI: 10.1007/s13349-017-0228-5.
4. Brown M., Weller R., Newman J., Caponecchi K. Financial Results First Quarter. 2019. Euronet Worldwide.
5. Lewis A. The basics of bitcoins and blockchains: an introduction to cryptocurrencies and the technology that powers them. Mango Media Inc., 2018.
6. Peck M.E. IEEE Spectrum. 2017. Vol. 54. № 10. P. 38–60.
7. Hristova T., Hristov P. Study of the need for DLT in the mining industry // Bulef. 2020. Vol. 12. № 20368565. DOI: 10.1109/Bulef51036.2020.9326025.
8. Yaga D., Mell P., Roby N., Scarfone K. Blockchain technology overview. NISTIR 8202, 2018.
9. Seibold S., Samman G. Consensus – immutable agreement for the internet of value. KPMG, 2016.
10. European Parliament resolution of 3 October 2018 on distributed ledger technologies and blockchains: building trust with disintermediation (2017/2772(RSP)).
11. Hristov P., Dimitrov W. The blockchain as a backbone of GDPR compliant frameworks // SIMPRO. 2018. Vol. 8. № 6.
12. ISO/IEC 19501:2005. Information technology – Open Distributed Processing – Unified Modeling Language (UML). Version 1.4.2.

Независимый электронный журнал
ГеоИнфо

**С 2022 года журнал «ГеоИнфо»
будет выходить ежемесячно
в формате *PDF.**



WWW.GEOINFO.RU



МИНАРДО АЛЬДО

Инженерный факультет Университета административной области Кампания имени Луиджи Ванвителли (Университета Кампании Луиджи Ванвителли), г. Аверса, Италия
aldo.minardo@unicampania.it

ДЗЕНИ ЛУИДЖИ

Инженерный факультет Университета административной области Кампания имени Луиджи Ванвителли (Университета Кампании Луиджи Ванвителли), г. Аверса, Италия

КОСКЕТТА АНЬЕЗЕ

Инженерный факультет Университета административной области Кампания имени Луиджи Ванвителли (Университета Кампании Луиджи Ванвителли), г. Аверса, Италия

КАТАЛАНО ЭСТЕР

Инженерный факультет Университета административной области Кампания имени Луиджи Ванвителли (Университета Кампании Луиджи Ванвителли), г. Аверса, Италия

ДЖОВАННИ ДЗЕНИ

Институт электромагнитного зондирования окружающей среды Национального исследовательского совета Италии, г. Неаполь, Италия

ДАМИАНО ЭМИЛИЯ

Инженерный факультет Университета административной области Кампания имени Луиджи Ванвителли (Университета Кампании Луиджи Ванвителли), г. Аверса, Италия

ДЕ КРИСТОФАРО МАРТИНА

Инженерный факультет Университета административной области Кампания имени Луиджи Ванвителли (Университета Кампании Луиджи Ванвителли), г. Аверса, Италия

ЛУЧО ОЛИВАРЕС

Инженерный факультет Университета административной области Кампания имени Луиджи Ванвителли (Университета Кампании Луиджи Ванвителли), г. Аверса, Италия

ПРИМЕНЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

АННОТАЦИЯ

Представляем вниманию читателей немного сокращенный адаптированный перевод статьи «Применение распределенных волоконно-оптических датчиков для геотехнического мониторинга», опубликованной в 2021 году в международном рецензируемом электронном журнале Sensors («Датчики») издательством MDPI (Multidisciplinary Digital Publishing Institute – «Институт мультидисциплинарных электронных публикаций»). Все статьи журналов этого издательства находятся в открытом доступе по лицензии Creative Common CC BY, которая позволяет адаптировать, переводить, видоизменять и использовать эти статьи или их части в любых целях, но с обязательным указанием ссылки на первоисточник и типа изменений. В нашем случае ссылка приведена в конце. Авторами переведенной статьи являются итальянские исследователи Альдо Минардо, Луиджи Дзени, Аньезе Коскетта, Эстер Каталано, Джованни Дзени, Эмилия Дамиано, Мартина Де Кристофаро и Лучо Оливарес. Все они являются сотрудниками Инженерного факультета Университета административной области Кампания имени Луиджи Ванвителли (Университета Кампании Луиджи Ванвителли, г. Аверса, Италия).

В статье рассказывается об экспериментальном применении распределенных волоконно-оптических датчиков, работающих на основе принципа вынужденного рассеяния Бриллюэна (бриллюэновского рассеяния) в двух случаях: для мониторинга поведения мелкомасштабной физической модели склона из несвязного дисперсного грунта, подвергавшегося искусственному дождю вплоть до разрушения, а также для мониторинга поведения прибрежного утеса (трещин в вулканических туфах).

Выполненные эксперименты продемонстрировали способность указанных датчиков выявлять увеличение деформаций грунта, предшествующее разрушению с возникновением потока обломочного материала, камнепада или обвала. Авторами предложено широкое использование распределенных волоконно-оптических датчиков при создании систем раннего предупреждения об оползнях как в несвязных дисперсных, так и в скальных грунтах.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

волоконно-оптическое зондирование; мониторинг оползней; разрушения скальных склонов; разрушение склонов, сложенных дисперсными грунтами

DISTRIBUTED OPTICAL FIBER SENSOR APPLICATIONS IN GEOTECHNICAL MONITORING

MINARDO ALDO

Department of Engineering, University of Campania "Luigi Vanvitelli", 80131 Aversa, Italy
aldo.minardo@unicampania.it

ZENI LUIGI

Department of Engineering, University of Campania "Luigi Vanvitelli", 80131 Aversa, Italy

COSCETTA AGNESE

Department of Engineering, University of Campania "Luigi Vanvitelli", 80131 Aversa, Italy

CATALANO ESTER

Department of Engineering, University of Campania "Luigi Vanvitelli", 80131 Aversa, Italy

GIOVANNI ZENI

Institute for Electromagnetic Sensing of the Environment, National Research Council, 80124 Naples, Italy

DAMIANO EMILIA

Department of Engineering, University of Campania "Luigi Vanvitelli", 80131 Aversa, Italy

DE CRISTOFARO MARTINA

Department of Engineering, University of Campania "Luigi Vanvitelli", 80131 Aversa, Italy

LUCIO OLIVARES

Department of Engineering, University of Campania "Luigi Vanvitelli", 80131 Aversa, Italy

ABSTRACT

We present to the attention of the readers a slightly shortcut and adapted translation of the article "Distributed optical fiber sensor applications in geotechnical monitoring" that was published in 2021 in the international reviewed electronic journal "Sensors" by the MDPI publisher (Multidisciplinary Digital Publishing Institute). All the articles of the journals of this publisher are on open access under the Creative Common CC BY license, which allows you to adapt, translate, modify and use these articles or parts of them for any purpose but with the obligatory indication of source references and types of changes. In our case, the source reference is given at the end. The authors of the translated article are Italian researchers Aldo Minardo, Luigi Zeni, Agnese Coscetta, Esther Catalano, Giovanni Zeni, Emilia Damiano, Martina De Cristofaro and Lucio Olivares. They are employees of the Department of Engineering of University of Campania "Luigi Vanvitelli" (Aversa, Italy).

The paper reports about the experimental application of distributed optical fiber sensors based on stimulated Brillouin scattering (SBS) for the monitoring of a small-scale granular slope reconstituted in an instrumented flume and subjected to artificial rainfall until failure, and for the monitoring of a volcanic rock slope.

The experiments demonstrate the ability of the sensors to reveal the sudden increase in soil strain that foreruns the failure provoking a debris flow as well as to monitor the fractures in the tuff rocks. This study offers an important perspective on the use of distributed optical fiber sensors for the setting up of early warning systems for landslides in both rock and unconsolidated materials.

KEYWORDS:

optical fiber sensing; landslide monitoring; rock slope failures; soil slope failures.

Введение ►

Ежегодные экономические потери и число человеческих жертв из-за гидрогеологических явлений очень высоки. В этом отношении третьим по значимости типом стихийных бедствий в мире являются оползни [1]. Хотя оползень и можно определить как движение массы из камней, более мелкообломочного материала и/или земли под действием гравитации [2], но тип, скорость и протяженность этого движения находятся в широких диапазонах. Существуют различные классификации оползней. В Европе на основе проекта EPOCH [3] оползни классифицируют только по типам грунта и движения, тогда как другие наиболее распространенные классификации учитывают также скорость движения (рис. 1), которая является одной из наиболее изменчивых характеристик. Оползень может двигаться со скоростью от нескольких сантиметров в год, как в случаях перемещения земляных масс или глубинных комплексных явлений, до многих километров в час, как в случаях кам-

непадов, обвалов или обломочных лавин, которые не оставляют времени на предупреждение населения и наносят огромный ущерб как сооружениям, так и людям.

Для снижения рисков оползней одной из основных стратегий является использование систем раннего предупреждения (СРП), основанных на эффективном мониторинге: можно отслеживать причины, вызывающие оползни, если они четко распознаются, или их последствия, такие как смещение слагающих склон грунтов и ускорение. В некоторых случаях, например когда оползни настолько велики, что их невозможно стабилизировать, единственным практическим решением может быть использование СРП [4, 5]. Однако из-за большой изменчивости таких явлений не может быть использована универсальная схема мониторинга.

Одним из наиболее эффективных инструментов прогнозирования быстрых и очень быстрых смещений слагающих склон материалов (например, обвалов) является выявление поверхност-

ных смещений грунта в режиме реального времени [6, 7]. Действительно, непрерывное наблюдение позволяет сразу же обнаруживать возникающие смещения, что может иметь решающее значение для своевременного принятия решений в отношении безопасности и последующих действий по раннему предупреждению. Кроме того, наличие эффективных систем дистанционного мониторинга также углубляет понимание кинематики оползней.

Хотя обычные геодезические и геотехнические приборы, такие как тахеометры, GPS-приемники, инклинометры или экстензометры, очень точны и надежны, они обеспечивают измерения только в нескольких точках, а не во всей нестабильной области. Кроме того, они неэффективны при отслеживании либо очень быстрых оползней, которые требуют мониторинга с высоким временным разрешением, либо гравитационных перемещений грунтов во фронтальной части, когда местоположение области, подверженной развитию оползня, априори не распознается.



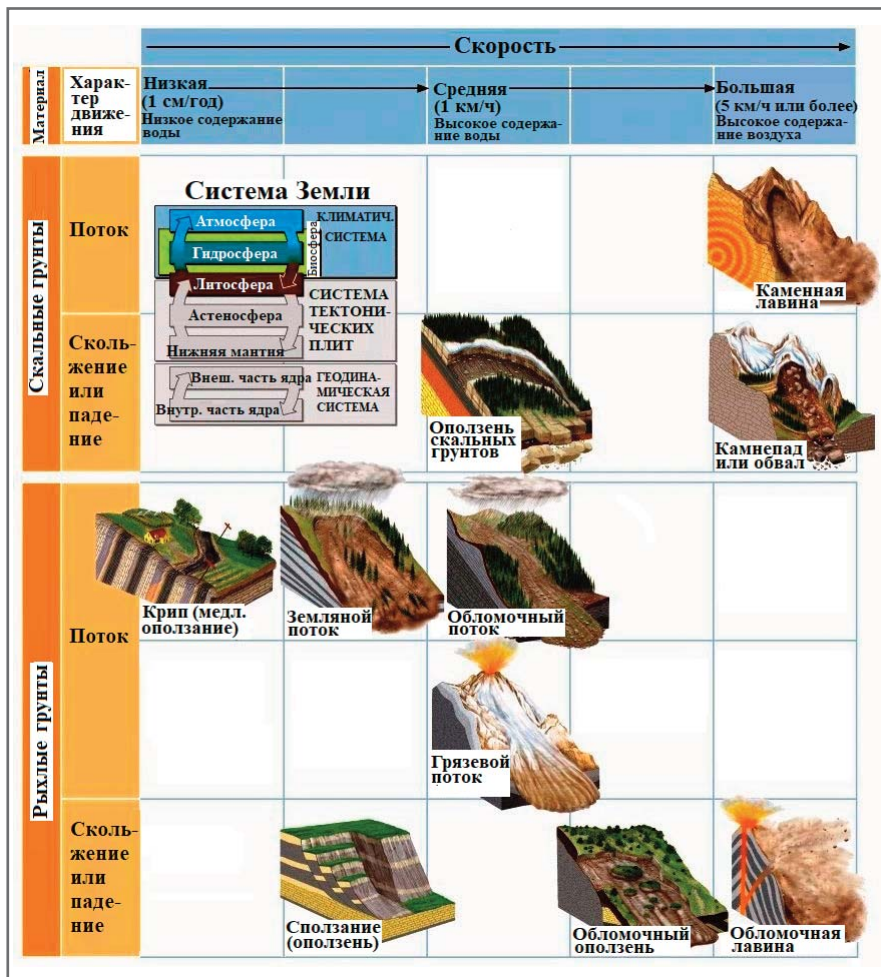


Рис. 1. Классификация оползней по типам грунта, скорости и типам движения (по geologyin.com/2015/02/types-of-wasting-slump-rockslide-debris.html (дата последнего обращения: 08.11.2021))

Дополнительно могут применяться распределенные волоконно-оптические датчики, поскольку они позволяют выполнять мониторинг больших площадей с высокой точностью и с высоким временным разрешением при низких затратах. Смещения грунтов, слагающих склон, могут быть обнаружены и локализованы путем надлежащего прикрепления оптоволоконна к грунту либо непосредственно, либо с помощью георешеток/геотекстиля [8–11]. Чтобы подчеркнуть универсальность этого инструмента, в данной статье будут приведены два примера использования распределенных волоконно-оптических датчиков в качестве систем мониторинга деформаций для двух различных типов перемещений грунтов, слагающих склоны. В одном примере будет рассказано о распределенной волоконно-оптической системе, отслеживающей и анализирующей деформации мелкомасштабного склона, в котором индуцируется обломочный поток. В другом примере будет рассмотрено применение такой системы для мониторинга смеще-

ний в зонах трещин в скальном склоне, сложенном вулканическим туфом. Будет показано, что такие датчики задолго до разрушения склона могут обнаруживать как смещения несвязного дисперсного грунта, так и развитие трещин в туфовых породах.

В следующих разделах сначала будут описаны методы работы, затем – экспериментальные измерения и в конце – выводы.

Методы исследований ►

Волоконно-оптические датчики хорошо подходят для геотехнического мониторинга благодаря их преимуществам по сравнению с другими технологиями, такими как устойчивость к агрессивным средам, простота размещения в стесненных условиях внутри структурных компонентов и возможность мультиплексирования [12].

Датчики на основе волоконных брэгговских решеток, или волоконных решеток Брэгга (FBG, Fiber Bragg Grating), считаются надежными для мониторинга состояния строительных и геотехниче-

ских проектов [13]. Однако они обеспечивают измерение деформаций только в отдельных точках вдоль волокна.

Напротив, распределенные волоконно-оптические датчики обеспечивают пространственно непрерывное зондирование по всей длине оптоволоконна. Следовательно, они более эффективны, чем датчики FBG, особенно когда требуется мониторинг на большой площади.

Распределенные волоконно-оптические датчики, работающие на основе принципа вынужденного бриллюэновского рассеяния, или вынужденного рассеяния Бриллюэна (SBS, Stimulated Brillouin Scattering), в частности, дают возможность выполнять измерения температуры и/или деформаций в оптических волокнах на протяжении больших расстояний (до нескольких десятков километров) и с высоким пространственным разрешением (1 м или менее). В этих датчиках зондирующая оптическая волна взаимодействует со смещенной по частоте волной оптической накачки, встречно распространяясь вдоль волокна. Когда сдвиг частоты между двумя указанными волнами попадает в так называемый спектр усиления Бриллюэна (BGS, Brillouin Gain Spectrum), происходит передача энергии между этими двумя волнами, что приводит к частотно-зависимому усилению оптических зондирующих сигналов. Бриллюэновский сдвиг частоты (BFS, Brillouin Frequency Shift) представляет собой такой сдвиг частоты, при котором происходит максимальное усиление зондирующего оптического сигнала. Любое отклонение BFS от эталонного результата измерения является признаком деформации и/или изменения температуры.

Методы оптического анализа во временной области Бриллюэна (BOTDA, Brillouin Optical Frequency-Domain Analysis) и оптического анализа в частотной области Бриллюэна (BOFDA, Brillouin optical frequency-domain analysis) обеспечивают измерение бриллюэновского сдвига частоты (BFS) с пространственным разрешением вдоль оптоволоконна. Однако они различаются по типу модуляции, наложенной на волну накачки: в методе BOTDA используется импульсная волна накачки [14], в то время как датчик BOFDA требует использования синусоидально-модулированного пучка накачки [15].

Разные виды модуляции приводят к разным характеристикам двух указанных методов измерений. Работа датчиков BOTDA обычно ограничена про-

странственным разрешением метрового масштаба из-за времени, необходимого для запуска механизма вынужденного рассеяния Бриллюэна (SBS). А датчики BOFDA способны давать гораздо более хорошее пространственное разрешение (в сантиметровом или даже миллиметровом диапазоне) благодаря предварительной активации акустической волны, участвующей в явлении SBS.

Но с точки зрения скорости сбора данных, измерения методом BOFDA обычно происходят медленнее из-за необходимости выполнять отнимающую много времени частотную развертку с использованием векторного анализатора цепей (VNA, Vector Network Analyzer). Для волоконно-оптических датчиков, которые не являются чрезмерно длинными (длина которых составляет менее 1 км), измерения методом BOTDA обычно выполняются за доли секунд, в то время как измерения методом BOFDA проводятся в диапазонах минут.

На рисунке 2 показана общая схема измерений методом BOTDA или методом BOFDA. Излучение лазера CoBrite DX1 с рабочей длиной волны 1550 нм (производства компании ID Photonics, Нойбиберг, Германия) разделяется дробовидным оптическим разветвителем (сплиттером Y- или T-типа) с коэффициентом деления оптического сигнала 50/50. В нижней ветви свет модулируется с помощью электрооптического модулятора интенсивности IM2 с помощью модуляции в зависимости от типа проводимых измерений (BOTDA или BOFDA соответственно). Последующий сигнал накачки усиливается, проходя через оптический усилитель на основе волокна, легированного эрбием, EDFA2 (Erbium Doped Fibre Amplifier 2), затем переключается его поляризация в переключателе поляризации (PS, polarization switch) и, наконец, через волоконно-оптический циркулятор он входит в измерительную оптоволоконную линию в зоне мониторинга (FUT, Fiber Under Test) с одного конца. Переключатель поляризации (PS) попеременно поворачивает плоскость поляризации волны накачки на 90 град., чтобы реализовать схему поляризационного разнесения каналов [9]. В верхней ветви (см. рис. 2) генерируется зондирующая волна посредством двухполосной модуляции с подавленной несущей частотой (DSB SC, Double-SideBand Suppressed-Carrier modulation). На практике модулятор интенсивности оптического излучения IM1 имеет сме-

щение в минимальной точке передачи мощности, так что радиочастотный (RF, RadioFrequency) сигнал, подаваемый микроволновым генератором SynthHD производства компании Windfreak Technologies (Порт-Ричи, Флорида, США), генерирует две боковых полосы в спектре зондирующей волны с разницей между частотой каждой из них и частотой лазерного излучения, соответствующей радиочастоте. Затем зондирующая волна усиливается, проходя через оптический усилитель на основе волокна, легированного эрбием, EDFA1 (Erbium Doped Fibre Amplifier 1), проходит через оптический изолятор и входит в измерительную оптоволоконную линию в зоне мониторинга (FUT, Fiber Under Test) с другого конца. Отраженное в месте измерений излучение направляется через волоконно-оптический циркулятор к узкополосной (около 0,04 нм) волоконной брэгговской решетке (FBG), которая «выбирает» (отражает) боковую полосу с более низкой частотой (стоксову компоненту) и в то же время отфильтровывает (пропускает) усиленный шум, обусловленный спонтанным излучением EDFA1. Наконец световой сигнал преобразуется в электрический с помощью высокоскоростного фотоприемника (PD, PhotoDetector, photoreceiver) модели 1544-B производства компании Newport Corporation (Ирвин, Калифорния, США), соединенного с системой сбора данных (DAQ, Data Acquisition System), включающей аналого-цифровой преобразователь FMC104 производства компании Abaco Systems (Хантсвилл, Алабама, США) или векторный анализатор цепей M9374A производства компании Keysight (Санта-Роза, Калифорния, США) для измерений методами BOTDA или BOFDA соответственно.

Испытания на физической модели склона, оборудованной измерительными инструментами ▶

Были выполнены экспериментальные испытания, направленные на исследование процессов деформирования мелко-масштабной физической модели склона из несвязного дисперсного материала, подвергавшегося искусственному выпадению дождевых осадков вплоть до разрушения [16]. При этом для измерений применялся распределенный волоконно-оптический датчик.

Грунт, использованный в этих экспериментах, был взят из района города Червинара, расположенного к северо-востоку от Неаполя и пострадавшего от

катастрофической обломочной лавины в 1999 году. Это был рыхлый вулканический песок [17]. Его укладывали слоями толщиной по 1 см, которые осторожно утрамбовывали при увлажнении, достигнув общей мощности 10 см. Длина и ширина созданной физической модели склона были равны 110 и 50 см соответственно. Угол наклона поверхности грунта составлял 35 град., что было значительно ниже угла его внутреннего трения, равного 38 град. И, чтобы способствовать развитию прогрессирующего разрушения, самая верхняя часть склона длиной 35 см была на 5 град. круче, чем остальная часть.

Из-за ограниченных размеров модели было важно выполнять измерения распределенных по искусственному склону деформаций с высоким пространственным разрешением (в сантиметровом масштабе). Поэтому был выбран метод оптического анализа в частотной области Бриллюэна (BOFDA), обеспечивающий пространственное разрешение 5 см за счет временного разрешения около 3 минут.

При формировании искусственного склона для последующего измерения поля деформаций грунта на глубине 5 см было проложено оптоволоконно диаметром 0,9 мм с буферным покрытием, наложенным с обжатием (рис. 3, б). Этот волоконно-оптический кабель пересекал склон в двух местах поперек (OF-S1 и OF-S2 на рисунке 3) и в двух местах вдоль (OF-S3 и OF-S4 на рисунке 3) склона. Волоконно-оптические пряди внутри склона были слегка предварительно натянуты и закреплены на плексигласовых стенках лотка клеем. Чтобы улучшить передачу напряжений между сенсорным кабелем и окружающим грунтом, вдоль оптического волокна через каждые 25 см были расположены небольшие анкеры, специально изготовленные с использованием кусков геосетки.

Во время испытания для контроля поведения искусственного склона применялись и другие устройства: 6 миниатюрных тензометров (T1–T6), установленных в трех поперечных сечениях на глубине 5 см и в подошве грунта на глубине 10 см для измерения матричного всасывания (см. рис. 3, а), а также 5 лазерных датчиков (L1–L5), установленных над поверхностью грунта для мониторинга его осадков. Кроме того, использовались 2 цифровые фотокамеры (C1, C2) для получения с помощью велосиметрии по изображениям частиц (PIV, Particle Image Velo-

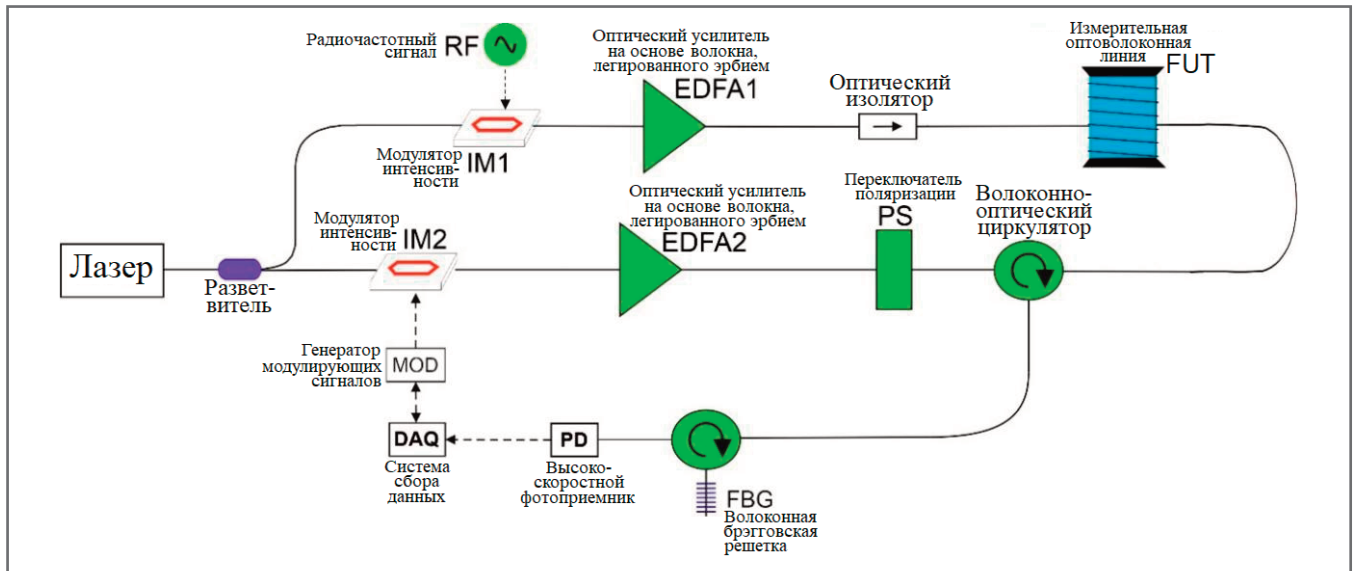


Рис. 2. Используемая экспериментальная система. Сплошные линии – волоконно-оптические пути; штриховые линии – электрические пути

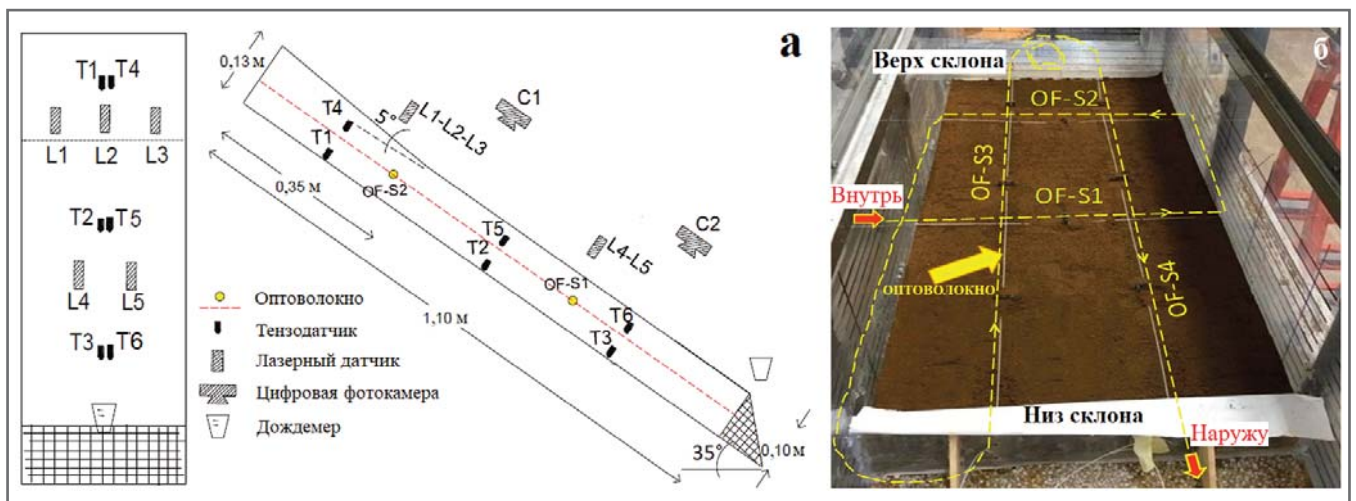


Рис. 3. Физическая модель склона с указанием размещения измерительных инструментов: схематический вид в плане и в продольном разрезе (а); размещение линий распределенного волоконно-оптического датчика во время формирования склона (б) (Примечания: от OF-S1 до OF-S4 – линии распределенного волоконно-оптического датчика; T1–T6 – тензометры; L1–L5 – лазеры; C1, C2 – цифровые фотокамеры. – Ред.)

симетру) полей смещений и скоростей поверхности грунта. Эти 2 камеры, установленные на высоте 1 м над поверхностью грунта, позволяли снимать участок шириной 50 см и длиной 100 см. Вид в плане и поперечное сечение рассматриваемой физической модели склона, оснащенной измерительными инструментами, схематично показаны на рисунке 3.

Чтобы вызвать разрушение склона, над поверхностью грунта был создан искусственный дождь интенсивностью 100 мм/ч. Изначально грунт был неводонасыщенным, что придавало ему более высокое сопротивление сдвигу, чем при водонасыщении. Увеличивающееся увлажнение склона приводит к увеличению удельного веса грунта и снижению

его прочности вплоть до возникновения трещин растяжения и инициирования разрушения склона, которое в случае такого рыхлого метастабильного материала превращается в очень быстрый обломочный поток.

На рисунке 4 показано влияние дождя на матричное всасывание грунта (левая ось на рисунке 4) и на оседание поверхности склона (правая ось на рисунке 4). Следует обратить внимание, что разные цвета графиков относятся к разным местам расположения датчиков, как показано на врезке в левом нижнем углу рисунка. Всасывание постепенно уменьшается во времени до минимального значения (примерно за 25 мин.), что указывает на водонасыщение, измеряемое тензометрами, установленными

в подошве грунта (на глубине от поверхности, равной 10 см).

В процессе увлажнения (примерно через 18 мин.) сразу за изменением наклона вниз по склону на поверхности грунта появилась трещина (чуть ниже положения поперечного участка волоконно-оптического кабеля OF-S2, см. рис. 3, б). Примерно через 25 мин. лазерные датчики зафиксировали оседание грунта на величину около 5 мм по всему склону (см. рис. 4), что указывало на наличие как объемных, так и сдвиговых деформаций. Кроме того, матричное всасывание грунта, зарегистрированное в подошве грунта тензометрами, изначально установленными на глубине 10 см (см. рис. 4), стало меньше, чем всасывание, зарегистрированное

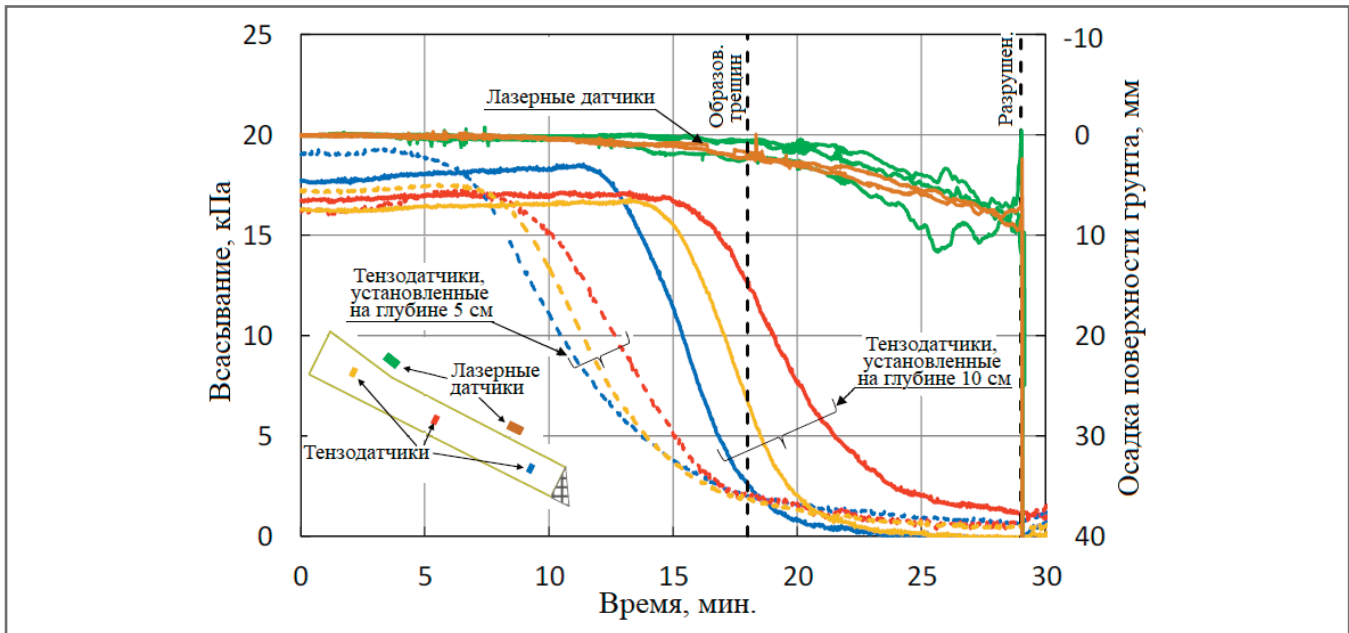


Рис. 4. Изменения матричного всасывания и осадок грунта во время испытания на инфильтрацию воды от искусственного дождя

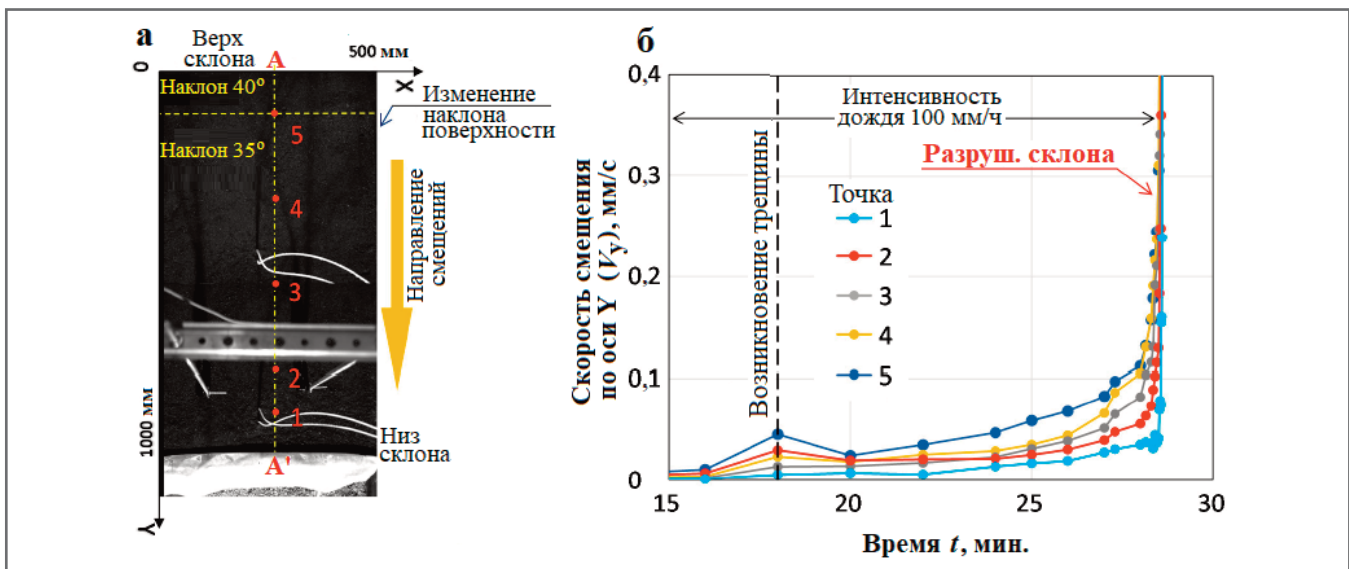


Рис. 5. Точки мониторинга на поверхности грунта 1–5, показанные красным цветом (а), и скорости смещений, полученные с помощью велосиметрии по изображениям частиц, то есть метода PIV (б)

тензометрами, изначально установленными на глубине 5 см (см. рис. 4). Это говорит о том, что водонасыщение грунта происходило с возможным формированием уровня грунтовых вод, поднимавшегося начиная с подошвы грунта. Потом оседание грунта значительно и менее равномерно увеличивалось по всему склону вплоть до разрушения, которое произошло через 29 мин. после начала дождя. (Действительно, прогрессирующее водонасыщение грунта, сопровождающееся объемными и сдвиговыми деформациями, является механическим процессом, ведущим к разрушению склона [18, 19].)

Деформирование склона также анализировалось с помощью фотокамер и рас-

пределенного волоконно-оптического датчика. Прогрессирующее деформирование слагавшего его грунта было выявлено по скоростям смещений вдоль линии A-A' (рис. 5) и с помощью велосиметрии по изображениям частиц (PIV): самая верхняя часть склона, где наклон был выше (точка 5 на рисунке 5), начала перемещаться раньше с большей скоростью, чем самая нижняя часть. И процесс деформирования характеризовался более высокой скоростью в верхней части склона в течение всего эксперимента. Поскольку подножие склона была зафиксировано, наименьшие скорости смещений были в точке 1 (см. рис. 5).

Это также было подтверждено измерениями с помощью распределенного во-

локонно-оптического датчика (рис. 6). Они показали тренды деформаций по всей длине оптоволоконного кабеля. Результаты измерений по четырем его линейным участкам, встроенным в склон, четко видны на рисунке 6, поскольку они являются единственными его местами, подверженными деформированию. Значения деформаций для каждого рассмотренного на рисунке 6 момента времени (3, 11, 13, 17, 20, 22, 25 мин.) были получены путем вычитания каждого профиля бриллюэновского сдвига частоты (BFS) из профиля BFS, полученного в начале испытания (то есть во время $t = 0$ мин.) и последующего преобразования полученных изменений BFS (МГц) в значения относительных деформаций

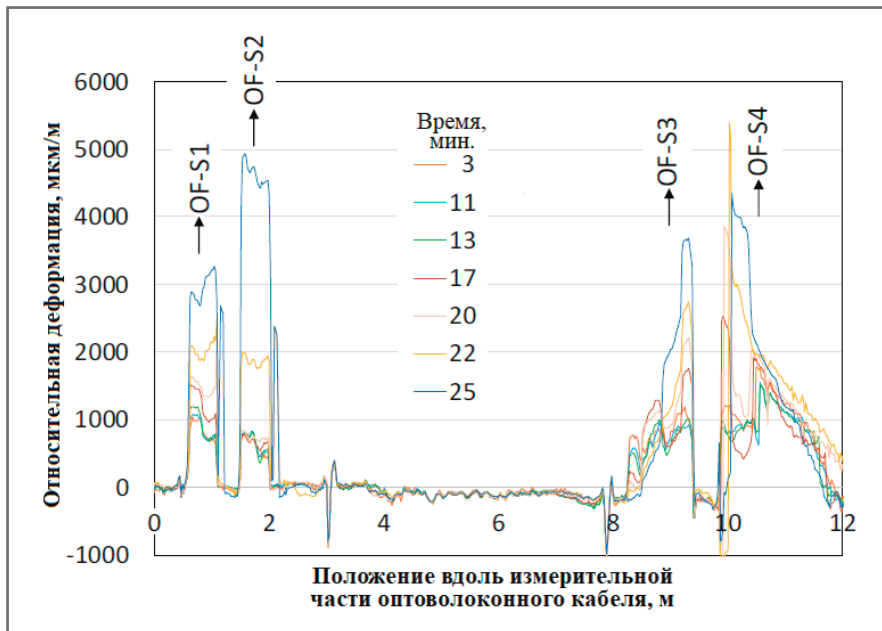


Рис. 6. Деформации вдоль измерительного волоконно-оптического кабеля по всей его длине. Участки S1–S4 соответствуют линейным участкам оптоволоконного кабеля, встроенным в грунт, слагающий искусственный склон (OF-S1 и OF-S2 – поперек склона; OF-S3 и OF-S4 – вдоль склона, см. рис. 3, 6)

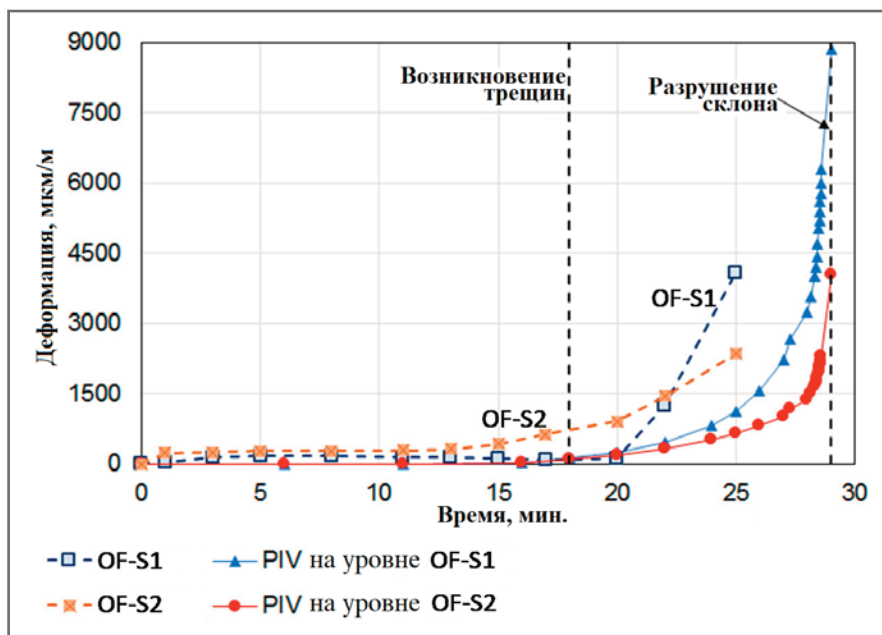


Рис. 7. Деформации, измеренные поперечными линейными участками распределенного оптоволоконного датчика (OF-S1 и OF-S2, см. рис. 3) и с помощью цифровых фотокамер в местах расположения OF-S1 (в 45 см выше подножия склона) и OF-S2 (в 30 см ниже бровки склона)

оптоволоконна (мкм/м) с использованием обычного коэффициента преобразования $0,05 \text{ МГц}/(\text{мкм} \cdot \text{м}^{-1})$. Распределенный волоконно-оптический датчик отследил прогрессирующее деформирование грунта, которое постепенно увеличивалось во времени по всему склону. Он также помог выявить отличающееся поведение верхней части склона, где деформации были выше таковых в средней и нижней частях (см. рис. 6).

Если посмотреть на результаты измерений для частей распределенного волоконно-оптического датчика у подножия склона, соответствующих примерно 8,2 и 11,3 м на оси абсцисс (см. рис. 6), то становится ясно следующее. Хотя в этих местах и были выявлены очень малые значения деформаций, датчик не смог различить сжимающие деформации, ожидаемые в подножии склона. Вероятно, это произошло из-за несовер-

шенной передачи напряжений оптоволокону от окружающего его грунта.

Наконец, на рисунке 7 сопоставлены деформации, измеренные с помощью поперечных линейных участков распределенного волоконно-оптического датчика (OF-S1 и OF-S2) и полученные путем велосиметрии по изображениям частиц (PIV) с использованием цифровых фотокамер. Деформации, определенные этими двумя методами, хорошо согласовывались во время первой части эксперимента, но после образования первой трещины растяжения только волоконно-оптический датчик показал, что деформации значительно увеличились примерно за 10 мин. до разрушения склона. Более того, оптоволоконный участок OF-S2, расположенный близко к области возникновения трещин растяжения, смог обнаружить деформирование грунта, превышавшее выявленное методом PIV в том же месте (см. сечение 2 на рисунке 7) и в более раннее время (примерно через 4 мин. после начала эксперимента): за 1 мин. до возникновения трещин на поверхности оптоволоконный участок OF-S2 зафиксировал относительную деформацию грунта около 630 мкм/м, тогда как методом PIV была выявлена деформация менее 100 мкм/м. Это указывает на то, что распределенный волоконно-оптический датчик можно эффективно использовать не только для оценки поля деформаций склона в процессе инфильтрации дождевой воды, но и для своевременного обнаружения предвестников приближающегося разрушения.

Испытания работы распределенной волоконно-оптической сенсорной системы на прибрежном утесе

Распределенный волоконно-оптический датчик также использовался для трехлетнего (с мая 2015 г. по май 2018 г.) мониторинга поведения прибрежного туфового утеса Корольо (холм Позиллипо) в прибрежной зоне густонаселенного района Кампи-Флегрей (г. Неаполь, Италия). Этот утес был выбран из-за морфологии его крутого склона, его подверженности морской эрозии (из-за действия волн, ветра, колебаний температур и т. д.), геологического строения и окружающей антропогенной деятельности [20, 21].

Корольо имеет высоту 140 м и ширину 250 м (рис. 8). Его геологическая карта показана на рисунке 9. Верхняя часть утеса имеет углы наклона от 35 до 45 град. и сложена рыхлыми голоце-

новыми пирокластическими отложениями мощностью около 30 м. Его средняя часть характеризуется почти вертикальной стенкой обрыва и сложена двумя туфогенными инженерно-геологическими элементами, разделенными несогласием. Из них верхний сложен неаполитанским желтым туфом, литифицированным игнимбриком (спекшимся туфом), переслаивающимися брекчиями, тонкими слоями лапилли и массивными слоями пепла. Нижний элемент представлен древнейшим туфовым конусом Трентареми, состоящим из крупнозернистой пемзы и слоев лапилли. У подножия утеса также встречаются осыпные брекчии и пляжные отложения. Последовательность вулканокластических грунтов утеса Корольо характеризуется сложной системой структурных неоднородностей и трещин [20] с преимущественно круто падающими и горизонтальными плоскостями разрывов с сильно изменчивой плотностью их расположения.

Поперек туфовых блоков (отдельностей), расположенных в верхней части утеса, был закреплен распределенный волоконно-оптический тензодатчик длиной 30 м с помощью ряда специальных нагелей (анкеров). В частности, для измерений с помощью оптоволоконна были выбраны две зоны разветвления (см. станции мониторинга, или блоки, № 3 и 19 на ри-

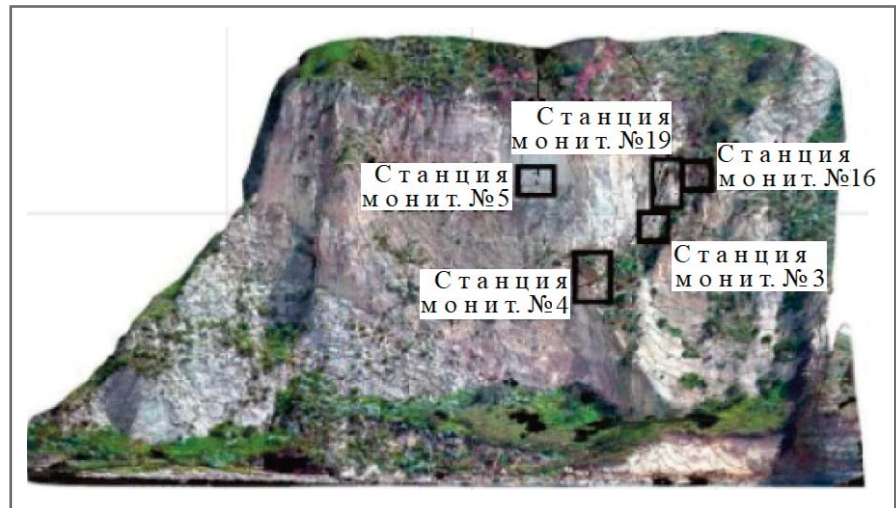


Рис. 8. Вид спереди на утес Корольо. Для размещения распределенного оптоволоконного датчика были выбраны станции мониторинга № 3 и 19. Остальные места мониторинга были оборудованы обычными трещиномерами [22]

сунке 8). Блок № 3 имеет высоту около 4 м, ширину 2 м, толщину 1,2 м, отделен сзади трещиной F1 и сбоку трещиной F2 (рис. 10, а). Трещина F1 сильно раскрыта и способствует формированию скального клина, пересекающегося с другими трещинами. Блок № 19 имеет высоту около 5 м, ширину 2 м, толщину 1,5 м и отделен сзади трещиной F1, что может вызвать его опрокидывание (рис. 10, б). Имеются также боковые трещины (F3 и F5). Блок выглядит утончающимся к его основанию.

Распределенный волоконно-оптический датчик представлял собой оптоволоконный кабель BRUsens V1 производства компании Brugg Kabel AG (Брюгг, Швейцария), имеющий внешний слой из этилен-пропиленового каучука (EPR) толщиной 2,8 мм. Для его фиксации в зонах контролировавшихся трещин использовали специальные нагельные винты диаметром 6 мм, которые вкручивались в просверленные отверстия в туфе и надежно закреплялись там двухкомпонентной эпоксидной смо-

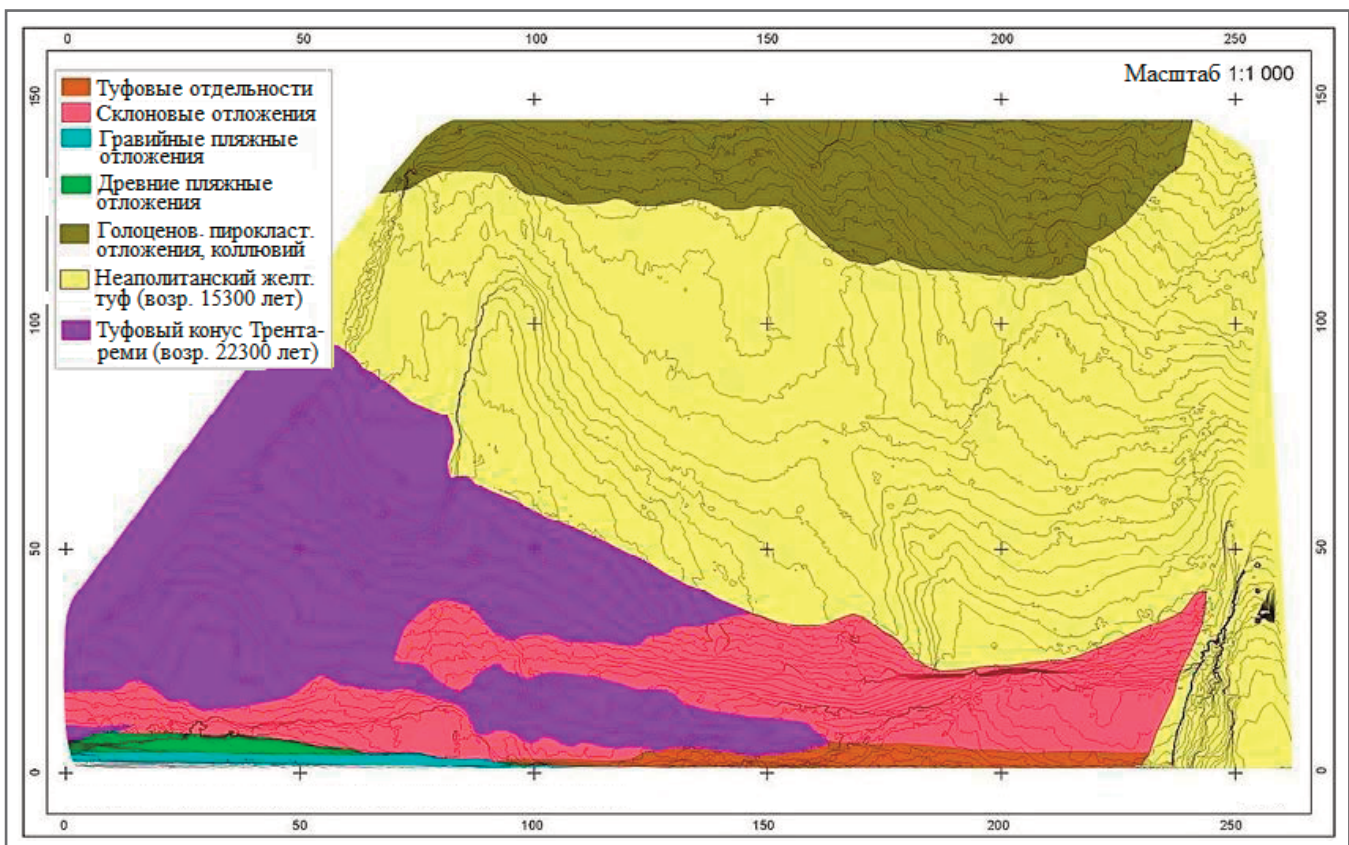


Рис. 9. Геологическая карта утеса Корольо (по [20])

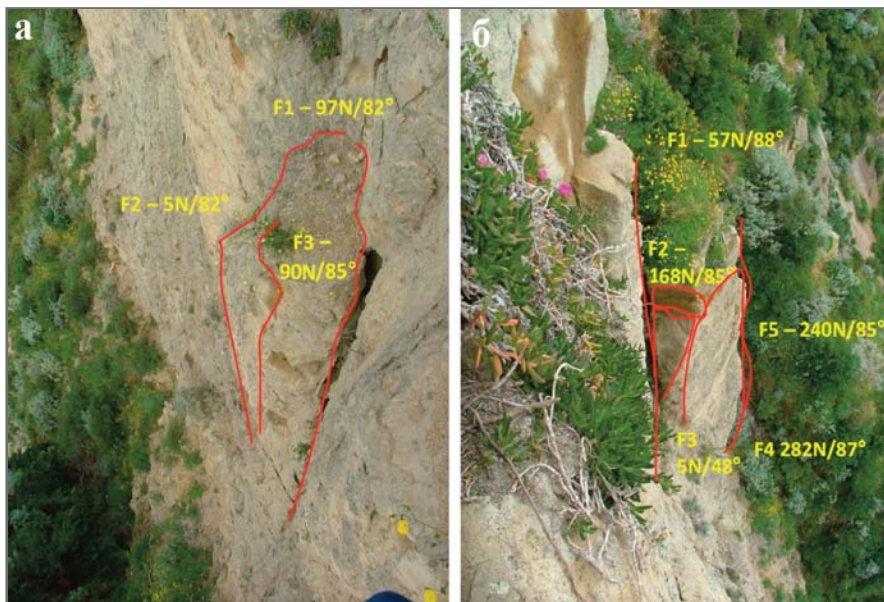


Рис. 10. Туфовые отдельности (блоки) № 3 (а) и № 19 (б), мониторинг которых велся с помощью распределенного оптоволоконного датчика (N – С (север). – Ред.)



Рис. 11. Установка распределенного оптоволоконного датчика для мониторинга поведения туфового блока № 19

лой 2-Топ Ероху производства компании ITW Performance Polymers (Дэнверс, Массачусетс, США) (рис. 11). Оптоволоконный кабель закрепляли на каждом нагеле пластиковым зажимом так, чтобы он достиг достаточного натяжения, а затем место прикрепления кабеля и винта окончательно «запечатывалось» той же эпоксидной смолой. Мониторинг блока № 3 выполнялся с помощью трех участков оптоволоконного контура поперек трещин, а блока № 19 – с помощью пяти участков.

На рисунке 12 показаны величины бриллюэновского сдвига частоты (BFS), полученные после установки распределенного оптоволоконного датчика по всему его контуру с пространственным разрешением 50 см. Для этих измерений менее строгие требования в отношении пространственного разрешения привели к выбору конфигурации измерений методом оптического анализа во временной области Бриллюэна (BOTDA). На рисунке 12 можно увидеть также разное поведение разных участков оптоволоконного контура. Первые 105 м, характеризующиеся BFS около 10,87 ГГц, были нужны только для того, чтобы достичь места мониторинга с верхней части холма, где было расположено опрашивающее устройство. Следующие 33 м (от 105 м до 138 м) с BFS порядка 10,59 ГГц составляли необходимую для мониторинга часть (кабель BRUsens V1). Последние 105 м (от 138 м до 243 м) требовались для замыкания кольцевой конфигурации. Две части контура длиной по 105 м, использовавшиеся для

передачи сигнала в зону или из зоны мониторинга, включали два оптоволоконных в составе одного бронированного кабеля. Следует отметить, что разницу в BFS этого бронированного кабеля и измерительного кабеля BRUsens V1 следует просто отнести к раз-

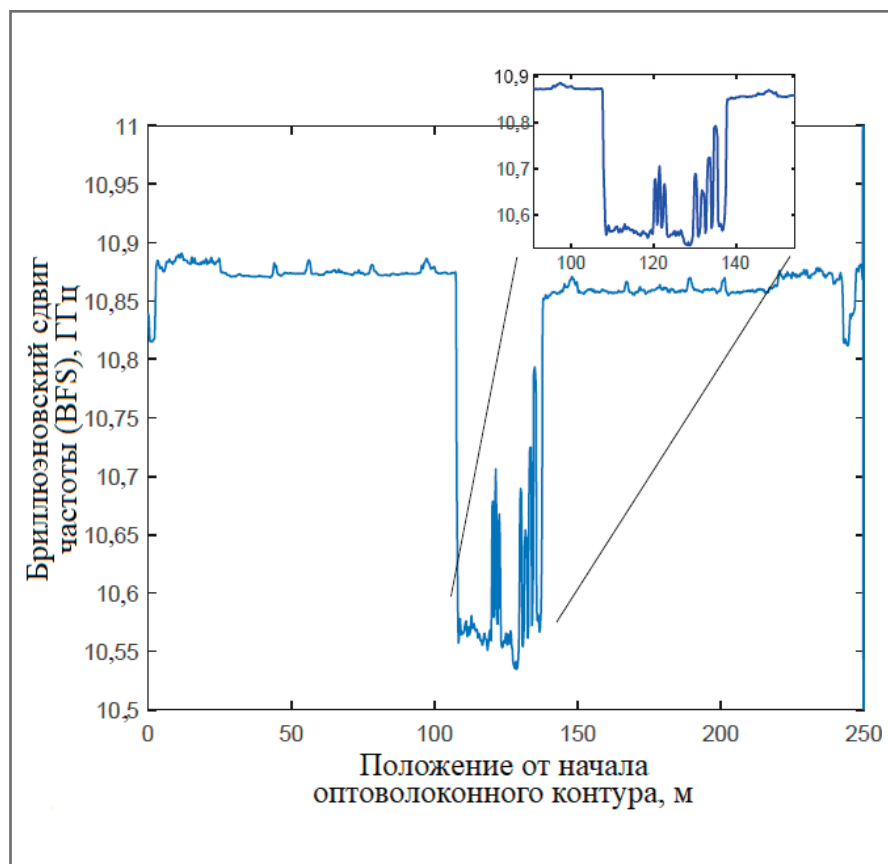


Рис. 12. Величины бриллюэновского сдвига частоты (BFS), полученные по всему оптоволоконному контуру с пространственным разрешением 50 см после установки. На врезке в правом верхнем углу показана увеличенная в горизонтальном направлении часть графика, соответствующая зоне мониторинга

ной концентрации легирующей примеси в сердечнике.

На врезке в правом верхнем углу рисунка 12, где показана увеличенная в горизонтальном направлении часть графика, соответствующая зоне мониторинга, можно легко различить три пика, относящихся к зоне туфового блока № 3, и пять пиков, относящихся к зоне туфового блока № 19, которые возникли из-за предварительного натяжения, приложенного к оптоволоконному кабелю во время его установки.

На рисунке 13 представлены общие результаты мониторинга. В частности, показано распределение величин BFS в контролируемой области – там, где пики относятся к блокам № 3 и № 19. Видно, что кривые для разных дат измерений смещены по вертикали, что можно объяснить зависимостью BFS от температуры (BFS изменяется примерно на 1 МГц на 1 °С). Влияние температуры на итоги мониторинга было компенсировано использованием результатов измерений участками того же измерительного оптоволоконного кабеля, которые не были закреплены и натянуты на блоках туфа, а были свободно (без натяжения) развернуты в непосредственной близости, поэтому воспринимали только изменения температуры.

При сравнении результатов мониторинга было замечено, что максимальные изменения BFS составили около 30 МГц, что соответствует относительной деформации около 600 мкм/м. Изменения деформаций для пиков в период мониторинга показаны на рисунке 14.

Полученные результаты показывают, что распределенный волоконно-оптический датчик был способен отслеживать деформации туфовых блоков исследованного утеса в течение всего периода мониторинга, даже несмотря на то, что их зарегистрированные небольшие значения были главным образом связаны с периодическими тепловыми расширениями породы. В конкретном случае для блока № 19 тенденция пика 4 также сочеталась с постепенным закрытием трещины. Это подтвердили и результаты независимых измерений, выполненных традиционными трещиномерами, которые приведены в работе [23], в которой рассмотрен долгосрочный (с 2014 по 2018 г.) мониторинг того же туфового утеса. В частности, блок № 19 демонстрировал переменное поведение (из-за метеорологических условий), но с явным преобладанием отрицательных деформаций, соответствовав-

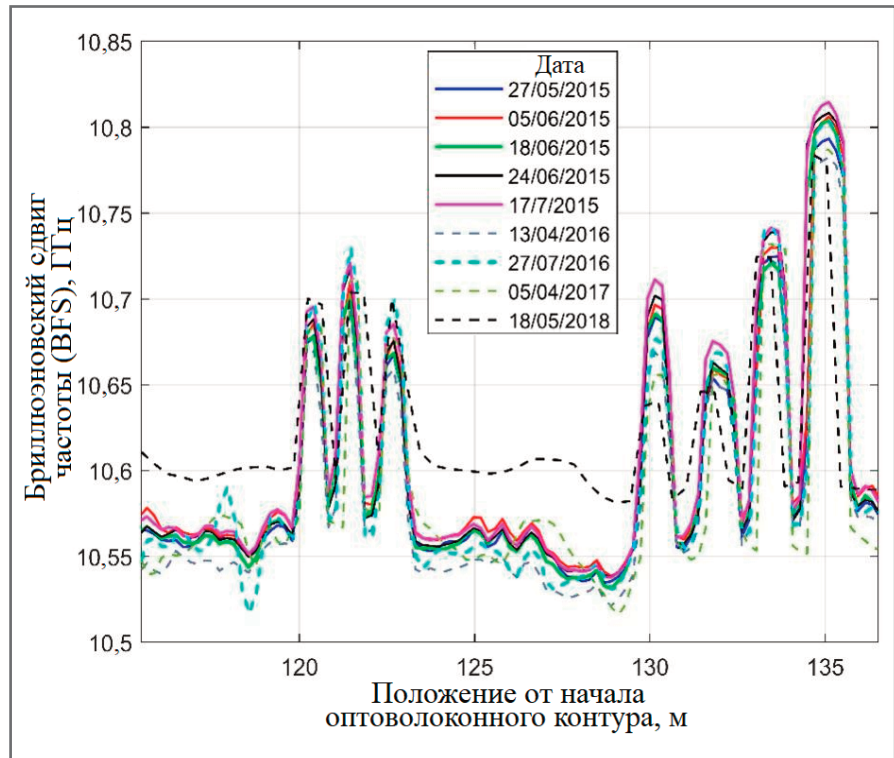


Рис. 13. Величины бриллюэновского сдвига частоты (BFS), полученные вдоль оптоволоконна в зоне мониторинга для разных дат периода наблюдений

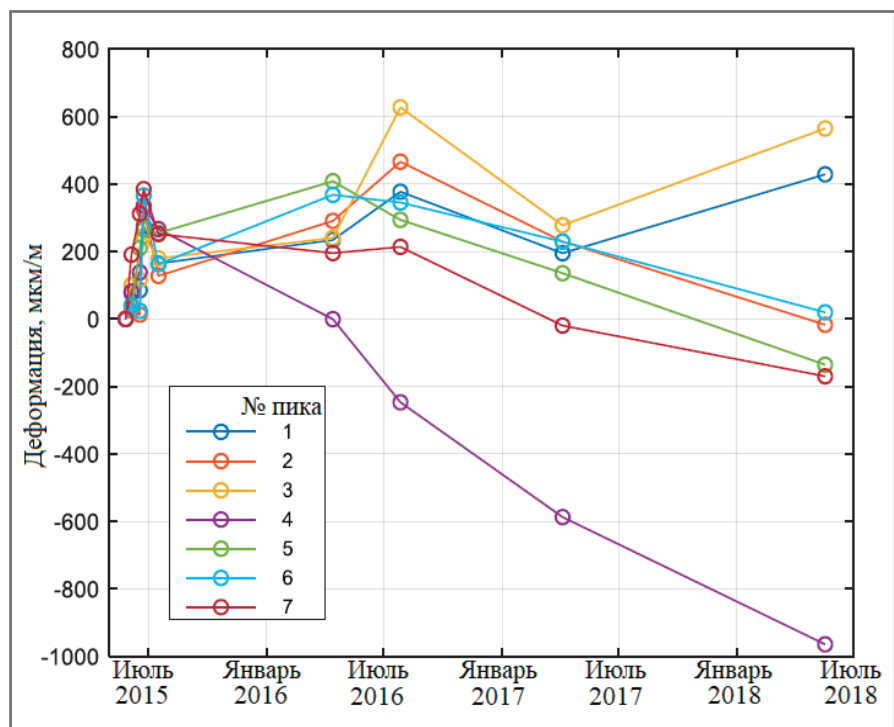


Рис. 14. Изменения относительных деформаций для пиков в период мониторинга

ших прогрессирующему закрытию трещины.

Выводы ►

Камнепады, обвалы и потоки обломочного материала из вулканических скальных и несвязных дисперсных грунтов, которые широко распростра-

нены вокруг итальянского города Неаполь, затрагивают густонаселенные районы. Для снижения связанных с этим рисков для населения и инфраструктуры, для своевременного обнаружения смещений слагающих склоны грунтов в режиме реального времени необходима установка таких инновационных датчи-

ков, которые способны преодолеть ограничения ныне существующих систем мониторинга.

В этой статье рассматривалось изучение возможности использования распределенных волоконно-оптических датчиков для создания эффективной системы мониторинга деформаций слагающих склоны и обрывы грунтов.

В лабораторных условиях в лотке был создан мелкомасштабный искусственный склон из вулканического песка, оборудованный сложной системой мониторинга для проверки эффективности работы распределенного оптоволоконного датчика. Этот склон подвергался воздействию искусственного дождя вплоть до разрушения. Результаты измерений показали, что распределенная оптоволоконная сенсорная система обнаруживает прогрессирующие деформации склона раньше, чем другие датчики, а также

способна различать поля деформаций в верхней и нижней частях склона.

Также были выполнены измерения для двух трещиноватых туфовых блоков на утесе Корольо. Результаты трехлетнего мониторинга их поведения показали, что распределенная волоконно-оптическая измерительная система способна отслеживать как тепловое расширение пород, так и прогрессирующие деформации трещин.

Было показано, что методы распределенного зондирования как в частотной (BOFDA), так и во временной (BOTDA) области могут широко применяться в зонах геотехнического мониторинга, причем первый больше подходит для мелкомасштабных лабораторных экспериментов с высоким разрешением, а второй предпочтителен для реальных крупномасштабных полевых условий.

В заключение следует отметить, что выполненные испытания подтвердили большой потенциал применения распределенных волоконно-оптических датчиков для мониторинга и анализа деформаций склонов и обрывов, сложенных как несвязными дисперсными, так скальными грунтами. Эксперименты показали, что можно достичь раннего обнаружения раскрытия трещин и разрушения склона или обрыва, то есть что разработка систем раннего предупреждения в этих случаях является вполне достижимой целью исследований. **И**

Данное исследование было частично профинансировано Университетом административной области Кампания имени Луиджи Ванвителли (Университета Кампании Луиджи Ванвителли, г. Аверса, Италия).

Источник для перевода ►

Minardo A., Zeni L., Coscetta A., Catalano E., Zeni G., Damiano E., De Cristofaro M., Olivares L. Distributed optical fiber sensor applications in geotechnical monitoring // *Sensors*. 2021. Vol. 21. № 22. P. 7514. doi.org/10.3390/s21227514. URL: mdpi.com/1424-8220/21/22/7514.

Список литературы, использованной авторами переведенной статьи ►

1. Zillman J. The Physical Impact of the Disaster // *Natural Disaster Management* (Ingleton J., Ed.). Leicester, UK: Tudor Rose Holding Ltd., 1999. P. 320.
2. Cruden D. A simple definition of a landslide // *Bull. IAEG*. 1991. Vol. 43. P. 27–29.
3. EPOCH. The temporal occurrence and forecasting of landslides in the European community (Casale R., Fantechi R., Flageollet J.C., Eds.). Bruxelles, Belgium: European Commission, 1994.
4. Intrieri E., Gigli G., Mugnai F., Fanti, R., Casagli N. Design and implementation of a landslide early warning system // *Eng. Geol.* 2012. Vol. 147-148. P. 124–136.
5. Hidayat R., Sutanto S.J., Hidayah A., Ridwan B., Mulyana A. Development of a landslide early warning system in Indonesia // *Geosciences*. 2019. Vol. 9. № 10. P. 451–461.
6. Voight B. A relation to describe rate-dependent material failure // *Science*. 1989. Vol. 243. P. 200–203.
7. Fukuzono T. Recent studies on time prediction of slope failure // *Landslide News*. 1990. Vol. 4. P. 9–12.
8. Wang B., Li K., Wei G. Test on application of distributed fiber optic sensing technique into soil slope monitoring // *Landslides*. 2009. Vol. 6. P. 61–68.
9. Damiano E., Avolio B., Minardo A., Olivares L., Picarelli L., Zeni L. A laboratory study on the use of optical fibers for early detection of pre-failure slope movements in shallow granular soil deposits // *Geotech. Test. J.* 2017. Vol. 40. P. 529–541.
10. Zhao M., Yi X., Zhang J., Lin C. PP-BOTDA distributed optical fiber sensing technology and its application to the Baishuihe landslide // *Front. Earth Sci.* 29 April 2021. Vol. 9. № 660918. DOI:10.3389/feart.2021.660918.
11. Zheng Y., Zhu Z.W., Li W.J., Gu D.M., Xiao W. Experimental research on a novel optic fiber sensor based on OTDR for landslide monitoring // *Measurement*. 2019. Vol. 148. № 106926.
12. Habel W.R., Krebber K. Fiber-optic sensors applications in civil and geotechnical engineering // *Photonic Sens.* 2011. Vol. 1. P. 268–280.
13. Hong C.Y., Zhang Y.F., Zhang M.X., Ming L., Leung G., Liu L.Q. Application of FBG sensors for geotechnical health monitoring: a review of sensor design, implementation methods and packaging techniques // *Sens. Actuators A-Phys.* 2016. Vol. 244. P. 184–197.
14. Minardo A., Bernini R., Zeni L. Numerical analysis of single pulse and differential pulse-width pair BOTDA systems in the high spatial resolution regime // *Opt. Express*. 2011. Vol. 19. P. 19233–19244.
15. Bernini R., Crocco L., Minardo A., Soldovieri F., Zeni L. All frequency domain distributed fiber-optic Brillouin sensing // *IEEE Sens. J.* 2003. Vol. 3. P. 36–43.

16. Darban R., Damiano E., Minardo A., Olivares L., Picarelli L., Zeni L. An experimental investigation on the progressive failure of unsaturated granular slopes // *Geosciences*. 2019. Vol. 9. № 2. DOI: 10.3390/geosciences9020063.
17. Olivares L., Damiano E., Netti N., De Cristofaro M. Geotechnical properties of two pyroclastic deposits involved in catastrophic flowslides for implementation in earlywarning systems // *Geosciences*. 2019. Vol. 9. № 1. DOI: 10.3390/geosciences9010024.
18. Picarelli L., Olivares L., Damiano E., Darban R., Santo A. The effects of extreme precipitations on landslide hazard in the pyroclastic deposits of Campania region: a review // *Landslides*. 2020. Vol. 17. P. 2343–2358.
19. Zeni L., Picarelli L., Avolio B., Coscetta A., Papa R., Zeni G., Di Maio C., Vassallo R., Minardo A. Distributed fibre optic sensing techniques for soil slope monitoring // *Frontiers in Optics*. Tucson, AZ: OSA Technical Digest (online), 2014. (Washington, DC, USA: Optical Society of America, 2014. Paper FTu2B.4.)
20. Matano F., Iuliano S., Somma R., Marino E., Del Vecchio U., Esposito G., Molisso F., Scepi G., Grimaldi G.M., Pignalosa A. et al. Geostructure of Coroglio tuff cliff, Naples (Italy), derived from terrestrial laser scanner data // *J. Maps*. 2015. Vol. 12. P. 407–421.
21. Minardo A., Caccavale M., Coscetta A., Esposito G., Matano F., Sacchi M., Somma R., Zeni G., Zeni L. Monitoring test of crack opening in volcanic tuff (Coroglio cliff, Italy) using distributed optical fiber sensor // *Geophysics: Principles, Applications and Emerging Technologies*. Hauppauge, NY, USA: Nova Science Publishers, 2016.
22. Matano F., Caccavale M., Esposito G., Grimaldi G.M., Minardo A., Scepi G., Zeni G., Zeni L., Caputo T., Somma R. et al. An integrated approach for rock slope failure monitoring: the case study of Coroglio tuff cliff (Naples, Italy) – preliminary results // *Proceedings of the 1st IMEKO TC-4 International Workshop on Metrology for Geotechnics*, Benevento, Italy, 17–18 March, 2016.
23. Matano F., Caccavale M., Esposito G., Fortelli A., Scepi G., Spano M., Sacchi M. Integrated dataset of deformation measurements in fractured volcanic tuff and meteorological data (Coroglio coastal cliff, Naples, Italy) // *Earth Syst. Sci. Data*. 2020 Vol. 12. P. 321–344.

Реклама в журнале

Независимый электронный журнал «ГеоИнфо» на сегодняшний день является ведущим отраслевым средством массовой информации в сфере инженерных изысканий, геотехнического проектирования и инженерной защиты территории. Ежемесячная аудитория журнала превышает 15 000 уникальных посетителей.

Благодаря тому, что все статьи размещаются в группах журнала в социальных сетях и затем транслируются в другие профильные группы, каждый опубликованный материал находит читателей именно внутри своей целевой аудитории.

Многие статьи в адаптированном варианте дублируются на нашем канале в Яндекс.Дзен, у которого уже более 3000 подписчиков и аудитория которого превышает 100 тысяч человек.

Прайс-лист на размещение рекламы в 2022 году (без НДС)

- Рекламная статья в журнале – 25 000 рублей.
- В каждую статью могут быть добавлены любые дополнительные материалы: каталоги оборудования, прайсы, фотографии, видеоролики, демоверсии программ и пр.
- Логотип в разделе «Спонсоры проекта» в правой колонке – 25 000 рублей в месяц.

Все наши спонсоры получают свою персональную страницу на сайте журнала, где размещается информация о компании-спонсоре, все статьи ее сотрудников, опубликованные в журнале «ГеоИнфо» или в Базе знаний, а также любые дополнительные материалы (каталоги, буклеты, видео).

Коллеги и друзья! Наше с Вами рекламное сотрудничество будет взаимовыгодным. Вы получите отличную площадку для лоббирования своих интересов, а мы – возможность и дальше развивать проект, бороться за интересы отрасли инженерных изысканий и помогать профессионалам.

Тел.: +7 (499) 340-340-9, (916) 240-03-22

E-mail: info@geoinfo.ru



ЧТЕНИЯ ПАМЯТИ Г.М.ШАХУНЯНЦА: ГЛАВНОЕ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ СОБЫТИЕ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНИКОВ-ПУТЕЙЦЕВ

ВИКТОР АНАНКО
Главный редактор

В первой декаде ноября в РУТ (МИИТ) прошли XIX чтения, посвященные памяти профессора Г.М. Шахунянца. Железнодорожники, ученые и представители производственных организаций коснулись ряда насущных вопросов проектирования и строительства железнодорожного пути. Многие докладчики затронули такую важную проблему, как инженерная защита от лавин и камнепадов.

В статье приведена статистическая информация по проблемным участкам на российских железных дорогах, рассказано о деятельности профессора Г.М. Шахунянца, а также описаны решения по инженерной защите от компании «РТ ТРУМЕР», которым на конференции было посвящено 3 выступления.

READINGS IN MEMORY OF G.M. SHAKHUNYANTS: THE MAIN RESEARCH AND PRODUCTION EVENT FOR RAILWAYMEN

VIKTOR ANANKO
Editor-in-Chief

In the first decade of November, the 19th Readings Dedicated to the Memory of Professor G.M. Shakhunyants were held at the Russian University of Transport. Railway workers, scientists and representatives of industrial organizations touched upon a number of pressing issues of the design and construction of railway tracks. Many speakers touched upon such an important issue as engineering protection against avalanches and rockfalls. The article provides statistical information on problem segments of Russian railways, tells about the activities of Professor G.M. Shakhunyants, and describes solutions of the RT TRUMER company for engineering protection (at the conference, three reports were devoted to those solutions).

8-9 ноября 2022 года в РУТ (МИИТ) состоялись Девятнадцатые чтения, посвященные памяти профессора Г.М. Шахунянца – Международная научно-техническая конференция «Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути».

На пленарном заседании 8 ноября сотрудники транспортного вуза, представители ОАО «РЖД» и производственных организаций коснулись ряда насущных вопросов проектирования и строительства железнодорожного пути. В частности, многие докладчики затронули в выступлениях такой важный для российских железных дорог вопрос, как защита от опасных геологических процессов. И это не удивительно, если посмотреть на статистику эксплуатации инфраструктуры железнодорожного пути.

Официальные цифры ►

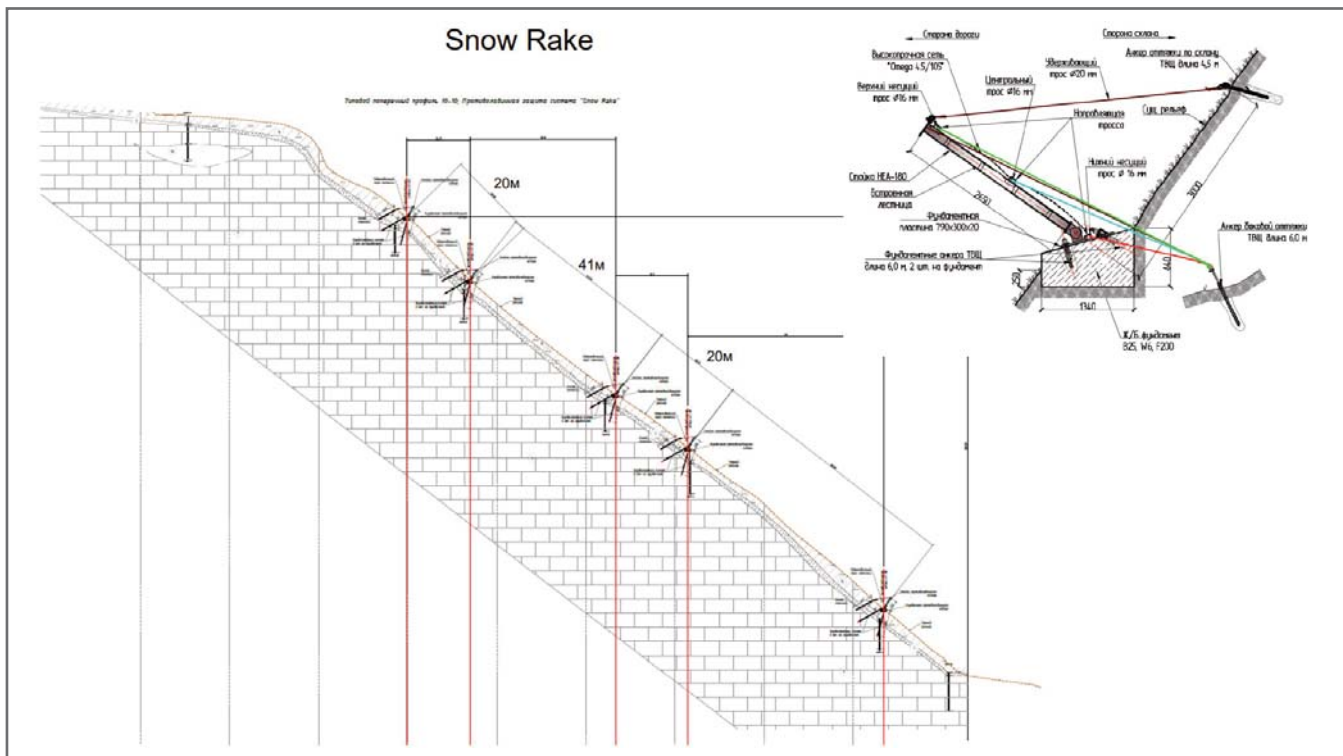
Согласно официальной информации, приведенной в докладе заместителя начальника управления пути и сооружений Центральной дирекции инфраструктуры (по искусственным сооружениям) ОАО «РЖД» Дениса Викторовича Еськова, из 86,4 тысяч километров земляного полотна железных дорог, 8,7 тысяч, то есть около 10%, имеют деформации и дефекты. В частности, по видам деформаций ситуация, следующая: 48,6% имеют осадки; 19,2% подвержены обвалам; на 12,4% путейцы сталкиваются со сплывами земляного полотна; на 8,4% – с водоразмывами; селям и оползням подвержено 4,1%; наконец, карсту, лавинам и наледям подвержено 7,3%. Всего 286 ограничений скорости движения поездов действуют на протя-



жении 273 километров из-за состояния земляного полотна.

Эти цифры сами по себе внушают беспокойство, однако природа не собирается давать железнодорожникам передышку. Оказывается, и на это обра-

тил внимание тот же докладчик, территория России не просто подвержена воздействию землетрясений, ураганов, бурей и смерчей, оползней, селей, обвалов и лавин. Общее количество опасных метеорологических явлений за 20



лет выросло примерно в 2 раза. Климат стал очень неустойчивым, начал расти ущерб, связанный с аномалиями температур и осадков.

Г.М. Шахуняц и инженерная защита пути и путевого хозяйства

Конечно, все эти проблемы не новы для путейцев. Защитой путей и сопутствующей инфраструктуры от опасных природных процессов много занимался в середине XX века еще сам Г.М. Шахуняц, памяти которого посвящены эти традиционные Чтения. Большой доклад об ученом и его научной школе в МИИТе сделал заведующий кафедрой «Путь и путевое хозяйство» Евгений Самуилович Ашпиз.

В частности, он напомнил участникам конференции, что Георгий Михайлович в 1943-1959 годах был членом Госстроя СССР и председателем секции по инженерной защите территорий, а также членом оползневой и селевой комиссии НТС по инженерной геологии и грунтоведению Академии Наук СССР. С 1960-х годов этот специалист активно участвовал в соответствующих работах:

1. по экспертизе инженерной защиты территорий одесского, крымского, краснодарского и грузинского побережий Черного моря, калининградского побережья Балтийского моря и побережий на озере Байкал и острове Сахалин;
2. экспертных комиссий по строительству сложных участков метро,

Останкинской телебашни и других уникальных сооружений;

3. правительственной комиссии по уникальному закреплению песчаного пляжа на мысе Пицунда для сохранения многоэтажных башен пансионата;

4. по стабилизации земляного полотна на крупнейших оползневых косогорах Куйбышевской и Приволжской дорог;

5. по научному консультированию противокарстовой защиты на Горьковской и Донецкой железных дорогах.

Одновременно в 1961-1979 годах он организовал и состоял в Комитете по земляному полотну научно-технических советов МПС и Минтрансстроя, который был создан специально для решения проблем железных дорог в сложных условиях. Всего прошло 14 заседаний, по итогам каждого из которых выпускался отдельный сборник трудов, включающий в себя научные и производственные статьи. Например, материалы заседания 1961 года были посвящены борьбе с оползнями, обвалами и размывами на железных дорогах. В 1962 году комитет разбирал вопросы защиты железных дорог от селевых потоков. Последующие заседания касались более общих вопросов строительства и эксплуатации земляного полотна.

Инженерная защита пути и путевого хозяйства. Решения ООО «РТ ТРУМЕР»

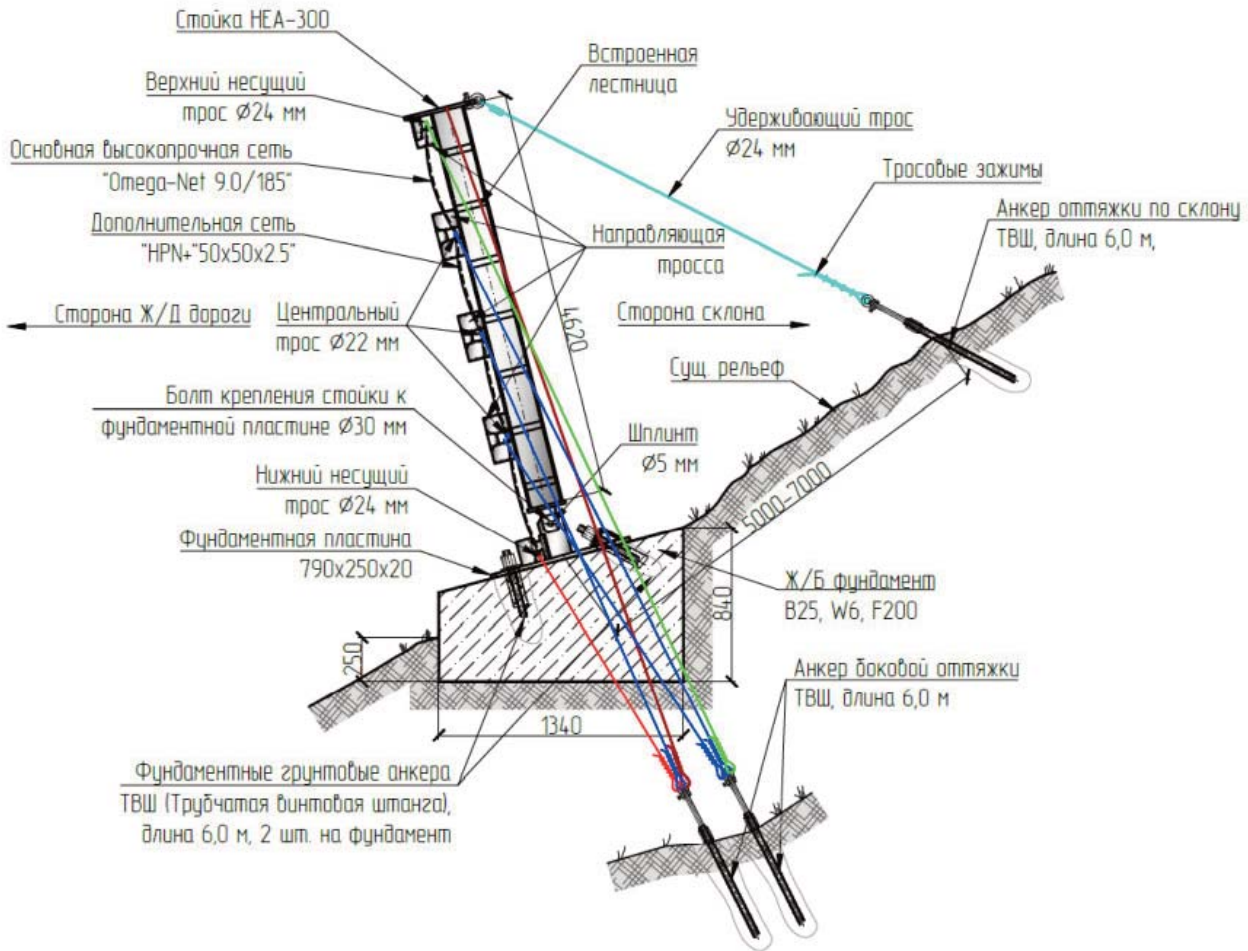
В 2020-21 годах компанией «РТ ТРУМЕР» был реализован масштабный проект по инженерной защите от кам-

непадов и лавин участка 1727-1737 Аша-Миньяр Транссибирской железнодорожной магистрали. В настоящее время реализуется еще один интересный проект. На этот раз близ города Улан-Удэ. Поэтому не удивительно, что решениям компании ТРУМЕР на конференции было посвящено сразу три выступления, в том числе от представителей РУТ (МИИТ) и от ОАО «РЖД». И специалисты ведущего транспортного вуза, и представители госкомпании отметили высокое качество выполненной работы и эффективность защитных сооружений.

В завершении пленарного заседания с докладом «Процессы разработки предпроектных решений по инженерной защите железнодорожного пути» выступил руководитель проектно-исследовательской группы ООО «РТ ТРУМЕР» Игорь Евгеньевич Ильтуганов. Данная тема, на фоне прозвучавших перед этим докладов о проблемах выполнения инженерных изысканий, геотехнических расчетов и реализации проектов в сложных инженерно-геологических условиях, оказалась крайне актуальной. Ведь одно из главных преимуществ предлагаемого подхода – значительная экономия времени и финансовых средств на предпроектном этапе.

Как отметил докладчик, **предпроектное обследование позволяет эффективно решать следующие задачи:**

- получать актуальную информацию о рельефе нестабильного склона, который динамично изменяется;

"TSV-2000-ZD+S"

- количественно и качественно оценивать зоны схождения обломков породы или снежных масс;

- точно картировать нестабильные участки склона, возможные траектории падения и участки отрыва;

- анализировать архивные материалы в совокупности с актуальной полученной информацией;

- максимально точно просчитывать количество и технические характеристики защитных конструкций;

- максимально точно просчитывать необходимые расходы на инженерную защиту.

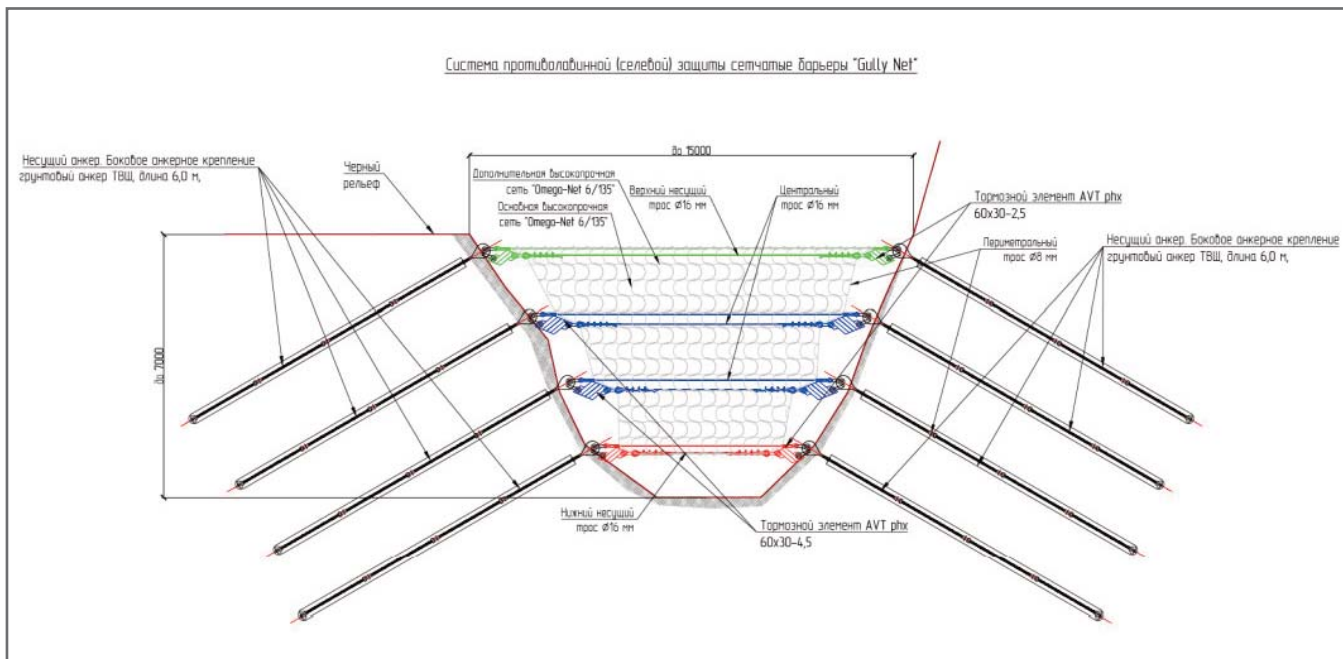
Подход, который предлагается ООО «РТ ТРУМЕР», включает в себя следующую последовательность действий: (1) дистанционный анализ; (2) полевое обследование; (3) обработка полученных материалов; (4) подготовка топографического плана и 3D моделей; (5) выполнение необходимых расчетов; (6) разработка технического решения.

В заключении докладчик отметил, что качественное предпроектное обследова-

ние позволяет получить эффективное, долгосрочное и экономически выгодное техническое решение по инженерной защите в том объеме, который обеспечит безопасную эксплуатацию железнодорожного пути и объектов инфраструктуры. И предложил включить в Итоговую резолюцию конференции пункт о необходимости выполнения предпроектного обследования опасных участков при помощи современных методов и средств.

На секции 2 «Земляное полотно в сложных инженерно-геологических условиях» было заслушано 22 выступления. В частности, прозвучал доклад доцента кафедры «Путь и путевое хозяйство» РУТ (МИИТ) Андрея Александровича Зайцева, который рассказал об инженерной защите Транссибирской магистрали. В августе этого года сотрудники вуза побывали на этом объекте и в сопровождении представителей ОАО «РЖД» и ООО «РТ ТРУМЕР» увидели реализованный проект и убедились в отличном качестве всех конструкций после первого года эксплуатации.

Начав с экскурса в историю, обратившись к началу строительства этого участка Транссиба, когда склоны, потребовавшие в 2020-м году инженерной защиты от лавин и камнепадов были густо покрыты кустарниками и деревьями, докладчик затем подробно рассмотрел подходы компании «РТ ТРУМЕР» к своей работе и остановился на особенностях установленных здесь систем защиты. В частности, по его словам, хорошо, что в данном проекте был не только учтен богатый европейский опыт инженерной защиты, но и наряду с российскими применены австрийские нормативные документы: ONR 24805 Постоянная техническая защита от лавин, определение, а также статические и динамические влияния; ONR 24810 Постоянная техническая защита от камнепадов – Измерения, конструктивная часть, надзор и обслуживание; ONR 24806 Постоянная техническая защита от лавин. Измерения и конструктивная часть; ONR 24807 Постоянная техническая защита от лавин. Надзор и обслуживание.



Затем А.А. Зайцев подробно рассказал участникам секции о реализованном проекте, который стал визитной карточкой компании ТРУМЕР в нашей стране. В частности, он отметил, что от схода лавин установлено 940 м (33 ряда) снегоудерживающих барьеров Snow Rake DK 2.5, состоящих из металлических каркасов в виде ряда металлических стоек, системы тросов и высокопрочной металлической сети. Крепление к грунту стоек и тросов – анкерное. А сами конструкции имеют «парусообразный» вид, необходимый для равномерного рассеивания энергии воздействия снежных масс.

Удерживающий эффект статических систем в зоне аккумуляции заключается в том, что барьер не позволяет смещаться толще снега расчетной длины по склону.

Докладчик отметил также необходимость ускоренного развития методов физического моделирования и тестирования применяемых технических решений (металлических сетчатых конструкций) в нашей стране.

От скально-обвальных явлений на участке Аша-Миньяр установлены сетчатые барьеры высотой от 3,0 до 4,5 м с устройством анкерных креплений, общей длиной 4124,0 м. При этом на тех противокаменпадных барьерах, где требуется дополнительно учитывать снеговую нагрузку, дополнительно устанавливается тормозной элемент типа «AVT» (внутри стопорное кольцо).

В заключении докладчик подчеркнул, что в целях обеспечения эксплуатационной надежности земляного по-

лотна и внедрения новых эффективных методов его усиления и защите инфраструктуры железнодорожного пути необходимо:

- принять во внимание масштабный проект по защите железнодорожного пути металлическими сетчатыми конструкциями на 10 км 1727-1737 км Транссибирской магистрали, реализованный по техническим решениям «РТ ТРУМЕР»;
- продолжить работу по развитию и внедрению методов предпроектных исследований и инженерно-геологических изысканий, в т.ч. с применением БПЛА;
- совершенствовать нормативную документацию, в т.ч. по методам оценки надежности земляного полотна, эксплуатируемого в условиях развития скально-обвальных и лавиноопасных участков;
- совершенствовать систему тестирования и моделирования применяемых решений и систем мониторинга, оценки качества работ и текущего обслуживания.

Наконец, Сергей Валерьевич Горбонос, заместитель начальника службы пути Куйбышевской дирекции инфраструктуры ОАО «РЖД», представил еще одно выступление, касающегося проекта, реализованного в Аше. Он рассказал о применении защитных сооружений и оповестительной системы извещения на скально-обвальном и лавиноопасном участке Аша – Миньяр, представив точку зрения заказчика.

По его словам, земляное полотно Куйбышевской железной дороги в целом достаточно проблемное. В частности, он выделил 157 мест большого земляного

полотна протяженностью более 75 километров. Среди проблем – 45 скально-обвальных участков и 17 лавиноопасных участков, в основном расположенных у подножия Уральских гор, на прижимных участках. И это не просто статистика. Лавины и камнепады, на указанных участках все еще имеют место.

В связи с этим, по словам докладчика, в 2020-21 годах силами ООО «ТрансГео-Сервис» был реализован проект по инженерной защите участка 1727-1737 общей стоимостью 1,866 млрд рублей. От опасных природных процессов были защищены 6 километров пути. Дополнительно была установлена и апробируется система оповещения на тот случай срабатывания защитного барьера на нагрузку от камнепада. «При возникновении неблагоприятного события, происходит передача сигнала дежурным по станциям, ограничивающим перегон Аша-Миньяр», - отметил он.

Заключение ►

На Куйбышевской железной дороге, да и на многих других объектах инфраструктуры железнодорожных путей нашей страны, еще много участков, незащищенных от опасных природных процессов. Руководство ОАО «РЖД» понимает все риски, связанные с камнепадами, лавинами и оползнями, поэтому готово к дальнейшей реализации проектов, аналогичных инженерной защите участка Аша-Миньяр. Видится, что благодаря предпроектным обследованиям и методикам, которые выполняются и развиваются в ООО «РТ ТРУМЕР», эта работа может быть выполнена максимально эффективно. **И**



TRUMER
Schutzbauten

www.trumer.cc

Россия:
ООО «РТ Трумер»
119002, г. Москва, переулок Сивцев Вражек,
дом 29/16

Тел.: +7 915 022 75 17
E-Mail: info@trumer.ru

ЗАЩИТА ОТ ПРИРОДНЫХ ОПАСНОСТЕЙ

TRUMER Schutzbauten — ваш компетентный и опытный партнер в области обеспечения эффективной защиты от природных опасностей:

- ▶ камнепадов,
- ▶ оползней,
- ▶ селей,
- ▶ обвалов,
- ▶ лавин,
- ▶ береговой эрозии.



Следуя девизу

**«БЕЗОПАСНОСТЬ, ОБЕСПЕЧЕННАЯ ПРОФЕССИОНАЛАМИ, —
БЕЗОПАСНОСТЬ БЕЗ КОМПРОМИССОВ»,**

компания ТРУМЕР разрабатывает и реализует надежные,
эффективные и экономичные решения.



О МОНОГРАФИИ Е.М. ПАШКИНА «ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ДЕФОРМАЦИЙ ПАМЯТНИКОВ АРХИТЕКТУРЫ»

ВИКТОР АНАНКО
Главный редактор

В 2022 году было опубликовано четвертое издание монографии Е.М. Пашкина «Инженерно-геологическая диагностика деформаций памятников архитектуры». Летом эта книга получила Диплом Союза архитекторов России как лучшее печатное издание об архитектурном наследии. Автор поделился с нами историей того, как им было создано это новое направление в инженерной геологии – инженерно-геологическая диагностика памятников архитектуры.

ON THE MONOGRAPH "ENGINEERING-GEOLOGICAL DIAGNOSTICS OF DEFORMATIONS OF ARCHITECTURAL MONUMENTS" BY E.M. PASHKIN

VIKTOR ANANKO
Editor-in-Chief

In 2022, the fourth edition of the monograph «Engineering-geological diagnostics of deformations of architectural monuments» by E.M. Pashkin was published. In the summer, this book received the Diploma of the Union of Architects of Russia as the best printed publication on the architectural heritage. The author has shared with us the story of how he created such a new scientific field in Engineering Geology as Engineering-Geological Diagnostics of Architectural Monuments.

В 2022 году увидело свет четвертое издание монографии Евгения Меркурьевича Пашкина «Инженерно-геологическая диагностика деформаций памятников архитектуры». В июне на пятом Съезде Союза архитекторов России в Нижнем Новгороде книга получила диплом этой организации как лучшее печатное издание об архитектурном наследии. Случай неординарный и, наверное, уникальный. Ранее геологам, насколько нам известно, не присуждались подобные архитектурные награды.

Как рассказывает автор, работая над книгой, он реализовал две свои ипостаси – инженера-геолога тоннельщика и специалиста по оценке причин деформаций памятников архитектуры. «Я проходил производственную практику на Ленинских горах, когда строили метрострой и делали в оползневой склон врезку тоннеля. Тогда выполнялась очень сложная работа по оценке состояния геологической среды для двух очень серьезных сооружений: моста и метрополитена. После окончания практики и защиты дипломного проекта меня приняли на работу в Метрогипротранс инженером-геологом по изысканиям Московского метрополитена. Хотя, окончив школу, я мечтал поступать в МАРХИ, но по стечению обстоятельств пошел учиться во МГРИ. Учился хорошо, но без всякого интереса. Сидел в знаменитой двадцатой аудитории и читал книги по архитектуре. Всего Грабаря прочитал на общих лекциях по геологии. После окончания обучения снова хотел поступать в МАРХИ, но по тем правилам сначала надо было отработать минимум три года по полученной специальности. Так в конечном счете я остался инженером-геологом, хотя интерес к архитектуре никогда не про-



Е.М. Пашкин с книгой и дипломом



Диплом Союза Архитекторов
Е.М. Пашкину



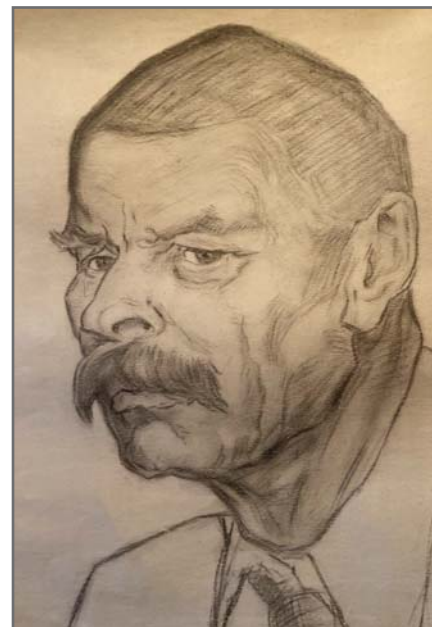
Диплом Союза Архитекторов
монографии



Портрет брата. Е.М. Пашкин



Портрет Ван Клиберна. Е.М. Пашкин



Портрет Горького. Е.М. Пашкин

падал. Вечерами я любил гулять по центру Москвы и рассматривать архитектуру древнего города. Кроме того, я всегда любил рисовать и у меня это неплохо получалось, – делится воспоминаниями Е.М. Пашкин.

Сразу после защиты кандидатской диссертации Евгения Меркурьевича в 1968 году приняли в Научно-методический совет Министерства культуры СССР. «Меня привлекли как гидрогеолога для решения вопросов увлажнения фундаментов и конструкций Останкинского дворца. До этого я практически целый год занимался этой проблемой», – говорит он.

То есть уже 54 года назад он как специалист, используя профессиональные знания инженера-геолога, занимался проблемами сохранения памятников русской архитектуры. Однако, по его словам, всегда на всех заседаниях этого Совета, в котором работали в основном искусствоведы и архитекторы, специалиста в области инженерной геологии возмущало, что рассматривался только сам памятник, а оценка состояния его основания не интересовала членов Совета. А ведь памятник и геологическая среда – это система, в которой есть два равнозначных и взаимовлияющих элемента. «Я все время их атаковал на этот счет. Ведь именно от основания «болезнь» подступает к памятнику и там чаще всего скрывается проблема его плохого состояния, которую надо решать, а не заниматься лечением «симптомов». Эти настойчивость и упорство привели к тому, что я начал работать

именно в этом направлении», – отмечает Е.М. Пашкин.

В эпиграфе к четвертому изданию книги приведена цитата Евгения Васильевича Михайловского, советского реставратора и искусствоведа, автора трудов по теории реставрации. «...реставрация памятников архитектуры представляет собой чрезвычайно сложный процесс, специфические особенности которого с трудом улавливаются и понимаются далеко не всеми, даже у самих реставраторов иногда отсутствует ясное представление как о целях и задачах реставрации, так и об особенностях ее методики в самом широком ее истолковании». И вот именно инженерно-геологические аспекты сохранения памятников архитектуры и являются одной из тех самых важнейших специфических особенностей, важность которой понимается не всеми.

Системный подход и новое направление в инженерной геологии ▶

Член Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии, Почетный строитель России, профессор И.В. Дудлер в предисловии к четвертому изданию пишет, что «автор, базируясь на системном подходе к проблеме инженерно-геологической диагностики деформирования памятников архитектуры, последовательно рассматривает комплекс приоритетно значимых вопросов в этой области. Автор не только выстраивает логический алгоритм подхода к этой

проблеме, но и обосновывает с инженерно-геологических позиций пути управления устойчивостью и длительной сохранностью памятников архитектуры в условиях неизбежных природно-техногенных изменений в пределах исторических территорий».

В чем же заключается этот системный подход автора? Инженерно-геологическая диагностика – новое направление в инженерной геологии, которое создал и долгие годы разрабатывал именно Е.М. Пашкин. В частности, кроме рассматриваемой монографии, им выпущен целый ряд методических указаний, учебник инженерной геологии для реставраторов и более 150 статей по инженерно-геологической диагностике. Именно благодаря его упорству удалось добиться понимания в среде архитекторов самого важного – что все архитектурные памятники стоят на земле и именно отсюда вытекает большинство их проблем.

«Я им часто приводил образные сравнения памятника и геологической среды с неравным браком, когда красавицу белокаменную архитектуру в праздничных нарядах выдают замуж за гнилой грунтовый массив, которому миллионы лет. Теперь меня часто приглашают в Союз архитекторов прочитать лекции. Так что дело сдвинулось с мертвой точки», – рассказывает Е.М. Пашкин. – «Таким сложным, окольным путем я перешел от инженерно-геологических исследований тоннелей к инженерно-геологической диагностике памятников архитектуры. Здесь есть одна очень

важная особенность по сравнению с привычными инженерно-геологическими изысканиями. Те, кто пытался включиться в эту работу, изначально использовали современные методы исследований и выполняли работу так, будто речь идет о новом строительстве, а не о реконструкции объектов, имеющих историю в целые столетия. А для того, чтобы заниматься диагностикой, надо уметь получать информацию определенного характера, выискивать признаки, отражающие «болезни» памятников и исправлять причину проблемы. И я очень рад, что

уже многие начали признавать, что эта работа необходима, без нее невозможно заниматься спасением и сохранением памятников архитектуры для будущего».

Обратная информационная связь ▶

Инженерно-геологическая диагностика памятников архитектуры – новое направление в инженерной геологии, базирующееся на обратной информационной связи. Евгений Меркурьевич более тридцати лет изучал разные памятники, искал их проблемы, делал выводы. И,

получая такую обратную информационную связь, сформировал прямое направление исследований, начиная от того, как получать информацию и какие принимать решения в том или ином случае. Он успешно доказал, что в деле сохранения памятников архитектуры важнейшую роль играет изучение инженерно-геологических условий, в которых они находятся. И именно в них чаще всего кроются все «болезни», как он сам выражается, этих памятников. Ну а подробнее обо всем этом читатели могут узнать из его книги. **И**

Авторам электронного журнала «ГеоИнфо» и портала geoinfo.ru

Редакция журнала «ГеоИнфо» поставила перед собой амбициозную задачу – стать одним из основных источников достоверной, объективной, рецензируемой информации для ученых и производственных специалистов в сфере инженерных изысканий для строительства, геотехнического проектирования, инженерной защиты территории и геологического риска. Для этого мы приняли решение разделить портал geoinfo.ru и журнал «ГеоИнфо». Что это значит для вас и для нас, рассказываем ниже.

На портале geoinfo.ru мы продолжим регулярно публиковать все статьи, поступающие в редакцию журнала «ГеоИнфо». Они будут размещены в свободном, открытом доступе для всех наших читателей. Здесь будут собраны и научные, и производственно-практические, и обзорные, и аналитические материалы.

Препринты на портале перед размещением в открытом доступе не проходят обязательное рецензирование и научное редактирование, поэтому мы не гарантируем достоверность информации.

В электронном журнале «ГеоИнфо», который выходит в 2022 году ежемесячно, мы собираем главные материалы, опубликованные на нашем портале. Мы начали рецензировать оригинальные научные и производственно-практические статьи, поступившие на рассмотрение в редакцию. Пока таких статей не много. В случае положительного заключения рецензента, статья получает префикс DOI.

Перед направлением в редакцию научной или производственно-практической статьи, пожалуйста, ознакомьтесь с требованиями, предъявляемыми к таким статьям, с правилами оформления материалов и нашими критериями академической и издательской этики.

Высылайте Ваши статьи на электронную почту info@geoinfo.ru.