

Независимый электронный журнал ГеоИнфо

Достижения в проведении
оперативного мониторинга
многолетней мерзлоты...
Стр. 6

Применение пространственного
многокритериального анализа
для оценки опасности...
Стр. 30

«Добровольные»
требования к проектной
документации...
Стр. 50



GEOINFO

ISSN 2949-0677 (ONLINE)

WWW.GEOINFO.RU

JULY/AUGUST • ИЮЛЬ/АВГУСТ • ТОМ VI • 7/8-2024

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



Геотехническая лаборатория
АО «МОСТДОРГЕОТРЕСТ»



ГК «ОЛИМПРОЕКТ»

СПОНСОРЫ ПРОЕКТА



ООО «МИДАС» / MIDAS IT



MalinSoft



ООО «ГЕОИНЖСЕРВИС» / FUGRO



ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС «ENGGEO»



ООО «КОМПАНИЯ «КРЕДО-ДИАЛОГ»

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. Герсванова, 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.

Шарафутдинов Рафаэль Фаритович

Директор НИИОСП им. Н.М. Герсванова, ученый секретарь Российского Общества по Механике Грунтов, Геотехнике и Фундаментостроению (РОМГГиФ), член ISSMGE, к.т.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: 10 выпусков в год.

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:

ИП 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

Дьяченко Людмила
Специальный корреспондент

Еремеева Мария
Специальный корреспондент

Виноградова Вера
Специальный корреспондент

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: 28.08.2024

© Ананко Виктор Николаевич, 2024

© ГеоИнфо, 2024

Фото на обложке: www.Pixabay.com

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

Достижения в проведении оперативного мониторинга многолетней мерзлоты на Шпицбергене и на материковой части Норвегии6
Исаксен К., Лутц Дж., Соренсен А.М., Годой О., Ферриги Л., Иствуд С., Аабоз С.

Воздушное геосканирование как инструмент инженерных изысканий для крупномасштабных проектов по строительству тоннелей: обобщение случаев из практики в Норвегии и Индии20
Расмуссен А.Х., Линарес Г.М., Кристенсен К.В., Малик С., Скурдал Г.Х., Пфафхубер А.А.

ГЕОРИСКИ. ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ТЕРРИТОРИЙ

Применение пространственного многокритериального анализа для оценки опасности камнепадов и планирования стратегий защиты от них вдоль линейных сооружений30
Фория Ф., Мичели Г., Тамбурины А., Вилла Ф., Реч А., Эпифани Ф.

МЕХАНИКА ГРУНТОВ И ГЕОТЕХНИКА

Анализ влияния строительства и осушения глубокого котлована на осадки поверхности40
Ли С., Чжоу Т., Ван И., Хан Цз., Ван Я., Тонг Ф., Ли Д., Вэнь Цз.

ПРИЛОЖЕНИЕ. ДИСКУССИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

«Добровольные» требования к проектной документации, подаваемой на госэкспертизу: нельзя отказаться – можно выбирать50
Еремеева Мария

Баборькин Максим: Не в количестве стадий дело, а в качестве инженерных изысканий и проектирования54

Мониторинг оползней в Сочи: как задача государственного масштаба скатилась к частной инициативе58
Виноградова Вера

Алексей Герелис: нужна единая государственная система мониторинга опасных природных явлений в Сочи62

Как Красноярский край намерен процветать на многолетней мерзлоте68
Еремеева Мария

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, мерзловедение 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

Advances in operational permafrost monitoring on Svalbard and in Norway6
Isaksen K., Lutz J., Sorensen A.M., Godoy O., Ferrighi L., Eastwood S., Aaboe S.

Airborne geoscanning as a site investigation tool in large-scale tunnelling projects: a synthesis of case studies from Norway and India20
Rasmussen A.H., Linares G.M., Christensen C.W., Malik S., Skurdal G.H., Pfaffhuber A.A.

GEORISKS. ENGINEERING PROTECTION OF TERRITORIES

Application of spatial multi-criteria analysis (SMCA) to assess rockfall hazard and plan mitigation strategies along long infrastructures30
Foria F., Miceli G., Tamburini A., Villa F., Rech A., Epifani F.

SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICS

Response analysis of deep foundation excavation and dewatering on surface settlements40
Li X., Zhou T., Wang Y., Han J., Wang Y., Tong F., Li D., Wen J.

APPENDIX. DISCUSSION MATERIALS

“Voluntary” requirements for project documentation submitted for state expertise: one cannot refuse – one can choose50
Eremeyeva Mariya

Baborykin Maksim: it is not a matter of the number of stages, but of the quality of the engineering surveys and design of linear objects54

Monitoring of landslides in Sochi: how a state-scale task has drifted into a private initiative58
Vinogradova Vera

Alexey Gerelis: A unified state system for monitoring hazardous natural phenomena in Sochi is needed62

How the Krasnoyarsk Territory intends to prosper on permafrost68
Eremeyeva Mariya



GEOINFO

Electronic publication

Published since 2016

Publication frequency:
10 issues per year

ISSN: 2949-0677

DOI prefix: 10.58339

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; Methods for Forecasting, Preventing, Minimizing and Eliminating the Consequences of Hazardous Natural Processes and Phenomena; Engineering Protection of Territories.

Founder:
Ananko Viktor Nikolaevich

Publisher:
GeoInfo, individual entrepreneur
Ananko V.N.

Address:
10/12 3rd Frunzenskaya str., Moscow, 119146, Russian Federation

Editorial staff:
editor-in-chief:
Ananko Viktor Nikolaevich;

analyst:
Vasin Mikhail Vasilyevich;

D'yachenko Lyudmila
Special Correspondent;

Eremeyeva Mariya
Special Correspondent;

Vinogradova Vera
Special Correspondent;

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: 28.08.2024

© Ananko Viktor Nikolaevich, 2024

© GeoInfo, 2024

Cover photo: www.Pixabay.com



Источник фото: Pixabay.com
The photo source: Pixabay.com

ДОСТИЖЕНИЯ В ПРОВЕДЕНИИ ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ НА ШПИЦБЕРГЕНЕ И НА МАТЕРИКОВОЙ ЧАСТИ НОРВЕГИИ

ИСАКСЕН К.

Норвежский метеорологический институт, г. Осло, Норвегия
ketili@met.no

ЛУТЦ Дж.

Норвежский метеорологический институт, г. Осло, Норвегия

СОРЕНСЕН А.М.

Норвежский метеорологический институт, г. Осло, Норвегия

ГОДОЙ О.

Норвежский метеорологический институт, г. Осло, Норвегия

ФЕРРИГИ Л.

Норвежский метеорологический институт, г. Осло, Норвегия

ИСТВУД С.

Норвежский метеорологический институт, г. Осло, Норвегия

ААБОЭ С.

Норвежский метеорологический институт, г. Тромсё, Норвегия

АННОТАЦИЯ

Представляем вниманию читателей немного сокращенный и адаптированный перевод статьи норвежских исследователей «Достижения в проведении оперативного мониторинга многолетней мерзлоты на Шпицбергене и на материковой части Норвегии» (Isaksen et al., 2022). Она была опубликована в журнале *Environmental Research Letters* («Записки по исследованиям окружающей среды») издательством британской благотворительной научной организации IOP (Institute of Physics – «Институт физики»), ставшей фактически международной. Эта статья находится в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0, которая позволяет распространять, переводить, адаптировать и дополнять ее при условии указания типов изменений и ссылки на первоисточник. В нашем случае полная ссылка на источник для представленного перевода (Isaksen et al., 2022) приведена в конце.

Веб-портал по криосфере, поддерживаемый Норвежским метеорологическим институтом (<https://cryo.met.no>), предоставляет доступ к новейшим оперативным данным по текущему состоянию морского льда, снега и многолетней мерзлоты (ММ) в Норвегии, Арктике и Антарктике. В данной статье представлены последние дополнения к этому portalу по оперативному мониторингу ММ, проводимому указанным институтом, и результаты визуализации полученных данных по температуре ММ в режиме реального времени.

Новейшие данные по температуре многолетней мерзлоты сравниваются с климатологической информацией, полученной с метеостанций, включая медианные значения, доверительные интервалы, экстремальные величины и тренды. В местах наблюдений, выполняемых Норвежским метеорологическим институтом, работают дополнительные метеостанции с расширенными программами измерений. Система комплексного

мониторинга предоставляет ежедневно обновляемые данные для изучения текущего состояния, трендов и воздействий, например влияния экстремальных климатических явлений на температуру ММ.

Изменения температуры грунта, полученные на основе многолетних наблюдений в зоне более теплой многолетней мерзлоты, обнаруженной в Норвегии, обычно составляют 0,1–0,2 °С за десятилетие. А в зоне более холодной ММ в высоких широтах Арктики на архипелаге Шпицберген наблюдается потепление на величины до 0,7 °С за десять лет.

Оперативный мониторинг позволяет получать информацию быстрее, чем когда-либо прежде, что потенциально может помочь в раннем обнаружении, например, рекордно высокой толщины деятельного слоя (слоя сезонного оттаивания) и заметного повышения температуры многолетней мерзлоты. Он также может стать краеугольным камнем систем раннего предупреждения о природных опасностях, связанных с потеплением и деградацией ММ.

В настоящее время результаты этого мониторинга передаются вручную в международную Глобальную наземную сеть наблюдений за многолетней мерзлотой (GTN-P), для которой планируется интеграция с оперативными службами Всемирной метеорологической организации (WMO) через Глобальную службу наблюдений за криосферой WMO.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

оперативный мониторинг; криосфера; изменения климата; многолетняя мерзлота.

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Исаксен К., Лутц Дж., Соренсен А.М., Годой О., Ферриги Л., Иствуд С., Аабоз С. Достижения в проведении оперативного мониторинга многолетней мерзлоты на Шпицбергене и на материковой части Норвегии (пер. с англ.) // ГеоИнфо. 2024. Т. 6. № 7. С. 6–19. DOI:10.58339/2949-0677-2024-6-7-8-6-19.

ADVANCES IN OPERATIONAL PERMAFROST MONITORING ON SVALBARD AND IN NORWAY

ISAKSEN K.

The Norwegian Meteorological Institute,
Oslo, Norway
ketili@met.no

LUTZ J.

The Norwegian Meteorological Institute,
Oslo, Norway

SORENSEN A.M.

The Norwegian Meteorological Institute,
Oslo, Norway

GODOY O.

The Norwegian Meteorological Institute,
Oslo, Norway

FERRIGHI L.

The Norwegian Meteorological Institute,
Oslo, Norway

EASTWOOD S.

The Norwegian Meteorological Institute,
Oslo, Norway

AABOE S.

The Norwegian Meteorological Institute,
Tromsø, Norway

ABSTRACT

We present a slightly abridged and adapted translation of the paper “Advances in operational permafrost monitoring on Svalbard and in Norway” by Norwegian researchers (Isaksen et al., 2022). It was published in the journal “Environmental Research Letters” by the publishing company of the British scientific society “Institute of Physics” (IOP) that is now virtually international. It is an open access article under the CC BY 4.0 license that allows it to be distributed, translated, adapted, and supplemented, provided that the types of changes are noted and the original source is referred to. In our case, the full reference to the original paper (Isaksen et al., 2022) used for the presented translation is given in the end.

The cryosphere web portal maintained by the Norwegian Meteorological Institute (<https://cryo.met.no>), provides access to the latest operational data and to the information on the current state of the sea ice, snow, and permafrost in Norway, the Arctic, and the Antarctic. The paper presents the latest addition to this portal on the operational permafrost monitoring by the institute and on the methods for visualising real-time permafrost temperature data.

The latest permafrost temperatures are compared to the climatology data from weather stations, including medians, confidence intervals, extremes, and trends. There are additional operational weather stations with extended measurement programs at these locations. The collocated monitoring offers daily updated data for studying and monitoring the current state, trends, and the effects of, e. g., extreme climate events on permafrost temperatures.

Ground temperature rates obtained from the long-term records in the warmer permafrost found in Norway are typically 0.1–0.2 °C per decade. In contrast, in the colder permafrost of the high latitudes of Arctic on Svalbard, warming rates are up to 0.7 °C per decade.

The operational monitoring provides information faster than ever before, potentially assisting in the early detection of, e. g., high active layer thickness and pronounced permafrost temperature increases. It may also become a cornerstone of early warning systems for natural hazards associated with permafrost warming and degradation.

Currently, the data are submitted manually to the international Global Terrestrial Network for Permafrost and are scheduled for integration with the operational services of the World Meteorological Organisation (WMO) through the WMO Global Cryosphere Watch.

KEYWORDS:

operational monitoring; cryosphere; climate change; permafrost.

FOR CITATION:

Isaksen K., Lutz J., Sorensen A.M., Godoy O., Ferrighi L., Eastwood S., Aaboe S. Dostizheniya v provedenii operativnogo monitoringa mnogoletney merzloty na Shpitsbergene i na materikovoy chasti Norvegii [Advances in operational permafrost monitoring on Svalbard and in Norway] (translated from English into Russian) // *Geoinfo*. 2024. T. 6. № 7. S. 6–19. DOI:10.58339/2949-0677-2024-6-7-8-6-19 (in Rus.).

ВВЕДЕНИЕ ►

В отличие от морского льда и снежного покрова многолетняя мерзлота (ММ) не видна на поверхности земли. Измерения температуры грунта в скважинах – наилучший способ мониторинга долговременных изменений ММ. Самыми непосредственными и сопоставимыми показателями этих изменений являются температура ММ и мощность деятельного слоя (слоя сезонного оттаивания) [1] (третьим так называемым главным параметром, на который здесь не указали авторы, но говорили о нем позже, является глубина нулевых годовых амплитуд грунта, на которой не сказываются сезонные колебания температуры воздуха на поверхности грунтового массива. – *Ред.*). По данным Глобальной системы наблюдений за климатом (Global Climate Observing System), эти две переменные отражают важнейшие климатические изменения [2, 3].

Многолетняя мерзлота является крупнейшим поглотителем углерода на суше. Она удерживают 1070–1360 млрд метрических тонн (Пг – петаграмм) замороженного и тающего углерода, из которых 300–400 Пг находятся в первых верхних метрах, а остальная часть – на более глубоких уровнях [4]. Таяние ММ грозит мобилизацией этих запасов и выбросом их в атмосферу в составе углекислого газа или метана и превращению Арктики из поглотителя углерода в его источник [5].

Измерения показывают, что многолетняя мерзлота нагревается в глобальном масштабе [6, 7] и подвергается деградации с обширными и потенциально быстрыми последствиями, влияющими как на естественные [8–11], так и на антропогенные [12, 13] системы. Последние модели CMIP6 (по Шестому международному проекту сравнения объединенных моделей – Coupled Model Intercomparison Project 6) прогнозируют глобальное сокращение среднегодового объема замороженной многолетней мерзлоты примерно на 10–40% на 1 °C глобального изменения приземной температуры воздуха [14].

Систематический долговременный мониторинг ММ в Северной Европе на-

чался в основном в рамках финансируемого Европейским Союзом проекта PACE (Permafrost and Climate in Europe – «Многолетняя мерзлота и климат в Европе») [15] с установки приборов для измерений температуры грунта в глубоких скважинах на мерзлотной станции Янссонхауген на Шпицбергене в 1998 году и на станции Юввашё на юге материковой части Норвегии в 1999 году [16, 17]. Они были одними из первых опорных станций для мониторинга многолетней мерзлоты в Европе [15] и предоставили первую возможность для анализа трендов изменений ММ во времени, добавив критически важные измерения нового типа к современным знаниям о состоянии ММ в Северной Европе [18, 19].

С 2000 года на архипелаге Шпицберген и на материковой части Норвегии было пробурено более 35 дополнительных скважин, оснащенных измерительной аппаратурой. Например, в 2001 году в Снёхейм-Йеркинне (Доврефелье) на юге Норвегии была создана сеть мониторинга из неглубоких скважин [20]. В этом же районе в августе 2008 года на разных высотных отметках по градиенту континентальности было пробурено еще 12 неглубоких скважин [21]. В ходе Международного полярного года (2007/2008 г.) были созданы сети мониторинга ММ на севере материковой части Норвегии, а также на Шпицбергене [22]. В последние годы (2019–2021 гг.) в удаленных местах Шпицбергена были созданы новые скважины в рамках проектов SIOS (Svalbard Integrated Arctic Earth Observing System – «Интегрированная арктическая система наблюдений за Землей на Шпицбергене», <https://sios-svalbard.org/>) и COAT (Climate-Ecological Observatory for Arctic Tundra – «Климатоэкологическая станция наблюдений за арктической тундрой», www.coat.no/en/) [23]. В тех же местах также были созданы действующие метеостанции с расширенными программами измерений. Благодаря такому совмещенному мониторингу ежедневно предоставляются точные данные для изучения текущего состоя-

ния, трендов и воздействий, например экстремальных климатических явлений, на температуру многолетнемерзлых грунтов.

В настоящее время проводится обширный мониторинг для сбора информации о распространении, состоянии и изменениях ММ на долговременной основе [6, 7]. Эти данные отслеживаются во всем мире с помощью нескольких национальных и международных программ. Однако сбор данных по большей части выполняется вручную примерно раз в год с каждой точки наблюдений. Из-за медленности пополнения баз данных или предоставления доступа к ним самая последняя информация в них может оказаться двухлетней или более давности. Поэтому доступность данных по многолетней мерзлоте в реальном времени в настоящее время очень ограничена. Это является существенным препятствием для непрерывного мониторинга и оценки криосферы, проводимых, например, Глобальной службой наблюдений за криосферой (Global Cryosphere Watch, GCW) Всемирной метеорологической организации (World Meteorological Organisation, WMO).

Вклад авторов настоящей статьи позволяет разработчикам моделей и исследователям значительно улучшить доступ, анализ и оценку последних данных по многолетней мерзлоте. Такие данные также будут важны для разработки эффективных систем раннего предупреждения, а также для оценки природных опасностей и рисков в отношении ущерба инфраструктуре из-за потепления и таяния ММ.

Веб-портал по криосфере (<https://cryo.met.no>) предоставляет информацию о текущем состоянии морского льда, снега на суше и многолетней мерзлоты в Норвегии, Арктике и Антарктике, мониторинг которых осуществляет Норвежский метеорологический институт (НМИ). Новейшие оперативные данные и продукты их обработки и анализа визуализируются в виде ежедневно обновляемых графиков с инструкциями о том, где получить доступ к этим данным. Указанный веб-

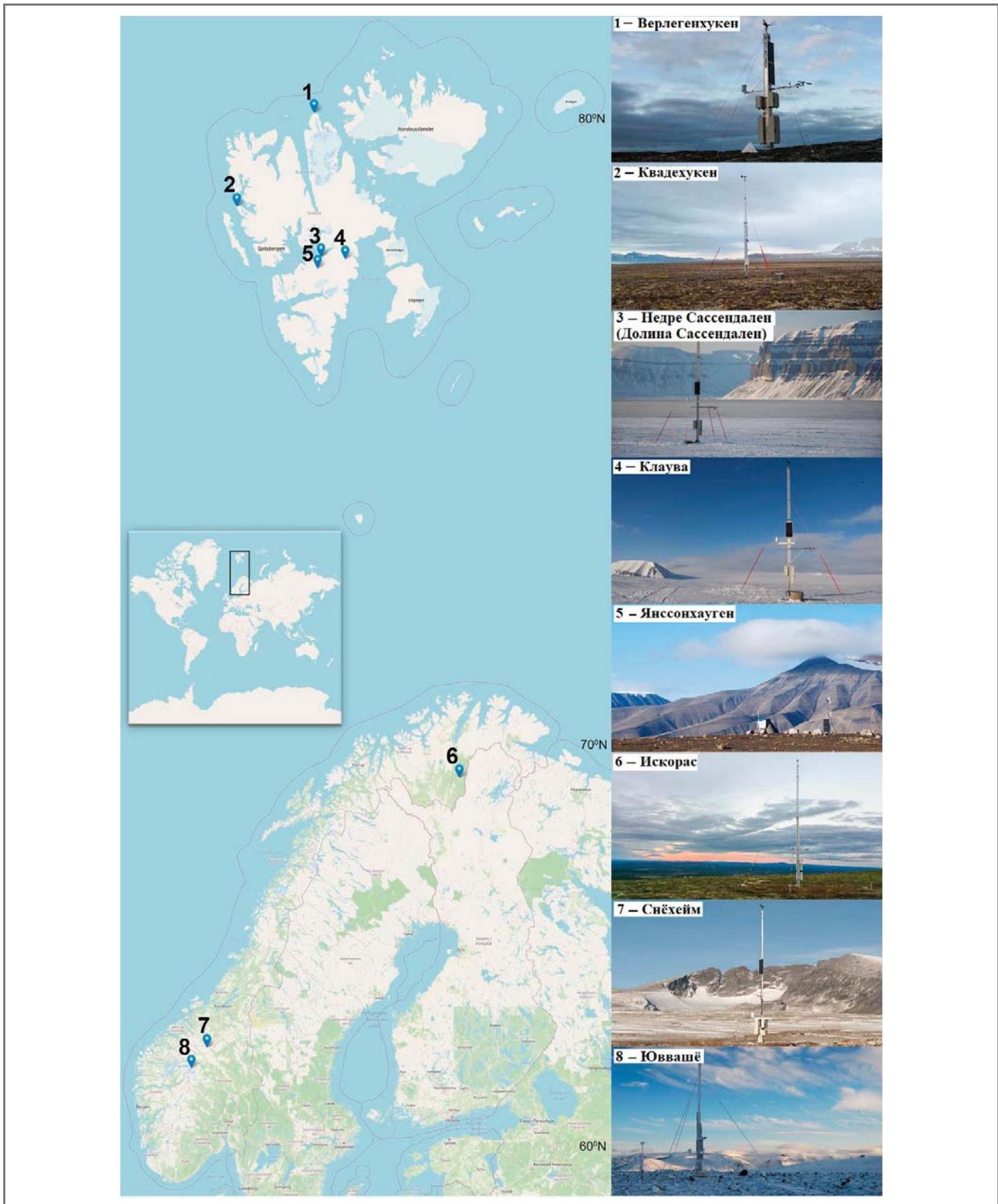


Рис. 1. Расположение мерзлотных станций на материковой части Норвегии и на Шпицбергене (источник фоновой карты: <https://cryo.met.no/en/permafrost> по состоянию на август 2022 г.; авторы фотографий: Бернт Энге Ларсен (1), Шгейн Торе Педерсен (3–5, 7–8), Кегил Исаксен (6), Тоне Хусебай)

портал был создан в 2019 году для сбора и более хорошей визуализации работы и наблюдений НМИ в отношении криосферы. Легкий открытый доступ к результатам наблюдений за криосферой, проводимым практически в режи-

ме реального времени, необходим для того, чтобы сосредоточить внимание на быстро меняющемся климате и лучше понять эти изменения.

Работа, лежащая в основе различных данных и продуктов их обработки и

анализа, осуществляется с помощью нескольких источников, обеспечиваемых НМИ, крупными норвежскими проектами, такими как SIOS и COAT, и крупными европейскими программами – например, Европейской организа-

Таблица. Список мерзлотных станций (источник: <https://cryo.met.no/> по состоянию на июль 2022 г.)

Код станции	Название станции	Регион	Год начала работы	Высотная отметка, м	Максимальная глубина измерений, м
9380	Снёхейм	Материковая часть Норвегии	2001	1475	8,5
15270	Юввашё		1999	1894	100
97710	Искорас		2008	591	52,5
99875	Янссонхауген	Шпицберген	1998	275	100
99882	Недре Сассендален (Долина Сассендален)		2021	13	30
99884	Клаува		2021	480	30
99895	Квадехукен		2021	5	30
99927	Верлегенхукен		2019	8	30

ции по эксплуатации метеорологических спутников (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites, EUMETSAT), Центра спутникового мониторинга океана и морского льда (Ocean and Sea Ice Satellite Application Facility, OSI SAF), Инициативы Европейского космического агентства в области изменений климата (European Space Agency Climate Change Initiative, ESA CCI), служб программы Европейского союза по наблюдениям за Землей «Коперник» (Copernicus services).

Настоящая статья посвящена оперативному мониторингу многолетней мерзлоты, осуществляемому НМИ, и материалам по ММ, доступным на сайте <https://cryo.met.no/en/permafrost>. Различные информационные продукты по ММ доступны по данным первых норвежских эталонных мерзлотных станций Янссонхауген и Юввашё и шести других станций на материковой части Норвегии и на Шпицбергене.

МЕТОДЫ ►

Работающие мерзлотные станции ►

Норвежский метеорологический институт располагает обширной сетью оперативных метеорологических наблюдений, охватывающей материковую часть Норвегии и архипелаг Шпицберген. Стратегия мониторинга многолетней мерзлоты заключается в создании полномасштабных метеостанций (вместе с мерзлотными станциями в тех же местах), чтобы проводить наблюдения эффективно, экономично и обеспечивать быстрый и легкий доступ к данным. Такую сеть институт выстраивал много лет. В целом, данные по температуре грунта передаются в режиме реального времени с восьми объектов для обеспечения оперативного мониторинга состояния ММ (рис. 1, таблица).

Система измерений температуры многолетней мерзлоты и их выполнение ►

На всех указанных мерзлотных станциях данные фиксируются автоматически с помощью регистраторов производства компании Campbell Scientific со встроенным программным обеспечением (производства одноименной компании). Эти регистраторы подключаются к цифровым термометрическим кодам температуры (термисторам) напрямую или, в случае аналоговых термометрических кодов, через мультиплексор (на станциях Янссонхауген и Юввашё). Данные передаются каждые 6 часов через сеть мобильной связи GSM или через спутниковую связь системы оператора Iridium с обеспечением удаленного доступа для обновлений программы. За исключением станции Искорас, где доступно только напряжение 220 В, питающие аппаратуры обеспечиваются солнечными батареями.

Временной интервал измерений термисторами составляет 6 часов. Исключением является станция Снёхейм, где используется интервал 1 час для более хорошего учета эффектов скрытой теплоты и потенциального конвективного переноса тепла, связанного с подземными водами, образующимися из-за деградации многолетней мерзлоты и образования таликов [24]. Температуру грунта на глубине более 5 м на станциях Янссонхауген и Юввашё измеряют один раз в 24 часа. Чтобы уловить высокую изменчивость температуры вблизи поверхности земли, температуры поверхности грунтов ненарушенного естественного сложения вблизи скважин применяется почасовое разрешение. Для этого используются распределенные миниатюрные регистраторы температуры [25, 26] и стационарные датчики, жестко закрепленные на глубине 0,05 или 0,1 м, чтобы избежать атмо-

сферных возмущений и прямой солнечной радиации [24]. Стационарные датчики подключены к метеостанции, что позволяет оценивать тепловые эффекты оголовков скважин и фиксировать локальную изменчивость температуры поверхности практически в реальном времени. Более подробную информацию об использованном скважинном оборудовании и применяемой системе измерений можно получить в публикациях [16] и [22].

Система оперативной передачи данных и управления ими ►

Данные по многолетней мерзлоте со станций Норвежского метеорологического института отправляются в общую систему приема, которая преобразует их по нескольким сценариям перед подачей во внутреннюю систему контроля качества. В дополнение к стандартной индустриальной схеме отправки данных, описанной выше, эта система приема способна взаимодействовать с множеством форматов файлов и протоколов передачи, позволяя переправлять информацию со станций, принадлежащих другим организациям, имеющим оборудование, которое не соответствует спецификациям НМИ. Таким путем все данные гармонизируются и оптимизируются для последующих необходимых последовательностей операций. (В настоящее время в НМИ разрабатывается новая система контроля качества, в которой данные по многолетней мерзлоте будут подвергаться нескольким автоматическим и ручным процедурам этого контроля. Результаты наблюдений в реальном времени будут затем непрерывно проверяться на наличие подозрительных или неверных значений и соответствующим образом помечаться, а об отсутствующих наблюдениях будет сообщаться в целях немедленного выявления необходимости обслуживания той или иной станции.)

Все данные хранятся в архиве результатов наблюдений (Observation Data Archive – ODA) Норвежского метеорологического института. Этот архив представляет собой распределенную базу данных, доступную через API Frost (<https://frost.met.no/>) (API – Application Programming Interface – программный интерфейс, который описывает способы взаимодействия одной компьютерной программы с другими). API Frost обеспечивает свободный доступ к архиву исторической информации по погоде и климату НМИ и включает результаты измерений (с контролем качества) температуры грунта. Другая информация, например метаданные по метеостанциям, также доступна через API Frost.

Продукты, визуализирующие данные по температуре многолетней мерзлоты в режиме реального времени ►

На данный момент на портале <https://cryo.met.no/> предлагается 8 операционных продуктов (внутренних сервисов), которые визуализируют данные по многолетней мерзлоте в режиме реального времени. Однако этот портал постоянно развивается, и в будущем их может стать больше. Не все операционные продукты визуализируются для каждой станции, поскольку для некоторых из них решающее значение имеет определенный объем данных. Это также изменится, поскольку в ближайшие годы будет доступно все больше и больше данных.

Доступные сейчас продукты имеют следующие параметры:

- годовые временные ряды температуры грунта вблизи поверхности – на глубине 0,05 или 0,2 м;
- годовые временные ряды температуры в кровле многолетней мерзлоты;
- годовые временные ряды глубины изотермы 0 °С;
- максимальная годовая глубина изотермы 0 °С (толщина деятельного слоя);
- последний суточный профиль температуры грунта до глубины 30 м;
- среднегодовые профили температуры грунта для всех наблюдаемых глубин;
- временные ряды суточной температуры грунта для выбранных глубин (для станции Снёхейм: 0,2; 2,0; 4,5; 8,5 м; для других станций: 0,2; 1,6; 5,0; 10 м) за весь рассматриваемый период времени;
- долговременные изменения теплового состояния многолетней мерзлоты на глубине 10 и 20 м (для станции Снёхейм – на глубине 4,5 и 8,5 м).

Эти продукты производятся ежедневно и учитывают данные до преды-

дущего дня. На станции Янссонхауген результаты измерений передаются порциями, а не непрерывно в течение дня, что приводит к задержке выпуска продуктов на срок до 14 дней. Однако в будущем планируется перейти на непрерывный поток данных. На указанном портале всегда показывается самая последняя доступная информация. В результате перерывы в потоке данных могут быть быстро обнаружены.

Чтобы сравнить результаты наблюдений за текущий год или данные за текущий день с данными за предыдущий, можно использовать результаты прошлых наблюдений, которые также доступны. Для более новых станций с наблюдениями в течение менее чем 6 лет данные показываются отдельно за каждый год. Для временных рядов продолжительностью более 5 лет вычисляются абсолютные минимум и максимум, медиана, межквартильный диапазон (вероятное отклонение) и диапазон между 10-м и 90-м процентилями за последние годы. Таким образом можно быстро визуально сопоставить фактические данные. Серьезной проблемой была стандартизация этой процедуры для различных станций, поскольку некоторые из них не дают непрерывных данных, охватывают разные периоды времени и к разным станциям приходится относиться неодинаково из-за залегания многолетней мерзлоты на разной глубине.

Получение операционных продуктов ►

Визуализация данных по многолетней мерзлоте осуществляется по R-сценариям (на языке программирования R), которые извлекают данные через API Frost и генерируют рисунки. Эта последовательность операций является частью операционной системы Норвежского метеорологического института и работает в локальной высокопроизводительной вычислительной системе, которая дублируется в двух отдельных виртуальных комнатах данных. Веб-сайт, на котором представлены вышеописанные продукты, реализован с использованием системы управления содержимым Drupal (www.drupal.org/) с открытым исходным кодом, которая является гибкой, хорошо поддерживается и используется широким сообществом. Это решение позволяет расширить базовую функциональность данной системы за счет обширного списка модулей, которые можно устанавливать или разрабатывать локально для создания новых сервисов или специальных функциональных возможностей.

Веб-сайт www.drupal.org/ может предоставлять динамически обновляемые продукты, получая последние созданные изображения из локального хранилища, синхронизированного с последовательностью операций. Рисунки создаются в формате PNG с хорошим разрешением, подходящим для непосредственного использования, например в презентациях или на других веб-порталах, и доступны как на английском, так и на норвежском языках. Кроме того, мерзлотные станции геопозиционируются на интерактивной карте с помощью библиотеки с открытым исходным кодом Leaflet (<https://leafletjs.com/>), которая предназначена для отображения карт на веб-сайтах.

РЕЗУЛЬТАТЫ ►

Были проанализированы все доступные на момент написания статьи продукты визуализации для всех мерзлотных станций, работающих в реальном времени, которыми управляет Норвежский метеорологический институт. Чтобы проиллюстрировать в данной статье долговременные реакции многолетней мерзлоты на изменения климата, продолжающуюся деградацию ММ на двух станциях (Искорас и Снёхейм) и влияние экстремально теплых периодов на температуру грунта, был выбран ряд отрезков времени.

Долговременные тренды на Шпицбергене и материковой части Норвегии ►

Начиная с 1998 года мониторинг термического состояния многолетней мерзлоты дает явные свидетельства ее потепления на Шпицбергене и на материковой части Норвегии.

Станция Янссонхауген на Шпицбергене имеет самый длинный полный временной ряд из всех рассматриваемых станций. Это позволяет изучать многолетние тренды изменений температуры и состояния ММ.

На рисунке 2 представлены четыре графических изображения, которые показывают многолетние изменения температуры грунта на разной глубине на станции Янссонхауген. Все они указывают на значительное потепление ММ в этом месте. Оно особенно заметно на глубинах 10 и 20 м, где тренды увеличения температуры составляют 0,9 и 0,7 °С за десятилетие соответственно. Сезонные колебания становятся незначительными на глубине 20 м (которая соответствует уровню с нулевой годовой амплитудой), что делает температуру на этой глубине подходящим показателем долговременных изменений

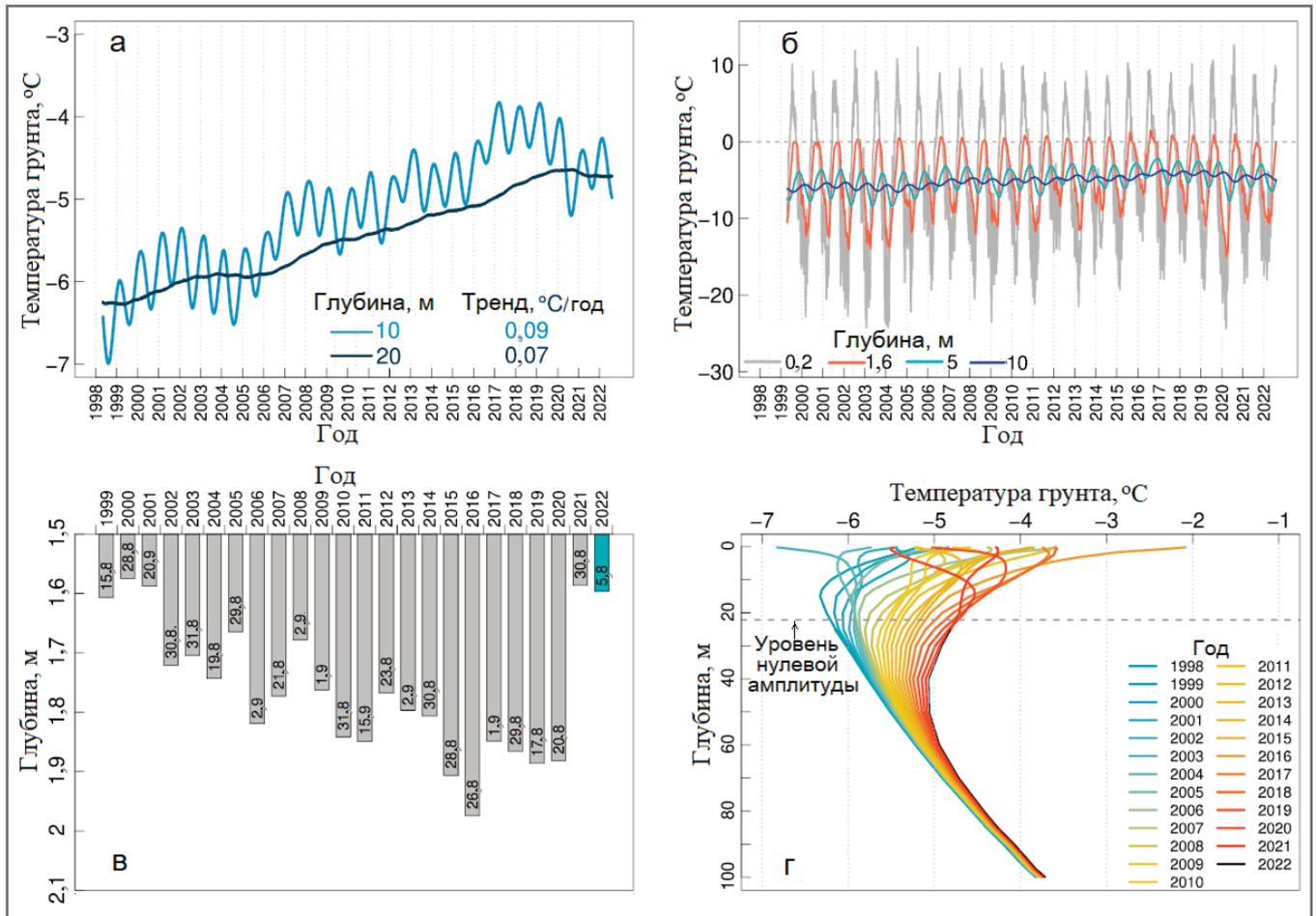


Рис. 2. Многолетние тренды изменений температуры грунта на мерзлотной станции Янссонхауген за 1998–2022 гг.: а – долговременные изменения температурного режима многолетней мерзлоты на глубине 10 и 20 м (авторы допустили неточность в графиках: если смотреть на более точные данные, представленные на рисунке 2 в статье "Project in its Global Context", DOI: 10.1002/ppp 377, температура на глубине 10 м в 1999 году превысила минус 7,5 °С. Для обсуждаемых изменений температур в пределах 0,5–0,7 °С это как раз тот интервал, который обсуждается. – *Ред.*); б – сезонные колебания температуры грунта на глубине 0,2; 1,6; 5; 10 м; в – максимальные за год глубины изотермы 0 °С с указанием на диаграмме соответствующих дат; г – профили среднегодовой температуры грунта и средняя глубина нулевой годовой амплитуды. *Примечание:* временные ряды за 2022 год включают данные до 05.08.2022

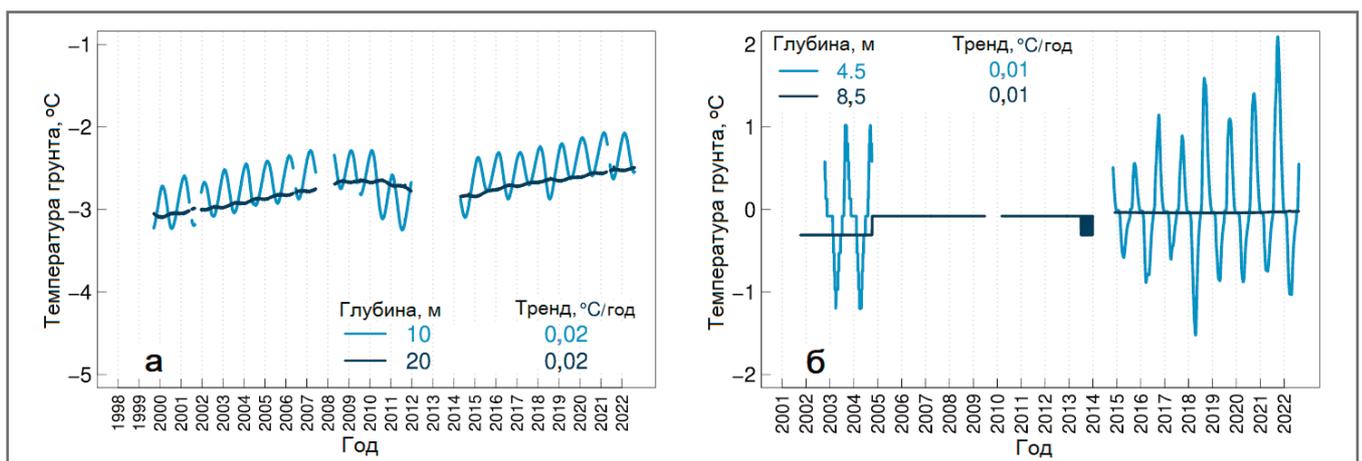


Рис. 3. Многолетние тренды изменений температуры грунта на станции Ювашё за период мониторинга 1999–2022 гг. (а) и в Снëхейме за период мониторинга 2001–2022 гг. (б). *Примечание:* временной ряд за 2022 год включает данные до 14.08.2022

теплового состояния многолетней мерзлоты [7], часто используемым в международных оценочных отчетах (например, [27, 28]). Тренды к повышению температуры грунта вблизи поверхности земли менее очевидны, поскольку ее годовые колебания там гораздо сильнее. Однако про-

фили среднегодовой температуры грунта ясно показывают тренды к росту температуры в слоях ММ вблизи поверхности. За последние 25 лет значительное потепление наблюдается на глубине до 100 м. Кроме того, четко прослеживается тренд к увеличению максимальных за год глу-

бин изотермы 0 °С (это очевидно до 2020 года, как показывает график "в" на рисунке 2; а в 2021 и 2022 году температура вернулась к уровню начала периода наблюдений; поэтому корректнее сказать, что с 2000 до 2020 год есть тренд на увеличение температуры, а с 2021 года ее уровень вер-

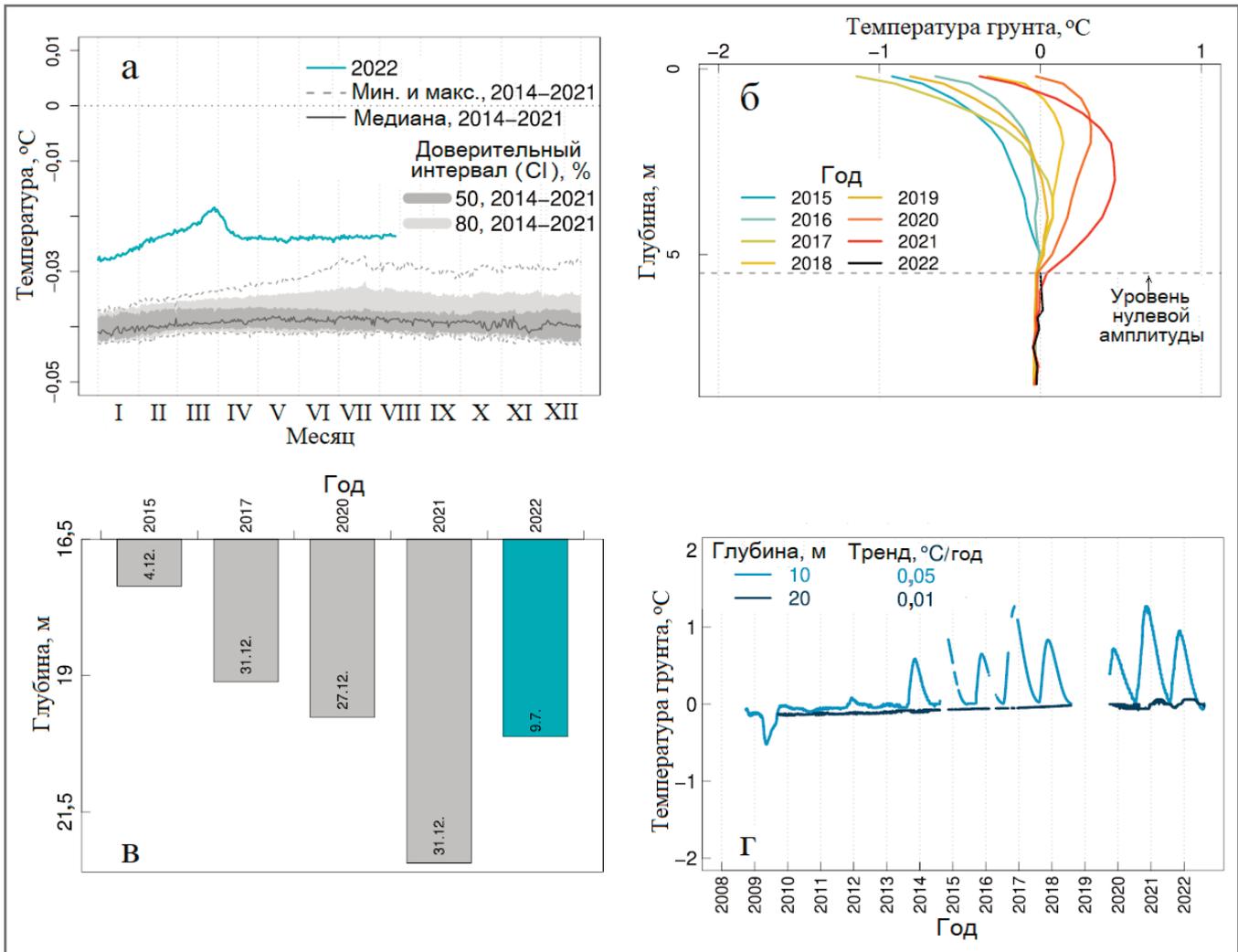


Рис. 4. Таяние многолетней мерзлоты в Снøхейме (а, б) и Искорасе (в, г): температура грунта в кровле многолетней мерзлоты на глубине 8,5 м (а); среднегодовые профили температуры грунта и средняя глубина нулевой годовой амплитуды (б); максимальные за год глубины изотермы 0 °С с указанием на диаграмме соответствующих дат (в); многолетние изменения термического состояния многолетней мерзлоты на глубинах 10 и 20 м (г). *Примечание:* временной ряд за 2022 год включает данные до 14.08.2022

нулся к изначальному за 1 год. – Ред.). Если в начале рассматриваемого временного ряда эта глубина составляла около 1,75 м, то в последние годы она в среднем приблизилась к 2 м.

На трех других станциях с многолетними наблюдениями, расположенных на материковой части Норвегии, температура многолетней мерзлоты также повышалась (рис. 3). В Юввашё на глубинах 10 и 20 м она увеличивалась со скоростью 0,2 °С за десятилетие, в Снøхейме на глубинах 4,5 и 8,5 м она повышалась со скоростью 0,1 °С за десятилетие, тогда как в Искорасе (рис. 4, г) температура грунта на глубинах 10 и 20 м увеличивалась со скоростью 0,5 и 0,1 °С за десятилетие соответственно.

Мониторинг деградации многолетней мерзлоты в Норвегии ▶

Станции Искорас и Снøхейм соответственно на севере и на юге материковой части Норвегии расположены в районах

прерывистой многолетней мерзлоты, где ММ в настоящее время тает.

На рисунке 4 представлены четыре графических изображения, иллюстрирующих деградацию ММ. В Снøхейме температура грунта на поверхности многолетней мерзлоты на глубине 8,5 м уже очень близка к 0 °С, причем в последние годы она повысилась. Среднегодовые профили температуры грунта в Снøхейме похожи на профили в Янссонхаугене. Первые признаки деградации ММ и появления «островов» талых грунтов (таликов) или водных систем можно было увидеть после чрезвычайно теплой осени в 2006 году на близлежащих участках мониторинга многолетней мерзлоты между Снøхеймом и Йеркинном (на горном хребте Доврефель) [29].

В Искорасе таяние наиболее заметно для максимальной за год глубины изотермы 0 °С, которая увеличилась примерно с 17 до 22 м. К тому же там повысилась температура грунта на глубине 10 и 20 м. В начале серии наблюдений на

этой станции в годовой амплитуде температур на глубине 10 м преобладал скрытый теплообмен. Быстрая реакция температуры грунта на деградацию многолетней мерзлоты и увеличение годовой амплитуды температуры обусловлена таянием подземного льда, что приводит к более сухому слою вблизи поверхности земли и, следовательно, к изменениям в теплообмене вблизи поверхности [29]. Тренд скорости роста температуры на глубине 10 м составляет 0,5 °С за десятилетие, что в три раза превышает скорость потепления, наблюдаемую на станции Юввашё, и является одной из самых высоких среди станций, рассматриваемых в настоящей статье.

Экстремально теплая погода на юге материковой части Норвегии в 2005 и 2006 годах ▶

На рисунке 5 показаны временные ряды температуры грунта на глубине 0,2 и 2,5 м в Юввашё (на юге материковой части Норвегии) за 2005 и

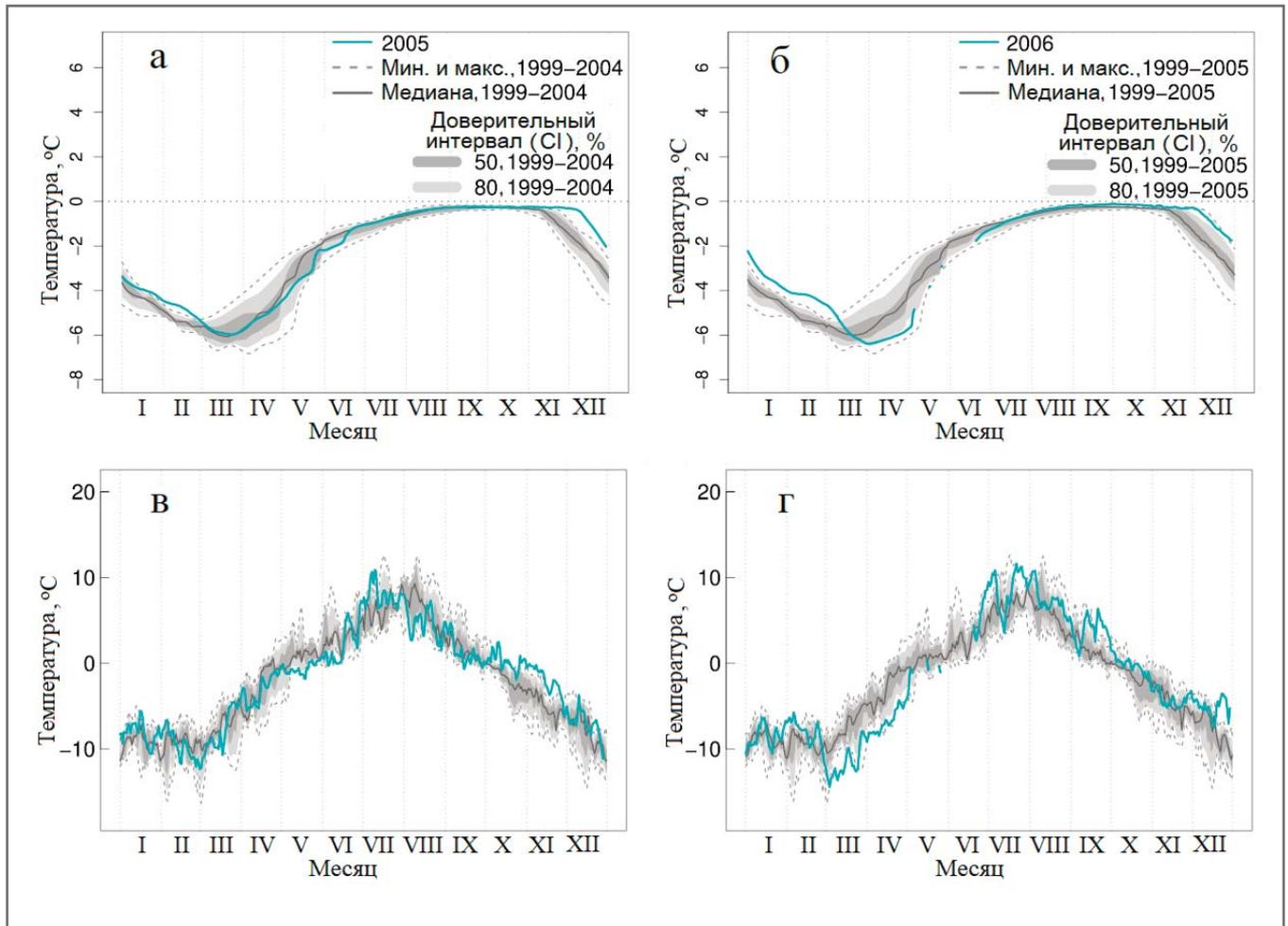


Рис. 5. Ход температуры грунта на станции Юввашё за 2005 год (а, в) и 2006 год (б, г): а, б – температура в кровле многолетней мерзлоты на глубине 2,5 м; в, г – температура грунта вблизи поверхности земли на глубине 0,2 м

2006 годы. В оба этих года было по несколько месяцев с температурой грунта выше среднего или даже выше бывшего максимума (январь, февраль, июль, октябрь, ноябрь и декабрь 2005 года; январь, февраль, ноябрь и декабрь 2006 года).

Особенно в конце лета и осенью 2006 года весьма продолжительная теплая погода затронула некоторые зоны Европы, включая южную часть материковой части Норвегии [30, 31], и привела к рекордно высоким температурам многолетней мерзлоты вблизи поверхности земли на станции Юввашё и к длительному замерзанию деятельного слоя. Необычное потепление привело к экстремальному таянию близлежащих высокогорных ледяных участков [32]. Это таяние выявило несколько археологических артефактов, таких как обувь возрастом 3400 лет [33, 34], и имело экологические последствия, такие как вспышка смертельного зоонозного заболевания (пастереллеза) в популяции овцебыков, что привело к гибели значительной части этих животных [35].

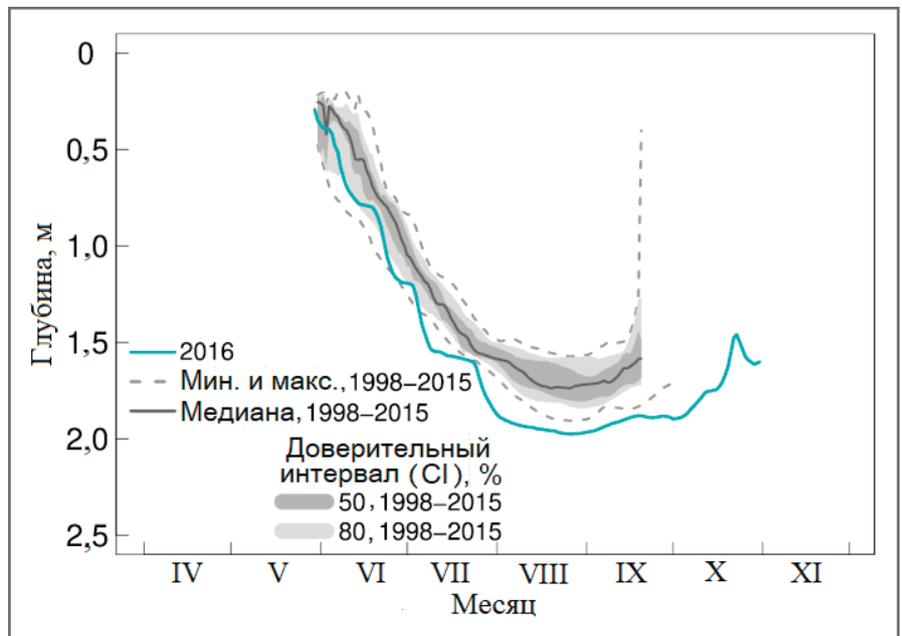


Рис. 6. Определение глубины изотермы 0 °С для станции Янссонхауген за 2016 год

Экстремально теплая погода на Шпицбергене осенью 2016 года ▶

На рисунке 6 показаны изменения глубины изотермы 0 °С в Янссонхаугене на Шпицбергене за 2016 год.

Видно, что положение изотермы 0 °С уже в конце мая и начале июня находится глубже медианы предыдущих лет для конца мая и начала июня. В июле она достигает новой рекордно

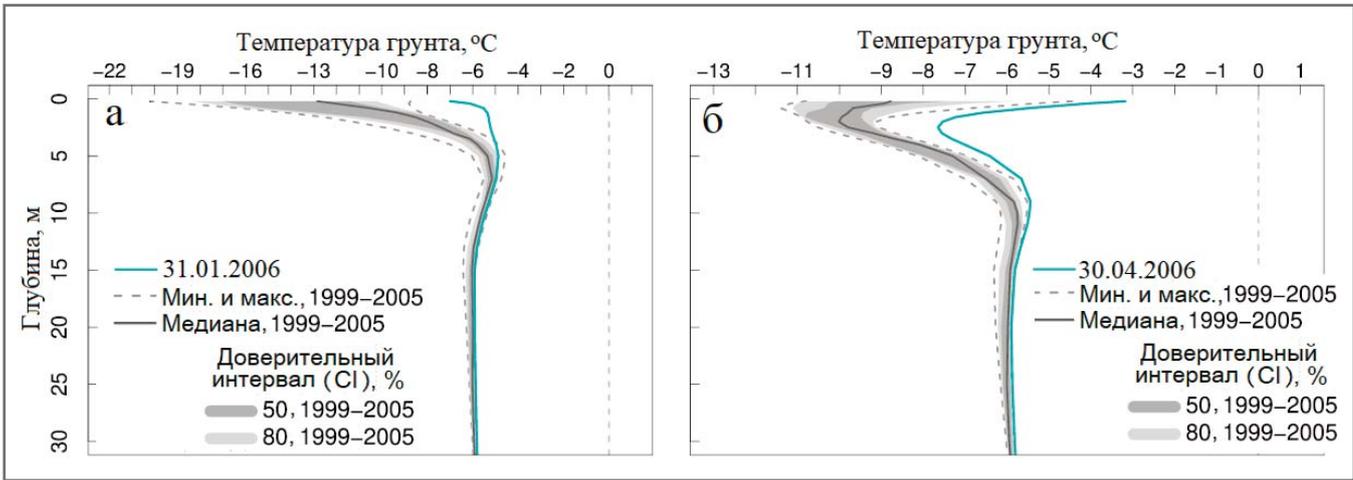


Рис. 7. Профили температуры грунта для станции Янссонхауген 31 января 2006 года (а) и 30 апреля 2006 года (б)

большой глубины и остается ниже предыдущей максимальной глубины до октября. Это означает рекордно высокую толщину деятельного слоя грунта в этом месте. Обычно слой сезонного оттаивания замерзал в течение сентября или первых дней октября каждый год с момента начала измерений в Янссонхаугене. В 2016 году деятельный слой не замерзал до начала ноября. Такая экстремальная глубина оттаивания и длительное замерзание сопровождалась аномально

большим количеством дождевых осадков, что привело к нескольким оползням и селявым потокам в близлежащем городе Лонгйирбиен и его окрестностях [36]. Жители домов, которые раньше были безопасными, были срочно эвакуированы. Местность, в которой раньше обычно совершались пешие прогулки, стала опасной. Дороги, которыми пользовались в предыдущие годы, были закрыты до тех пор, пока неустойчивые склоны над ними не промерзли.

Экстремальное потепление многолетней мерзлоты вблизи поверхности на Шпицбергене в 2006 году ▶

На рисунке 7 показаны профили температуры грунта в конце января и в апреле 2006 года для станции Янссонхауген на Шпицбергене. В слоях многолетней мерзлоты вблизи поверхности (до глубины 5–10 м) наблюдались очень высокие температуры, существенно превышавшие их максимальные значения в предыдущие годы. Температура

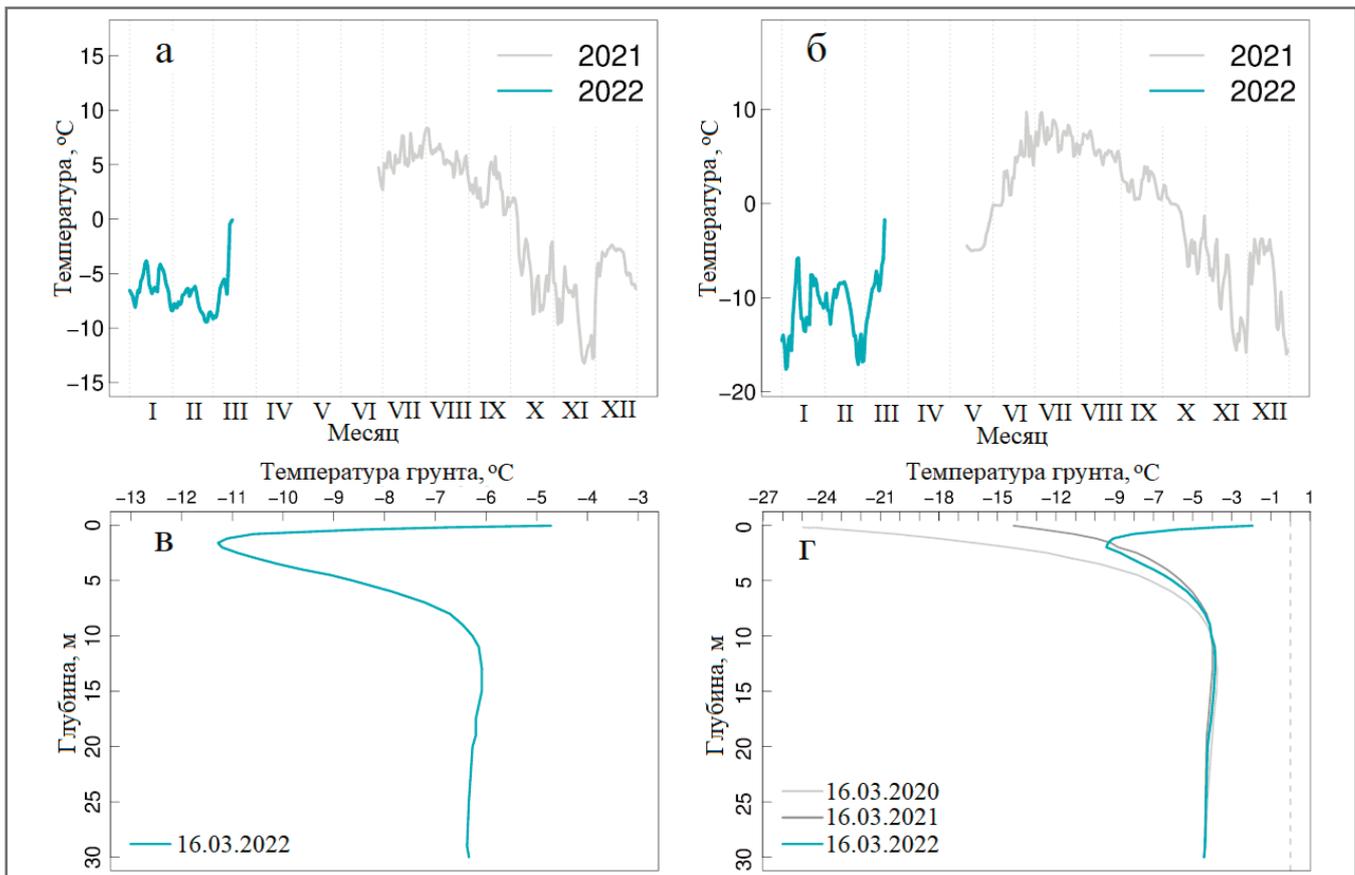


Рис. 8. Температура грунта вблизи поверхности в 2021 и 2022 годах (а, б) (в действительности нет возможности сравнить 2021 и 2020 годы, так как графики температуры не пересекаются по времени, то есть они бесполезны для сравнения. – Ред.) и ее изменения с глубиной 16 марта 2022, 2021, 2022 годов (в, г) на Шпицбергене: на станции Квадехукен на глубине 0,05 м (а); на станции Недре Сассендален на глубине 0,05 м (б); на станции Клаува (в); на станции Ферлегенхукен (г)

грунта составляла минус 7 °С в январе и минус 3 °С в апреле (обычно в те же дни и на той же глубине средние температуры были на 6 °С ниже).

Эти экстремальные температуры грунта в сочетании с высокими температурами вблизи поверхности летом 2006 года (в статье они графически не показаны) повлияли на глубину оттаивания деятельного слоя. Начало оттаивания было самым ранним за всю предыдущую историю наблюдений, а максимальная толщина слоя сезонного оттаивания увеличилась на 11% по сравнению со средним показателем за предыдущие годы [37]. Авторы работы [37] также пришли к выводу, что наиболее показательными в этом отношении месяцами в 2006 году на Шпицбергене были январь и апрель, когда средняя температура воздуха была выше средней температуры за 1961–1990 годы на 12,6 и 12,2 °С соответственно. Апрель 2006 года был теплее мая во все предыдущие годы наблюдений, а январь 2006 года был теплее апреля во все предыдущие годы. Эта аномалия совпала с наличием открытой воды в большинстве фьордов на протяжении всей зимы, а необычно раннее таяние снегов привело к экстремальным расходам талых вод в долинах.

Новые станции с короткими временными рядами наблюдений ►

На рисунке 8 показаны некоторые графические изображения для четырех самых новых мерзлотных станций Норвежского метеорологического института. Они разбросаны по всему Шпицбергену, и для них к моменту написания данной статьи имелись ряды измерений температуры грунта за 1–3 года. Несмотря на непродолжительные наблюдения, удалось обнаружить весьма необычное потепление в марте 2022 года. Временные ряды температур грунта вблизи поверхности на станциях Квадехукен и Недре Сассендален говорят о значительном повышении температуры в середине марта. Среднесуточные профили температуры для станций Клаува и Верлегенхукен также говорят об очень высоких температурах вблизи поверхности. В это время года обычен профиль с понижением температуры по направлению к поверхности земли. Это показали измерения предыдущих лет на станции Верлегенхукен, где в 2020 году температура составляла минус 24 °С. В 2022 же году температура была значительно выше – минус 10 °С.

ОБСУЖДЕНИЕ ►

Значительное потепление и заметная деградация многолетней мерзлоты наблюдались на всех рассмотренных в статье мерзлотных станциях на материковой части Норвегии и на Шпицбергене, где температура ММ измерялась в течение многих лет. Это соответствует самым современным глобальным оценкам температуры ММ [6, 7]. Однако имеется значительная региональная изменчивость в величине этого потепления, связанная главным образом с различиями в отношении близости температуры многолетней мерзлоты к 0 °С [7] и различий в климатических условиях. Самые большие изменения наблюдаются на станциях Шпицбергена, где в настоящее время потепление идет в 7 раз быстрее, чем в среднем в мире [38].

Подходы к многолетним наблюдениям за ММ всегда были и будут совершенствоваться благодаря новым открытиям и опыту [39]. Оперативный мониторинг ММ требует эффективных стратегий наряду со стандартами обработки результатов измерений, контроля их качества, архивирования и отчетности во всех национальных и международных сетях, а также определения основных параметров наблюдений [39].

В настоящее время данные и метаданные передаются в международную Глобальную сеть мониторинга криосферы (Global Terrestrial Network for Permafrost – GTN-P) вручную. Ведется работа по развитию оперативных сервисов по получению данных, касающихся ММ, через Глобальную службу наблюдений за криосферой (Global Cryosphere Watch – GCW) Всемирной метеорологической организации (World Meteorological Organisation, WMO). Управление данными GCW интегрируется с Информационной системой WMO, которая в настоящее время использует Глобальную систему телесвязи (Global Telecommunication System – GTS) в рамках WMO для обмена данными в реальном времени, но находится в процессе перехода к Информационной системе WMO (WMO Information System – WIS 2.0), которая заменит существующий функционал GTS на телеметрическую передачу информации в режиме очереди сообщений (Message Queue Telemetry Transport – MQTT) [40]. По сути, это означает, что обмен данными в реальном времени основан на подходе «публикация/подписка», при котором заинтересованные потребители данных подписываются на обновления набора данных. GCW выполняет и публикует

оценки состояния криосферы и активно работает над улучшением доступности данных на этом сервисе.

Усилия, производимые GCW в рамках WMO заключаются в разработках и публикациях по поводу наилучших практических подходов в отношении приборов и методов наблюдений за многолетней мерзлотой и сезонно-мерзлыми грунтами в целях определения эталонных методов размещения и эксплуатации мерзлотных станций в высокогорьях и полярных регионах. Опыт, полученный в ходе оперативного мониторинга ММ, описанный в данной статье, может быть здесь полезен, поскольку он устраняет некоторые пробелы в существующих системах наблюдений за ММ и определяет методы повышения доступности и наглядности данных по температуре многолетней мерзлоты как в режиме реального времени, так и обновленных. Кроме того, этот опыт позволяет решать ряд проблем в отдаленных районах, где выработка и потребление энергии, связь и поддержание сбора данных имеют решающее значение для проведения мониторинга в промежутках между посещениями станций людьми.

На материковой части Норвегии и на Шпицбергене имеются большие преимущества в том, что мерзлотные станции размещаются рядом с существующими и новыми официальными метеостанциями. Они стали частью национальной метеорологической инфраструктуры, обеспечивающей длительную стабильную работу и техническое обслуживание. При этом стандартная программа наблюдений на официальных метеостанциях, расположенных рядом с мерзлотными станциями, была расширена за счет наблюдений за влажностью грунта, глубиной снежного покрова, температурой снега и параметрами освещенности поверхности. Это обеспечивает согласованность и тесное сотрудничество между крупными национальными и международными инициативами, минимизируя воздействия оборудования на окружающую среду, а инвестиции в новые станции добавляют ценности тому, что уже существует. Данные по ММ становятся более доступными и лучше связанными с сообществами по моделированию климата, снежного покрова и многолетней мерзлоты, а также с сообществом по дистанционному зондированию, например необходимому для калибровки и валидации данных и результатов их обработки и анализа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ▶

Оперативный мониторинг многолетней мерзлоты (<https://ryo.met.no/>) предоставляет уникальную возможность отслеживать данные по температуре грунта в восьми местах на юге и севере материковой части Норвегии, а также на Шпицбергене, получая информацию быстрее, чем когда-либо прежде. Результаты измерений визуализируются и сравниваются с данными предыдущих лет с использованием восьми различных продуктов обработки и анализа. Но еще не все продукты можно получить для каждой мерзлотной станции. Они выбираются таким образом, чтобы охватить наиболее важные уровни грунта и характеристики ММ.

Ежедневное обновление продуктов позволяет заблаговременно обнаруживать, например, рекордно большую толщину деятельного слоя, выраженное повышение температуры ММ и другие экстремальные условия в многолетнемерзлых грунтах. Это уже дает четкие доказа-

тельства потепления многолетней мерзлоты по всей территории материковой части Норвегии и Шпицбергена со скоростью потепления до 0,7 °С за десятилетие на глубине нулевой годовой амплитуды температуры, а также обеспечивает тщательный мониторинг таяния и в конечном итоге исчезновения ММ на двух станциях наблюдений. Кроме того, визуализация данных позволяет обнаружить несоответствия и сбои в измерениях.

Данные, подтверждающие выводы авторов представленного исследования, находятся в открытом доступе по следующему адресу: <https://frost.met.no/index.html>.

Авторы данной статьи хотели бы в будущем дополнить портал другими пунктами наблюдений за многолетней мерзлотой, в том числе станциями внешних владельцев, а также другими продуктами, чтобы сделать его полезным для оценок ММ. **И**

Норвежские мерзлотные станции создаются в сотрудничестве с Универ-

ситетом Осло, Университетским центром на Шпицбергене, Норвежским полярным институтом и Норвежским университетом наук и технологий. Четыре такие станции, расположенные в отдаленных местах на Шпицбергене (Верлегенхукен, Квадехукен, Недре-Сассендален и Клаува), были недавно созданы в рамках проектов Комплексной арктической системы наблюдений за Землей на Шпицбергене (Svalbard Integrated Arctic Earth Observing System) «Развитие инфраструктуры норвежского узла» (SIOS InfraNOR, <https://siossvalbard.org/>, Исследовательский совет Норвегии, проект № 269927) и Климатологической обсерватории арктической тундры (Climate-ecological Observatory for Arctic Tundra – COAT, <https://www.coat.no/en/>). Часть работ, связанных с разработкой новых продуктов по многолетней мерзлоте, была выполнена при поддержке Программы мониторинга и оценки Арктики (Arctic Monitoring and Assessment Programme – AMAP).

ПРИЛОЖЕНИЕ ▶**Работающие мерзлотные станции (дополнительная информация)** ▶

Все восемь скважин для наблюдений за многолетнемерзлыми грунтами были пробурены путем ударно-вращательного бурения (данный вид бурения не предполагает определение текстур и структур мерзлых и талых отложений, не дает возможности определить льдистость и влажность в ненарушенном строении; не понятно, как определялись плотность грунтов и их теплофизические характеристики; вывод – нет необходимых данных для моделирования процессов, вызванных изменениями температурных полей; в соответствии с требованиями GTNP термометрические скважины бурятся колонковым методом с пробоотбором с частотой вращения шкива не более 40 оборотов в минуту, чтобы избежать растепления грунта; именно так бурятся скважины под госмониторинг Росгидрометом. – Ред.) и имели диаметр 56–110 мм. Шлам выбрасывался вверх избытком воздуха при работе пневмоударника, что позволяло отбирать валовые пробы грунта и образцы в пробоотборных мешочках [41, 42].

Глубина скважин варьирует от 9 м (на станции Снёхейм) до 129 м (на станции Юввашё), и все они обсажены водонепроницаемыми полиэтиленовыми труба-

ми, герметичными в основании, чтобы защитить скважины от засорения рыхлым мусором, камнями и льдом. Обсадные трубы также защищают датчики от влаги, в то же время обеспечивая легкий доступ к приборам при техническом обслуживании и периодической повторной калибровке. Кроме того, скважины остаются доступными для установки других приборов в будущем. Влияние конвекции воздуха внутри скважин считается незначительным [24].

Обсадные колонны скважин, датчики и оборудование для регистрации данных были смонтированы в соответствии с руководящими принципами финансируемого Европейским Союзом проекта PACE (Permafrost and Climate in Europe – «Многолетняя мерзлота и климат в Европе») [15] для стандартизации процедур и обеспечения сопоставимости данных с разных станций [15]. Это также обеспечило надежность и удобство обслуживания.

Система измерений температуры многолетней мерзлоты и их выполнение (дополнительная информация) ▶

На двух первых буровых площадках (Янссонхауген и Юввашё), было пробурено по одной контрольной скважине глубиной 15–20 м на расстоянии 5–20 м от основной [16]. Эти неглубокие скважины были созданы для обнаружения тепलो-

го воздействия защитной конструкции, расположенной наверху основных скважин, а также для обеспечения хорошего разрешения и контроля качества (например, для контроля долговременной стабильности термисторов) определения годовых вариаций температуры грунта.

На мерзлотных станциях Янссонхауген и Юввашё температура грунта в скважинах измеряется с помощью аналоговых струнных датчиков температуры YSI 44006 с отрицательными температурными коэффициентами (производства компании Yellow Spring Instruments). Оценка абсолютной точности составляет плюс-минус 0,05 °С, а относительной – плюс-минус 0,02 °С [43]. На остальных станциях температура грунта в скважинах измеряется с помощью цифровых датчиков производства компании Beadedstream (США) с абсолютной точностью плюс-минус 0,1 °С и разрешением плюс-минус 0,063 °С.

Глубина размещения термисторов на станциях Юввашё и Янссонхауген соответствует общим инструкциям для скважин по проекту PACE [15]: 0,2; 0,4; 0,8; 1,2; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 5,0; 7,0; 9,0; 10,0; 13,0; 15,0; 20,0; 25,0; 30,0 м; далее интервал между датчиками составляет 10 м вплоть до глубины 80,0 м; далее он снова становится меньше вплоть до глубины 100,0 м. Для скважин на остальных станциях были установлены датчики температуры на дополнительных уровнях –

с интервалом 0,5 м на глубине от 2,0 до 6,0 м и с интервалом 1 м на глубине от 6,0 до 11,0 м. Это обеспечивает более хорошую точность определения глубины изотермы 0 °С в деятельном слое и более точное обнаружение мест, подверженных деградации многолетней мерзлоты.

Система оперативной передачи данных и управления ими (дополнительная информация) ►

Недостатком вывода данных через программный интерфейс (API) Frost является то, что формат получаемого файла не соответствует четырем основополагающим руководящим принципам – возможности поиска, доступности, взаимодействия и повторного использования (Findability, Accessibility, Interoperability, Reusability – FAIR [44]) на уровнях обнаружения и использования. К счастью, в архиве результатов наблюдений (Observation Data Archive – ODA) Норвежского метеорологическо-

го института для идентификации переменных используются стандартные названия из Конвенции по климату и прогнозам (CF, <https://cfconventions.org>). С помощью этого и API Frost данные извлекаются в формате CF-NetCDF с использованием дискретной геометрии выборки, предусмотренной Конвенцией CF. Ведется разработка предоставления доступа к этим файлам через информационные порталы проекта SIOS (Svalbard Integrated Arctic Earth Observing System – «Интегрированная арктическая система наблюдений за Землей на Шпицбергене») и Глобальной службы наблюдений за криосферой (Global Cryosphere Watch, GCW).

Использование файлов в формате CF-NetCDF также позволяет автоматически визуализировать данные при их передаче через Проект с открытым исходным кодом для протокола доступа к сетевым данным (Open-source Project for a Network Data Access Protocol –

OPeNDAP). Описанные в статье наборы данных на веб-порталах SIOS и GCW являются первыми известными к моменту написания статьи массивами данных по многолетней мерзлоте, доступными практически в реальном времени. В настоящее время осуществляется извлечение информации в формате CF-NetCDF. Помимо доступности на веб-порталах SIOS и GCW наборы данных также будут доступны через стандартные интерфейсы метаданных для машинного обнаружения, такие как OAI-PMH и OGC CSW, обслуживающие форматы GCMD DIF и в соответствии со стандартом ISO19115 (последние соответствуют требованиям инициативы Европейской комиссии «Инфраструктура для пространственной информации в Европе» (Infrastructure for spatial information in Europe – INSPIRE) и Всемирной метеорологической организации (World Meteorological Organisation – WMO)).

ИСТОЧНИК ДЛЯ ПЕРЕВОДА ►

(SOURCE FOR THE TRANSLATION) ►

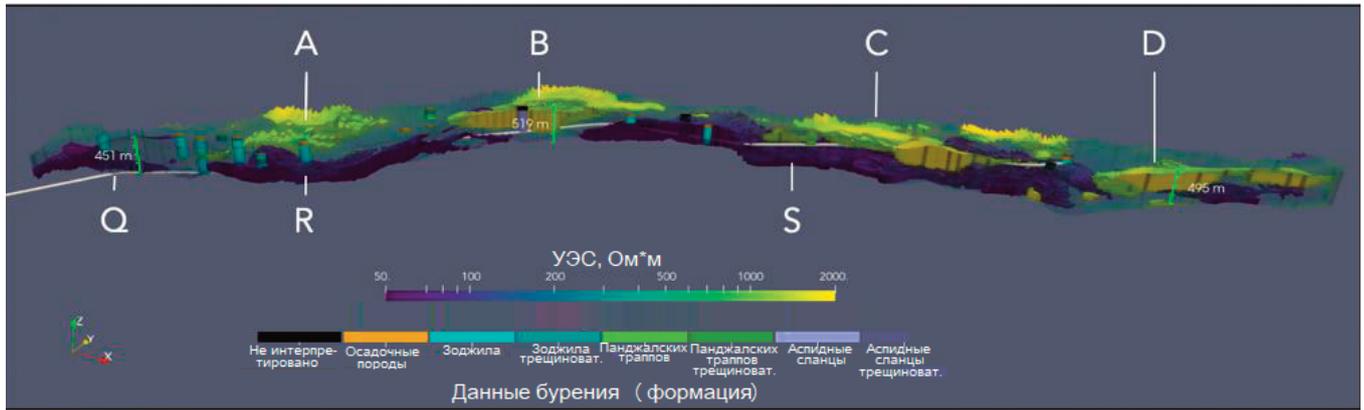
Isaksen K, Lutz J., Sorensen A.M., Godoy O., Ferrighi L., Eastwood S., Aaboe S. Advances in operational permafrost monitoring on Svalbard and in Norway // Environmental Research Letters. IOP Publishing Ltd., 2022. Vol. 17. № 9. Article 095012. DOI:10.1088/1748-9326/ac8e1c. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac8e1c>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ, ИСПОЛЬЗОВАННОЙ АВТОРАМИ ПЕРЕВЕДЕННОЙ СТАТЬИ ►

(REFERENCES USED BY THE AUTHORS OF THE TRANSLATED PAPER) ►

1. AMAP. Snow, water, ice and permafrost in the arctic (SWIPA): technical report. Oslo: Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), 2017.
2. Belward A., Bourassa M., Dowell M., Briggs S., Dolman H., Holmlund K., Verstraete M. The global observing system for climate: implementation needs: technical report GCOS-200. World Meteorological Organization (WMO), 2016.
3. Bojinski S., Verstraete M., Peterson T.C., Richter C., Simmons A., Zemp M. The concept of essential climate variables in support of climate research, applications, and policy // Bull. Am. Meteorol. Soc. 2014. Vol. 95. P. 1431–1443.
4. Canadell J.G. et al. Global carbon and other biogeochemical cycles and feedbacks // Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (ed. V. Masson-Delmotte et al. Cambridge: Cambridge University Press, 2021).
5. Miner K.R., Turetsky M.R., Malina E., Bartsch A., Tamminen J., McGuire A.D., Fix A., Sweeney C., Elder C.D., Miller C.E. // Nat. Rev. Earth Environ. 2022. Vol. 3. P. 55–67.
6. Biskaborn B.K. et al. Permafrost is warming at a global scale // Nat. Commun. 2019. Vol. 10. Article 264.
7. Smith S.L., O'Neill H.B., Isaksen K., Noetzli J., Romanovsky V.E. The Changing Thermal State of Permafrost // Nat. Rev. Earth Environ. 2022. Vol. 3. P. 10–23.
8. Jones M.K.W., Pollard W.H., Jones B.M. Rapid initialization of retrogressive thaw slumps in the Canadian high Arctic and their response to climate and terrain factors // Environ. Res. Lett. 2019. Vol. 14. № 5. Article 055006.
9. Liljedahl A.K. et al. Pan-Arctic ice-wedge degradation in warming permafrost and its influence on tundra hydrology // Nat. Geosci. 2016. Vol. 9. P. 312–318.
10. Haeberli W., Schaub Y., Huggel C. Increasing risks related to landslides from degrading permafrost into new lakes in de-glaciating mountain ranges // Geomorphology. 2017. Vol. 293. Part B. P. 405–417.
11. Walvoord M.A., Kurylyk B.L. Hydrologic impacts of thawing permafrost – a review // Vadose Zone J. 2016. Vol. 15. P. 1–20.
12. Hjort J., Streletskiy D., Dore G., Wu Q., Bjella K., Luoto M. Impacts of permafrost degradation on infrastructure // Nat. Rev. Earth Environ. 2022. Vol. 3. P. 24–38.
13. Bommer C., Phillips M., Arenson L.U. Practical recommendations for planning, constructing and maintaining infrastructure in mountain permafrost // Permafrost Periglacial Process. 2010. Vol. 21. P. 97–104.
14. Burke E.J., Zhang Y., Krinner G. Evaluating permafrost physics in the Coupled Model Intercomparison Project 6 (CMIP6) models and their sensitivity to climate change // Cryosphere. 2020. Vol. 14. P. 3155–3174.

15. Harris C., Haeberli W., Vonder Muhll D., King L. Permafrost monitoring in the high mountains of Europe: the PACE project in its global context // *Permafr. Periglac. Process.* 2001. Vol. 12. P. 3–11.
16. Isaksen K., Holmlund P., Sollid J.L., Harris C. Three deep Alpine-permafrost boreholes in Svalbard and Scandinavia // *Permafr. Periglac. Process.* 2001. Vol. 12. P. 13–25.
17. Sollid J.L., Holmlund P., Isaksen K., Harris C. Deep permafrost boreholes in western Svalbard, northern Sweden and southern Norway // *Nor. J. Geogr.* 2000. Vol. 54. P. 186–191.
18. Isaksen K., Sollid J.L., Holmlund P., Harris C. Recent warming of mountain permafrost in Svalbard and Scandinavia // *J. Geophys. Res.: Earth Surf.* 2007. Vol. 112. P. 1–11.
19. Eitzelmüller B., Guglielmin M., Hauck C., Hilbich C., Hoelzle M., Isaksen K., Noetzi J., Oliva M., Ramos M. Twenty years of European mountain permafrost dynamics – the PACE legacy // *Environ. Res. Lett.* 2020. Vol. 15. № 10. Article 104070.
20. Sollid J., Isaksen K., Eiken T., Odegard R. The transition zone of mountain permafrost on Dovrefjell, southern Norway // *Proceedings of the 8th International Conference on Permafrost, Zurich, Switzerland, 2003.* Lisse: Swets & Zeitlinger, 2003. Vol. 2. P. 1085–1090.
21. Farbrøt H., Hipp T.F., Eitzelmüller B., Isaksen K., Odegard R.S., Schuler T.V., Humlum O. Air and ground temperature variations observed along elevation and continentality gradients in southern Norway // *Permafr. Periglac. Process.* 2011. Vol. 22. P. 343–360.
22. Christiansen H.H. et al. The thermal state of permafrost in the Nordic area during IPY 2007–2009 // *Permafr. Periglac. Process.* 2010. Vol. 21. P. 156–181.
23. Pedersen A.O. et al. 2021 Climate-ecological observatory for arctic tundra (COAT) – adaptive system for long-term terrestrial monitoring // *Svalbard Integrated Arctic Earth Observing System: SESS report 2021* (ed. J. Feldner, C. Hubner, H. Lihavainen, R. Neuber, A. Zaborska) Longyearbyen, 2021. P. 38–55.
24. Noetzi J. et al. Best practice for measuring permafrost temperature in boreholes based on the experience in the Swiss Alps // *Front. Earth Sci.* 2021. Vol. 9. Article 607875.
25. Hoelzle M., Wegmann M., Kruppenacher B. Miniature temperature dataloggers for mapping and monitoring of permafrost in high mountain areas: first experience from the Swiss Alps // *Permafr. Periglac. Process.* 1999. Vol. 10. P. 113–124.
26. Hoelzle M., Haeberli W., Dischl M., Peschke W. Secular glacier mass balances derived from cumulative glacier length changes // *Glob. Planet. Change.* 2003. Vol. 36. № 4. P. 295–306.
27. Fox-Kemper B. et al. *Climate Change 2021. Chapter 9. Ocean, cryosphere and sea level change. IPCC AR6 The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the 6th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC AR6)* (ed. V. Masson-Delmotte et al. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. P. 1211–1362.
28. Druckenmiller M.L. et al. The Arctic // *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 2021. Vol. 102. P. 263–316.
29. Isaksen K., Odegard R.S., Eitzelmüller B., Hilbich C., Hauck C., Farbrøt H., Eiken T., Hygen H.O., Hipp T.F. Degrading mountain permafrost in southern Norway: spatial and temporal variability of mean ground temperatures, 1999–2009 // *Permafr. Periglac. Process.* 2011. Vol. 22. P. 361–377.
30. Luterbacher J., Liniger M.A., Menzel A., Estrella N., Della-Marta P.M., Pfister C., Rutishauser T., Xoplaki E. Exceptional European warmth of autumn 2006 and winter 2007: historical context, the underlying dynamics, and its phenological impacts // *Geophys. Res. Lett.* 2007. Vol. 34. Article L12704.
31. Van Oldenborgh G.J. How unusual was autumn 2006 in Europe? // *Clim. Past.* European Geosciences Union, 2007. Vol. 3. № 4. P. 659–668. URL: <https://cp.copernicus.org/articles/3/659/2007/cp-3-659-2007.html>.
32. Odegard R.S., Nesje A., Isaksen K., Andreassen L.M., Eiken T., Schwikowski M., Uglietti C. Climate change threatens archaeologically significant ice patches: insights into their age, internal structure, mass balance and climate sensitivity // *Cryosphere.* 2017. Vol. 11. № 1. P. 17–32.
33. Finstad E., Vedeler M. *En bronsealdersko fra jotunheimen* // *Viking 2008* (Norsk Arkeologisk ARbok). Oslo: Norwegian Archaeological Society, 2008. Vol. 71. P. 61–70.
34. Pilo L., Finstad E., Ramsey C.B., Martinsen J.R.P., Nesje A., Solli B., Wangen V., Callanan M., Barrett J.H. The chronology of reindeer hunting on Norway's highest ice patches // *R. Soc. Open Sci.* 2018. Vol. 5. № 1. Article 171738.
35. Ytrehus B., Bretten T., Bergsjø B., Isaksen K. Fatal pneumonia epizootic in musk ox (*Ovibos moschatus*) in a period of extraordinary weather conditions // *EcoHealth.* 2008. Vol. 5. № 2. P. 213–223.
36. Hanssen-Bauer I., Forland E.J., Hisdal H., Mayer S., Sando A.B., Sorteberg A. *Climate in Norway 2100 – a knowledge base for climate adaptation: NCCS Report.* 2019. Vol. 1.
37. Isaksen K., Benestad R.E., Harris C., Sollid J.L. Recent extreme near-surface permafrost temperatures on Svalbard in relation to future climate scenarios // *Geophys. Res. Lett.* 2007. Vol. 34. Article L17502.
38. Isaksen K. et al. Exceptional warming over the Barents area // *Sci. Rep.* 2022. Vol. 12. Article 9371.
39. Haeberli W., Noetzi J., Arenson L., Delaloye R., Gartner-Roer I., Gruber S., Isaksen K., Kneisel C., Krautblatter M., Phillips M. Mountain permafrost: development and challenges of a young research field // *J. Glaciol.* 2010. Vol. 56. P. 1043–1058.
40. WMO information system 2.0 strategy: technical report 1213. World Meteorological Organization (WMO), 2018.
41. Isaksen K., Odegard R.S., Eiken T., Sollid J.L. Composition, flow, and development of two tongue-shaped rock glaciers in the permafrost of Svalbard // *Permafr. Periglac. Process.* 2000. Vol. 11. P. 241–257.
42. Christiansen J.R., Rockmann T., Popa M.E., Sapart C.J., Jørgensen C.J. Carbon emissions from the edge of the Greenland ice sheet reveal subglacial processes of methane and carbon dioxide turnover // *J. Geophys. Res.: Biogeosci.* 2021. Vol. 126. Article e2021JG006308.
43. Muhll D.S.V., Holub P. Borehole logging in alpine permafrost, upper Engadin, Swiss Alps // *Permafr. Periglac. Process.* 1992. Vol. 3. № 2. P. 125–132.
44. Wilkinson M.D. et al. The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship // *Sci. Data.* 2016. Vol. 3. Article 160018.



ВОЗДУШНОЕ ГЕОСКАНИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ ДЛЯ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ПРОЕКТОВ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ ТОННЕЛЕЙ: ОБОБЩЕНИЕ СЛУЧАЕВ ИЗ ПРАКТИКИ В НОРВЕГИИ И ИНДИИ

РАСМУССЕН А.Х.

Компания EMerald Geomodelling,
г. Осло, Норвегия

ЛИНАРЕС Г.М.

Компания EMerald Geomodelling,
г. Осло, Норвегия

КРИСТЕНСЕН К.В.

Компания EMerald Geomodelling,
г. Осло, Норвегия
cch@emrld.no

МАЛИК С.

Государственная компания NHIDCL
(Национальная корпорация развития
автомобильных дорог и
инфраструктуры), г. Нью-Дели, Индия

СКУРДАЛ Г.Х.

Компания EMerald Geomodelling,
г. Осло, Норвегия

ПФАФХУБЕР А.А.

Компания EMerald Geomodelling,
г. Осло, Норвегия

АННОТАЦИЯ

Представляем немного сокращенный адаптированный перевод статьи норвежских и индийских исследователей «Воздушное геосканирование как инструмент инженерных изысканий для крупномасштабных проектов по строительству тоннелей: обобщение случаев из практики в Норвегии и Индии» (Rasmussen et al., 2021). Она была опубликована в 2021 году в журнале *Earth and Environmental Science* («Науки о Земле и окружающей среде») издательством британской благотворительной научной организации IOP (Institute of Physics – «Институт физики»), ставшей фактически международной. Эта статья находится в открытом доступе по лицензии CC BY 3.0, которая позволяет распространять, переводить, адаптировать и дополнять ее при условии указания типов изменений и ссылки на первоисточник. В нашем случае полная ссылка на источник для представленного перевода (Rasmussen et al., 2021) приведена в конце.

Непредвиденные сложные грунтовые условия являются серьезным препятствием для развития инфраструктуры, включая строительство тоннелей. Устранение этого риска с помощью традиционных интрузивных наземных исследований грунтовых массивов может оказаться затратным, а иногда и непомерно дорогим. В представленной статье рассматривается воздушное геосканирование – более эффективный метод изысканий, который объединяет результаты аэрогеофизических исследований с другими наборами данных для создания инженерно-геологических моделей. В первую очередь в рассматриваемых в статье случаях использовалась электромагнитная съемка во временной области с вертолета (airborne electromagnetics, AEM), результаты которой отображают различия в удельном электрическом сопротивлении (УЭС) подповерхностных материалов. Для более сложной интерпретации можно объединить эту геофизическую информацию с вспомогательными наборами данных, если они доступны. Такой интегрированный процесс авторы переведенной статьи называют воздушным геосканированием. Методы интеграции варьируют от простого кластерного анализа, который поддерживает планирование последующих наземных исследований, до использования специализированных искусственных нейронных сетей, которые автоматически определяют границы раздела, например кровлю скальных пород.

В статье проиллюстрированы сильные и слабые стороны применения аэрогеофизических методов на примерах проектов строительства тоннелей в Норвегии и Индии. Продемонстрированы три ключевые возможности, которые воздушное геосканирование может предоставить

инженерам-тоннелестроителям, – выявление основных зон трещиноватости и более слабых участков скальных пород вдоль планируемого тоннеля, а также мощности скальных грунтов над ним. Эта информация может оказаться очень ценной для проектирования и строительства тоннелей по всему миру.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

инженерные изыскания; проектирование тоннелей; строительство тоннелей; аэрогеофизические исследования; бортовая электромагнитная съемка; воздушное геосканирование.

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Расмуссен А.Х., Линарес Г.М., Кристенсен К.В., Малик С., Скурдал Г.Х., Пфаффхубер А.А. Гудмундсон Л, Кирхнер Й., Гедеке А., Нецли Й., Бискаборн Б.К. Воздушное геосканирование как инструмент инженерных изысканий для крупномасштабных проектов по строительству тоннелей: обобщение случаев из практики в Норвегии и Индии (пер. с англ.) // Геоинфо. 2024. Т. 6. № 7-8. С. 20–28. DOI:10.58339/2949-0677-2024-6-7-8-20-28.

AIRBORNE GEOSCANNING AS A SITE INVESTIGATION TOOL IN LARGE-SCALE TUNNELLING PROJECTS: A SYNTHESIS OF CASE STUDIES FROM NORWAY AND INDIA

RASMUSSEN A.H.

EMerald Geomodelling company, Oslo, Norway

LINARES G.M.

EMerald Geomodelling company, Oslo, Norway

CHRISTENSEN C.W.

EMerald Geomodelling company, Oslo, Norway
cch@emrld.no

MALIK S.

National Highways & Infrastructure Development Corporation Limited, New Delhi, India

SKURDAL G.H.

EMerald Geomodelling company, Oslo, Norway

PFÄFFHUBER A.A.

EMerald Geomodelling company, Oslo, Norway

ABSTRACT

We present a slightly abridged and adapted translation of the paper “Airborne geoscanning as a site investigation tool in large-scale tunnelling projects: a synthesis of case studies from Norway and India” by Norwegian and Indian researchers (Rasmussen et al., 2021). It was published in 2021 in the journal “Earth and Environmental Science” by the publishing company of the British scientific society “Institute of Physics” (IOP) that is now virtually international. It is an open access article under the CC BY 3.0 license that allows it to be distributed, translated, adapted, and supplemented, provided that the types of changes are noted and the original source is referred to. In our case, the full reference to the original paper (Rasmussen et al., 2021) used for the presented translation is given in the end.

Unforeseen, challenging ground conditions are a major obstacle for infrastructure development, including tunnel construction. Addressing this risk with traditional, intrusive ground investigations can be costly, sometime prohibitively so. In this paper, we present airborne geoscanning, a more efficient site investigation method that integrates airborne geophysics with other datasets to produce ground models. We primarily employ helicopter-based time-domain electromagnetics (AEM), a method that images differences in electrical resistivity in the subsurface. When available, we can combine geophysical data with ancillary datasets for more sophisticated interpretation. Such an integrated process we call airborne geoscanning. The integration techniques range from simple clustering analysis that support planning of follow-up ground investigations to customised artificial neural networks that automatically detect interfaces like the top of rock.

Using examples from projects in Norway and India, we illustrate the strengths and weaknesses of using airborne geophysics for tunnelling projects. Using these case studies, we demonstrate three key insights that airborne geoscanning can provide to tunnelling engineers, i. e. identify major fractured zones, weaker rock units and rock cover thickness. These insights can be highly valuable for tunnel design and construction projects worldwide.

KEYWORDS:

site investigation; tunnel design; tunnel construction; aerogeophysical survey; airborne time-domain electromagnetics (AEM); airborne geoscanning.

FOR CITATION:

Rasmussen A.H., Linares G.M., Christensen C.W., Malik S., Skurdal G.H., Pfaffhuber A.A. Vozdushnoye geoskanirovaniye kak instrument inzhenernykh izyskaniy dlya krupnomasshtabnykh proyektov po stroitel'stvu tonneley: obobshcheniye sluchayev iz praktiki v Norvegii i Indii [Airborne geoscanning as a site investigation tool in large-scale tunnelling projects: a synthesis of case studies from Norway and India] (translated from English into Russian) // Geoinfo. 2024. Т. 6. № 7-8. С. 20–28. DOI:10.58339/2949-0677-2024-6-7-8-20-28 (in Rus.).

ВВЕДЕНИЕ ▶

Непредвиденные сложные грунтовые условия являются серьезным препятствием для развития инфраструктуры, включая строительство тоннелей. Это одна из основных причин того, что для 90% проектов транспортной инфраструктуры во всем мире итоговые затраты превышают запланированные, причем для тоннелей они в среднем больше на 50% [1]. Традиционные методы исследований путем инженерно-геологического бурения помогают снизить неопределенность в отношении грунтовых условий, но они могут быть дорогостоящими, отнимать много времени и предоставлять лишь прерывистую информацию, то есть только для отдельных точек. К тому же сложный рельеф или удаленность места изысканий иногда могут сделать бурение и сбор соответствующих данных невозможными.

Применение таких непрямых (косвенных) методов исследований, как аэрогеофизические, дает возможность получать предварительную информацию для крупных проектов по строительству тоннелей. В частности, бортовая электромагнитная съемка (airborne electromagnetics, АЕМ), которая первоначально использовалась для горнодобывающей промышленности, около 10 лет назад начала применяться в инженерных целях для проектирования и строительства тоннелей, а в последние 3–5 лет – все чаще и чаще [2–4]. Несмотря на то что исследования методом АЕМ являются косвенными и менее точными, чем интрузивные наземные, они позволяют получать непрерывные данные на больших площадях и дают ключевую информацию о грунтовых условиях на протяжении всего срока развития проекта. Ее интеграция с другими геотехническими данными дает возможность создавать более качественные модели грунтовых массивов. Такой комбинированный процесс будем называть *воздушным геосканированием*.

Чтобы продемонстрировать полезность воздушного геосканирования, в статье будет приведена обобщенная информация по четырем случаям из практики планирования, проектирования и строительства тоннелей в Норвегии и Индии. Данные по первым трем из них ранее не публиковались, а информация по четвертому впервые была представлена в работе [5]. В этих случаях из практики рассматриваемый метод использовался для выявления основных зон трещиноватости, участков более слабых скальных грунтов, а также

для определения толщины скальных пород над тоннелем. Во многих случаях полученные таким путем результаты были неопределимы для эффективного планирования последующих исследований и для оптимизации проектов тоннелей и их трасс, причем гораздо раньше, чем это было бы возможно с использованием только интрузивных наземных исследований.

Настоящая статья представляет собой первый в известной авторам литературе обзор международных данных по воздушному геосканированию для строительства тоннелей. Читателям будет интересно узнать о сопоставлении результатов по разным геологическим средам, а также об инновационном применении машинного обучения в некоторых из рассмотренных случаев.

МЕТОДЫ ▶**Бортовая электромагнитная съемка (АЕМ)** ▶

Исследования методом АЕМ, использованные в качестве основы для примеров, рассмотренных в статье, проводились с вертолета. Пролетая на низких высотах (30–150 м), можно было быстро собирать геофизические данные с высоким разрешением. Данные собирались вдоль запланированных трасс будущих тоннелей и почти параллельных им линий рядом, обычно на расстояниях 75–200 м друг от друга, что обеспечивало единообразный обзор состояния грунтовых массивов. Эти электромагнитные данные применялись для создания 3D моделей удельных электрических сопротивлений (УЭС), или геоэлектрических моделей, по которым можно было интерпретировать геологические условия.

В приборе для электромагнитной съемки во временной области (time domain electromagnetic, TEM) переменный ток, создаваемый генератором, проходит по катушке и генерирует электромагнитное поле [6], периодические импульсы которого проникают под поверхность земли. При отключении поля в конце каждого импульса в подповерхностном пространстве возникают вихревые токи, последующее постепенное затухание и распространение которых в грунтах и наружу происходят в зависимости от электрических сопротивлений и геометрии геологических тел. Измерения над поверхностью земли вторичных электромагнитных полей, создаваемых этими вихревыми токами на ранних стадиях после отключений первич-

ного тока, позволяют исследовать грунты на небольшой глубине. Позднее временные селекторы выделяют из всей последовательности импульсы, появляющиеся в определенные моменты времени, и дают информацию о грунтах на большей глубине. Таким путем можно получать информацию о подповерхностных условиях до глубины 400–800 м в зависимости от используемых приборов, их настройки и геологических особенностей местности.

Методы интерпретации ▶

Для интерпретации геоэлектрических моделей использовались несколько методов в зависимости от потребностей проекта и доступности вспомогательных данных (в порядке возрастания сложности и автоматизации): анализ изообъемов, кластерный анализ, выявление поверхностей раздела с помощью искусственного интеллекта.

Анализ изообъемов применяется в случаях, когда достоверные данные наземных исследований ограничены и когда для проекта особенно важна трехмерная геометрия комплексов пород. На основе гистограммы распределения значений УЭС или проверки перекрывающихся диаграмм скважинных геофизических исследований специалист выбирает репрезентативные интервалы УЭС и извлекает изообъемы из трехмерной сетки удельных сопротивлений. Визуализация данных объемов вместе с запланированными будущими тоннелями позволяет оптимизировать прохождение трасс этих подземных сооружений таким образом, чтобы избежать зон слабых грунтов или нежелательных комплексов пород, которые часто имеют тенденцию к более низким величинам УЭС.

Кластерный анализ наиболее полезен для планирования наземных изысканий после бортовой электромагнитной съемки. Этот метод объединяет участки на поверхности со схожими вертикальными профилями УЭС, позволяя быстро оценить неоднородность территории, собрать объективную стратифицированную выборку геологических данных для нее, а затем выполнить в нужных местах бурение инженерно-геологических скважин.

Когда объектом исследования становится конкретная граница/поверхность раздела, то для ее выявления применяется *автоматизированный алгоритм на основе искусственного интеллекта*. В этом алгоритме в качестве обучающих данных используются резуль-

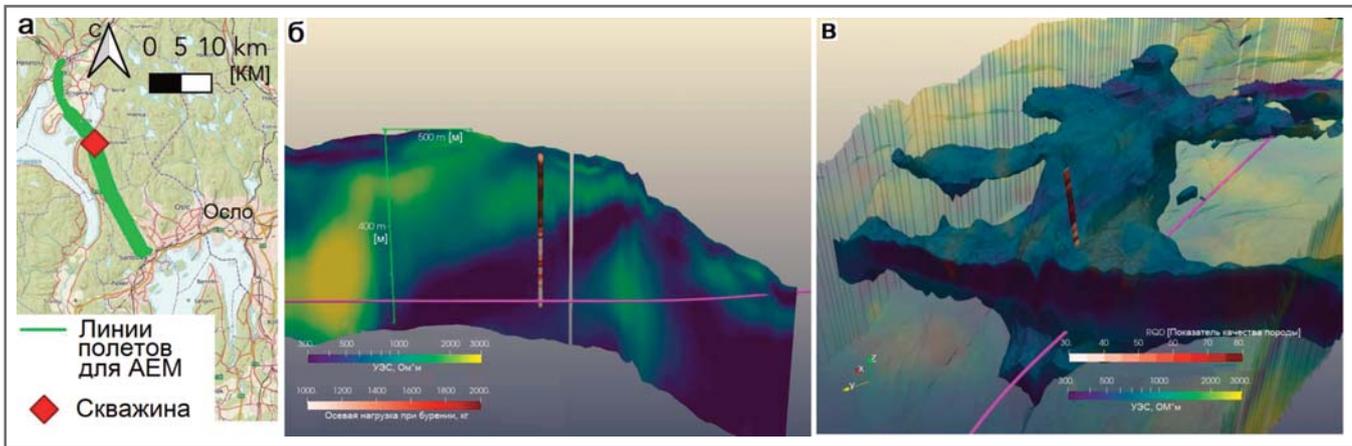


Рис. 1. Зона более слабых, более трещиноватых грунтов, обнаруженная с помощью АЕМ с последующим подтверждением данными бурения с отбором образцов керна: а – зона исследований методом АЕМ и пример расположения инженерно-геологической скважины на карте; б – вертикальный геоэлектрический разрез и геологическая колонка скважины; в – трехмерное наклонное изображение зоны с низким УЭС. Трасса тоннеля показана ярким розово-пурпурным цветом (цветом фуксии). Использовано 3-кратное вертикальное увеличение

таты определения данной границы по обнажениям, скважинам, шурфам, другим выемкам грунта и т. д. Затем пространственные координаты и модели УЭС на основе съемок методом АЕМ передаются в искусственную нейронную сеть (artificial neural network, ANN), которая предсказывает глубину расположения этой границы раздела [7]. Если достоверные результаты наземных исследований недоступны, то вместо них в качестве обучающих данных могут использоваться точки, для которых была выполнена ручная интерпретация. Описанная методика часто применяется для определения границы раздела между коренной скальной породой и осадочными грунтами (то есть глубины залегания кровли материнской породы) [8], а также для выявления любой границы раздела с контрастными удельными сопротивлениями по обе стороны от нее, например подошвы торфяных отложений [9].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ►

Определение основных зон трещиноватости (Норвегия) ►

Совместный проект строительства железной дороги и автомагистрали в лесной зоне, названный FRE16 (от норв. Fellesprosjekt Ringeriksbanen E16) был запущен в 2015 году для того, чтобы соединить город Саннвика, расположенный рядом со столицей Норвегии Осло, и город Хёнефосс новыми железной и автомобильной дорогами протяженностью 40 км.

Этот проект включил в себя с южной стороны железнодорожный тоннель длиной 23 км. В июне 2016 года для не-

го были собраны данные АЕМ по профилям общей протяженностью 655 км (рис. 1, а).

Результаты геофизических съемок показали, что планируемая трасса тоннеля пересекает в основном скальные породы с высокими значениями УЭС (высокоомные), предположительно прочные. Но она пересекает и крупный участок с низкими величинами УЭС (низкоомный) вблизи северного портала (рис. 1, б). Более поздние исследования образцов керна подтвердили, что эта низкоомная зона совпадает с переходом от вулканических пород (ромбовидного порфира, базальта) к осадочным (песчанику, алевролиту, аргиллиту), а также с уменьшением сопротивления бурению (см. рис. 1, б) и снижением показателя качества породы RQD (Rock Quality Designation) (рис. 1, в). Данная особенность сохранялась перпендикулярно направлению запланированной трассы тоннеля (см. рис. 1, в), и эту зону невозможно было обойти без небольшой корректировки трассы.

Есть еще одна зона грунтов с низкими значениями УЭС, расположенная ниже трассы тоннеля. Она вытянута, и ее направление совпадает с направлением узкой долины на поверхности земли, поэтому можно предположить, что это зона разлома. К счастью, запланированная трасса сооружения не пересекала эту низкоомную зону.

Выявление зон слабых скальных грунтов (Индия) ►

Не так давно воздушное геосканирование было использовано для двух проектов по строительству высокогорных автодорожных тоннелей на севере Ин-

дии. Первый длиной 6,5 км к моменту написания настоящей статьи находился на стадии выемки грунта, а второй длиной 14 км еще был на этапе планирования и проектирования.

В первом случае геосканирование было предпринято прежде всего для демонстрации и верификации работы этого метода, тогда как во втором случае оно использовалось для поддержки уже шедших наземных исследований, достоверных данных по которым было еще недостаточно.

На обоих участках коренные породы являются метаморфическими и имеют низкое и среднее качество. Формация Зоджила, сложенная аспидным (агломератным) сланцем, кристаллическим сланцем и филлитом (кварц-серцитовым сланцем), и формация Панджалских траппов, сложенная метабазитом, встречаются на обоих участках, а агломератные сланцы – на втором участке. В обоих случаях геосканирование в основном применялось для картирования слабых филлитовых пород.

Пример 1

Результаты геосканирования показали, что центральная часть трассы будущего тоннеля сложена в основном породами с очень высокими величинами УЭС (более 1000 Ом*м), а припортальные части – породами либо со средними (100–400 Ом*м), либо с низкими (менее 50 Ом*м) значениями УЭС. Низкоомные зоны хорошо коррелировали с крупными сдвиговыми зонами, обнаруженными вблизи границ между формациями Зоджила и Панджалских траппов. Высокоомные зоны соответствовали более прочным породам формации

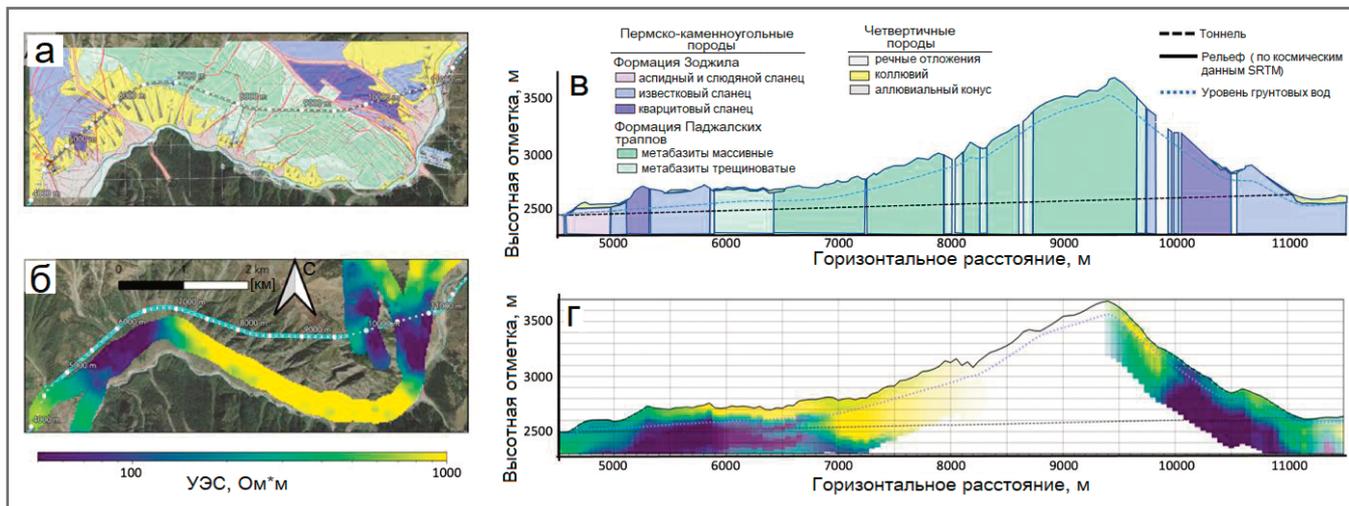


Рис. 2. Геологическая карта рассматриваемой территории (по [10]) (а); горизонтальный срез модели УЭС, полученной методом АЕМ, по глубине 200 м от поверхности земли (б); геологический разрез вдоль трассы тоннеля (по [11]) (в); геоэлектрический разрез по той же линии (г)

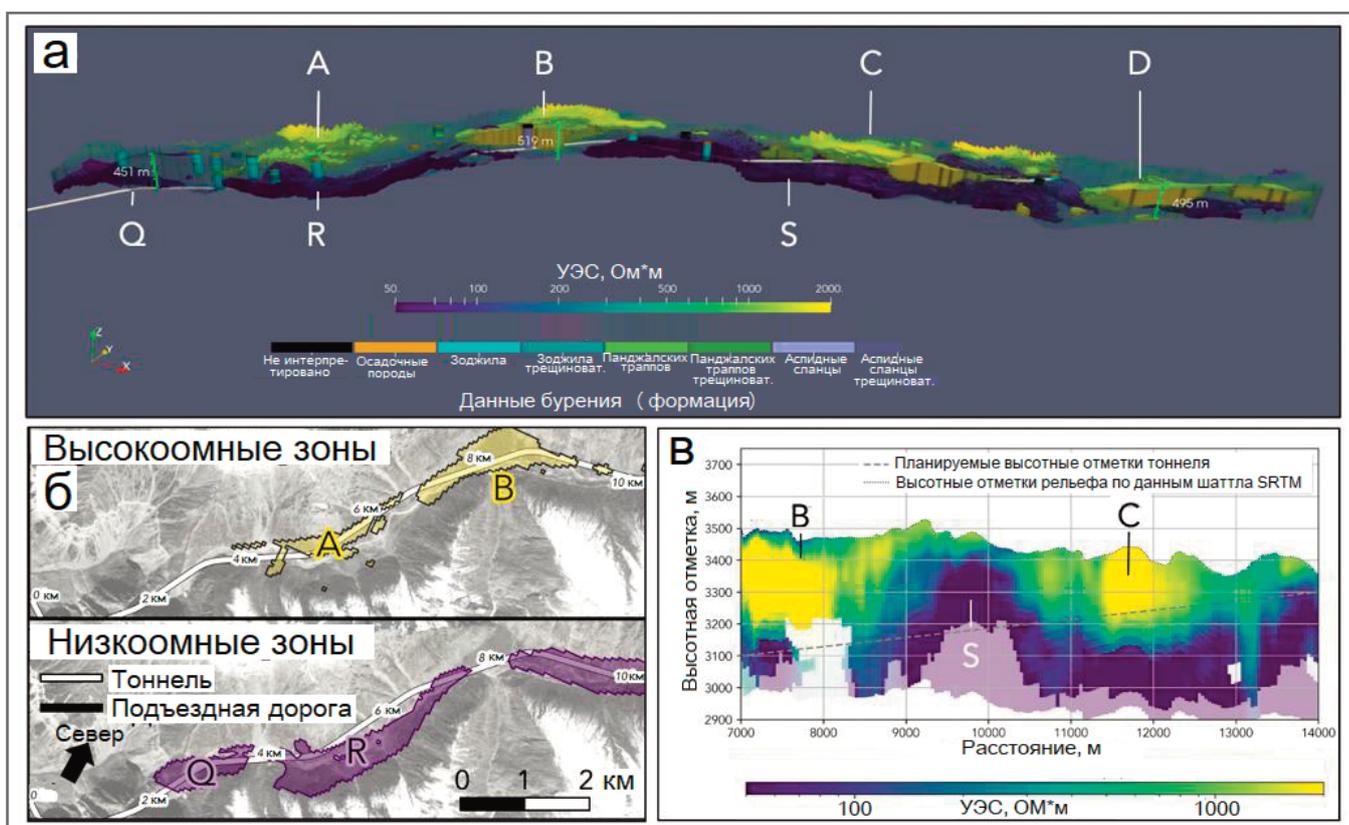


Рис. 3. 3D изображение геоэлектрической модели вдоль трассы тоннеля (показанной белой линией) с указанием высокоомных (А, В, С, D) и низкоомных (Q, R, S) зон со значениями УЭС более 1000 Ом*м и менее 100 Ом*м соответственно (а); карты с максимально протяженными высокоомными зонами А, В и низкоомной зоной R (б); вертикальный разрез геоэлектрической модели и планируемого тоннеля (в)

Панджалских траплов. Прямое сравнение значений УЭС и инженерно-геологических разрезов в некоторых центральных частях будущего тоннеля (протяженностью 9000 м) было невозможно, поскольку вертолет не мог пролететь непосредственно над его трассой из-за очень крутого рельефа.

Эти корреляции очевидны при взгляде как на карту, так и на разрез

(рис. 2). Кроме того, в некоторых зонах виден переход от более высоких значений УЭС к более низким у поверхности, что, по-видимому, хорошо коррелирует с ожидаемым уровнем грунтовых вод в этих местах. Данные результаты также согласуются с наблюдениями, сделанными геологами при полевых исследованиях. В западной и восточной припортовых зонах в процессе взрыв-

ных работ были обнаружены слабые породы, что замедлило ход строительства. Напротив, при выемке грунта в центральной части тоннеля были встречены породы хорошего качества.

Пример 2

С учетом того что на первом участке низкоомные породы соответствовали слабым грунтам, а высокоомные – проч-

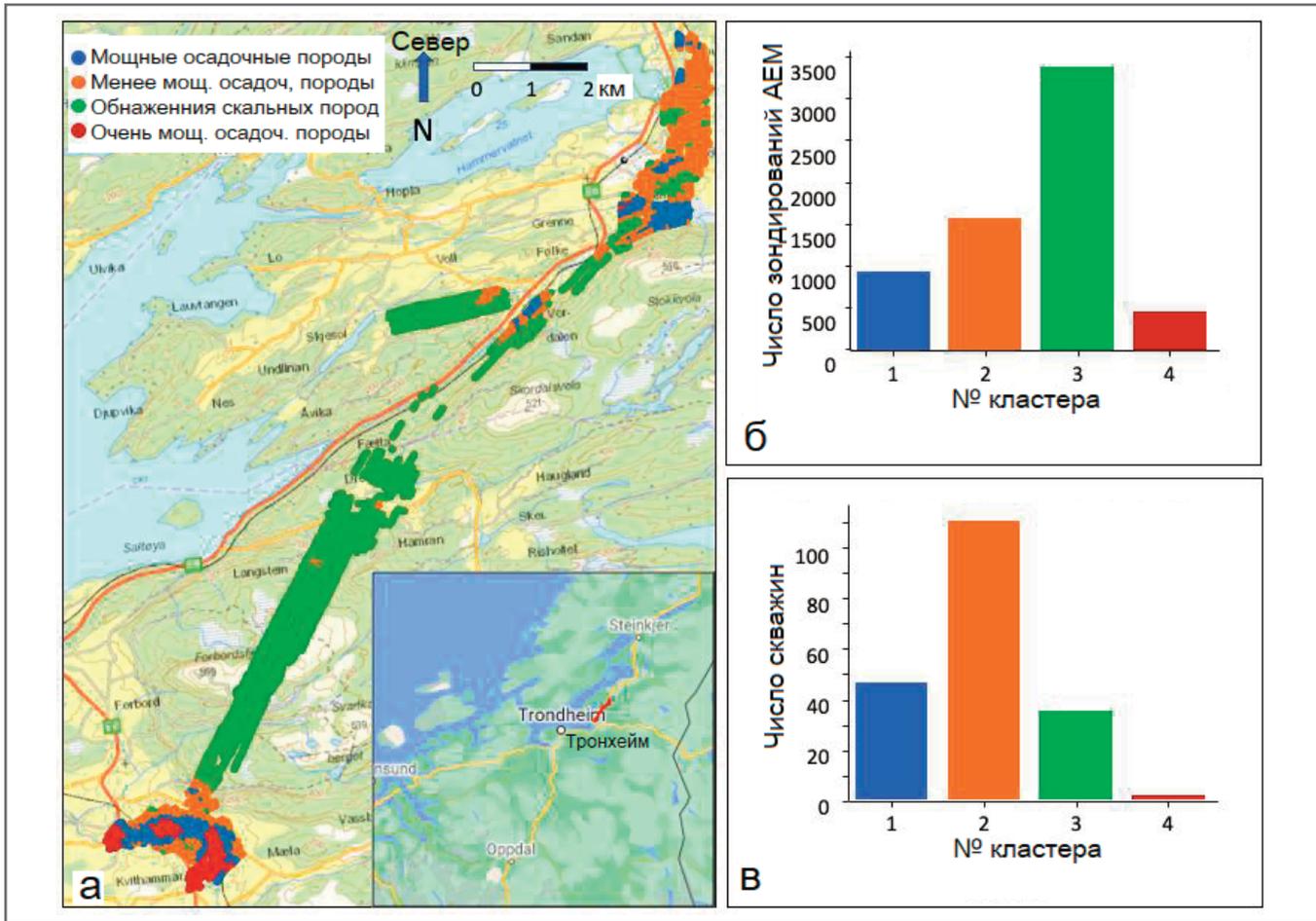


Рис. 4. Карта данных, разбитых на 4 кластера в соответствии со значениями УЭС (а); распределение по кластерам количеств зондирований методом АЕМ (б); распределение по кластерам количеств инженерно-геологических скважин, доступных для исследований в июне 2019 года (в)

ным, были визуализированы зоны с низкими и высокими значениями УЭС в качестве примеров зон, сложенных слабыми и прочными грунтами. В частности, были визуализированы области с УЭС более 1000 Ом*м и менее 100 Ом*м вдоль трассы тоннеля в 3D варианте. В результате удалось выделить четыре высокоомные (обозначенные как А, В, С, D на рисунке 3) и четыре низкоомные (Q, R, S на рисунке 3) зоны.

Визуализировав эти зоны вдоль планируемого тоннеля в 3D варианте, можно увидеть, что его трассу, по-видимому, удобно проложить в горизонтальном направлении. Например, на западе, между пятым и седьмым километрами, тоннель обходит низкоомную зону R, которая скорее всего соответствует слабым грунтам. Но все-таки могут быть оправданными некоторые корректировки по вертикали. Планируемый тоннель протягивается вблизи нижних границ зон В и С. Поэтому, чтобы он не прошел сквозь эти глубоко расположенные низкоомные зоны скальных грунтов, может оказаться полезным небольшое увеличение высотных отметок его трассы.

Оценка мощности скальных грунтов над тоннелем (Норвегия) ▶

В начале 2019 года началось планирование нового 19-километрового участка двухполосной автомагистрали, находящегося примерно в 30 км к северо-востоку от норвежского города Тронхейм (рис. 4). В этом районе глубина залегания коренных пород сильно варьирует – от выступающих на поверхность до залегающих на глубине в десятки метров под слоем слабой глины. Это создавало значительные инженерные трудности при планировании трассы магистрали.

Ранее в этом районе было пробурено и исследовано несколько инженерно-геологических скважин. Инженеры спрогнозировали, что потребуется пробурить еще 600 скважин, чтобы в достаточной степени снизить геологическую неопределенность в широком коридоре, но в июне 2019 года перед началом первой крупной кампании по бурению было решено применить также воздушное геосканирование [12].

В качестве исходных данных для планирования первой крупной буровой кампании были использованы результаты кластерного анализа геофизических данных. Аналитики интерпретировали полученные четыре кластера (рис. 4, а) как соответствующие: осадочным отложениям большой мощности; осадочным отложениям меньшей мощности; выходящим на поверхность скальным породам; осадочным отложениям очень большой мощности. Сравнивая распределение принадлежности к кластерам геофизической модели (рис. 4, б) с данными по скважинам (рис. 4, в), обнаружили, что зоны осадочных пород очень большой толщины были недостаточно опробованы с помощью бурения по сравнению с зонами осадочных пород большой толщины, в то время как для зон осадочных отложений небольшой мощности данные по скважинам были избыточными. Также стоит заметить, что для выходящих на поверхность скальных пород количество информации по скважинам было недостаточным, но эти грунты можно было оценить непосредственно на поверхности,

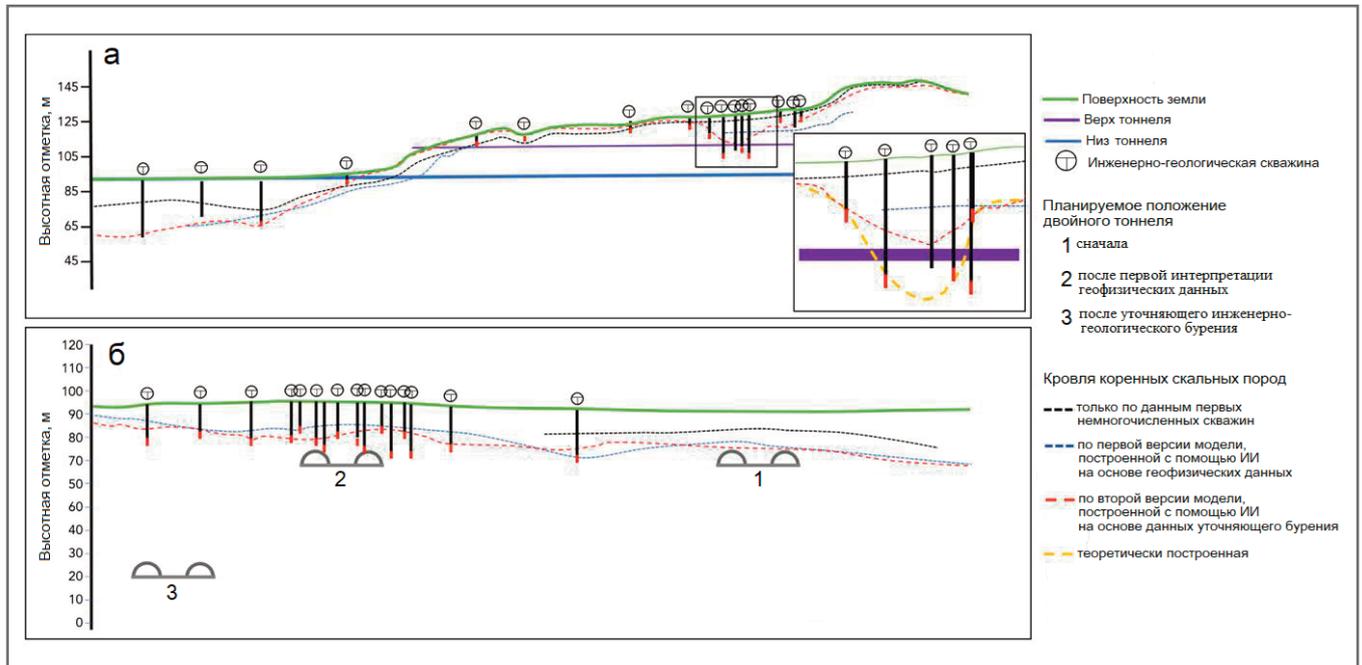


Рис. 5. Эволюция модели кровли коренных пород и тоннеля в продольном разрезе: а – для участка Груббосен; б – для участка Фоссингельва. Также показаны три варианта расположения двойного тоннеля, рассмотренные в ходе развития модели (по [5]). ИИ – искусственный интеллект

что и помогло инженерам правильно расставить приоритеты в отношении бурения при anomalно мощных коренных породах.

С помощью искусственной нейронной сети получили модель кровли коренных скальных пород и выполняли ее обновления. Первая версия модели была построена через несколько дней после сбора геофизической информации, а впоследствии она многократно обновлялась после каждой крупной кампании по сбору данных инженерно-геологического бурения. Даже первая версия модели, для создания которой использовалась только информация по ранее пробуренным немногочисленным скважинам, указывала на два таких места, как Груббосен и Фоссингельва, где не было скальных грунтов на уровне тоннеля, хотя до этого предполагалось, что их мощность достаточна (рис. 5).

По первой версии модели на первом из названных участков (см. рис. 5, а) кровля коренных пород оказалась на 10 м глубже, чем ожидалось ранее по данным ранее существовавших немногочисленных скважин, причем ее минимальная высотная отметка была очень близка к уровню верха сооружения. Поэтому инженеры сосредоточили следующие исследования с помощью инженерно-геологического бурения именно на этом участке. В результате на поверхности материнских пород было обнаружено глубокое узкое углубле-

ние поперек тоннеля совсем близко к его верхнему своду. В этом месте не было возможности изменить высотные отметки трассы тоннеля, поэтому конструкция его системы крепления, планы строительства и бюджет проекта были пересмотрены с учетом этих сложных грунтовых условий [5].

На втором из названных участков (см. рис. 5, б), толщина скального грунта над запланированным тоннелем согласно первой интерпретации геофизических данных была фактически нулевой, что побудило проектировщиков переместить трассу сооружения на несколько сотен метров западнее и сосредоточить последующее бурение инженерно-геологических скважин на новом месте. Но и обновленная модель показала наличие только 5 м скальных грунтов на некоторых участках перемещенной к западу трассы. Поэтому в конечном итоге трасса была опущена на 50 м вниз.

ОБСУЖДЕНИЕ ►

Помимо иллюстрации того, какие типы подземных структур можно определить с помощью воздушного геосканирования, четыре случая из практики, рассмотренные в настоящей статье, демонстрируют большой потенциал данного метода для крупных проектов по строительству тоннелей, особенно на ранних стадиях. Это связано с тем, что воздушное геосканирование позволяет быстро определять зоны с неблагоприятными грунтовыми условиями.

Еще одним большим преимуществом этого метода является возможность сбора данных в районах, заросших густым лесом (как это было при обнаружении крупных зон трещиноватости в целях уточнения трассы железнодорожного тоннеля в Норвегии для проекта FRE16), со снежным покровом или при ограниченном доступе (как это было при выявлении зон слабых грунтов в Индии).

Пример по определению мощности скальных грунтов над планируемым тоннелем в центральной части Норвегии наглядно продемонстрировал, как первоначально предложенное положение трассы сооружения на участке Фоссингельва было отклонено и исправлено вскоре после геосканирования. Это решение в конечном итоге привело к прямой экономии затрат на проект, поскольку потребовалось на 30% меньше буровых работ и на три месяца меньше времени на планирование [12].

Если плохих грунтовых условий избежать невозможно, то по-прежнему имеет большое значение более точное определение геологических рисков и затрат на строительство, как показали, например, рассмотренные ранее случаи по определению мощности скальных грунтов над планируемым тоннелем на участке Груббосен в центральной части Норвегии и по обнаружению крупных зон трещиноватости при уточнении трассы железнодорожного тоннеля в Норвегии для проекта FRE16.

Даже если результаты геосканирования не столь точны, выявление серьезных геологических изменений или зон риска помогает повысить эффективность последующих наземных исследований. Представленные в статье примеры по проектам в Индии это хорошо продемонстрировали. Хотя корреляция между значениями УЭС и прочностью пород там и была менее точна, полученные результаты во втором примере помогли выявить места с подозрительными изменениями УЭС, через которые проходила первоначально запланированная трасса тоннеля, и поэтому они были дополнительно исследованы. Знание размеров каждой зоны неблагоприятных грунтов также потенциально может помочь инженерам избежать бурения лишних скважин в одной и той же зоне УЭС, грунты в которой скорее всего обладают схожими свойствами.

Для рассмотренного ранее участка Груббосен в Центральной Норвегии первая модель коренных пород на основе данных геосканирования не отражала в точности мельчайшие детали узкой впадины в их кровле (см. рис. 5), но она правильно выявила потенциально опасную зону, требовавшую дополнительных исследований с помощью новых инженерно-геологических скважин.

Описанные в статье случаи из практики показали контраст в том, сколько достоверных данных наземных исследований было доступно для детальной количественной интерпретации. В примерах по индийским проектам было особенно трудно пробурить скважины из-за удаленности мест прохождения тоннеля и сложного рельефа, хотя там ранее были собраны некоторые разрозненные данные по образцам керна из скважин (но даже это может быть невозможно для некоторых проектов строительства тоннелей).

Представленные в настоящей статье результаты подчеркнули ценность использования аэрогеофизических методов изысканий в удаленных местах. При этом даже там, где было доступно большое количество данных бурения в дополнение к аэрогеофизическим материалам, как это было при определении мощности скальных грунтов над планируемым тоннелем в Центральной Норвегии, интеграция результатов исследований инженерно-геологических скважин с результатами использования передовых методов, таких как искусственные нейросети, открыла дополнительную ценность метода АЕМ и применения искусственного интеллекта.

Однако существуют ограничения в применимости воздушного геосканирования. Некоторые из них логистические, например доступность района изысканий. Хотя исследования с вертолета и могут охватывать многие территории, где невозможно применение наземных геофизических методов, но все же, например, в первом из рассмотренных ранее случаев по индийским проектам вертолет не мог маневрировать над самой крутой частью горного хребта. Городские районы также недоступны для вертолетных исследований по соображениям безопасности. К тому же для получения геологических моделей по данным электромагнитной съемки необходимо, чтобы расстояние до существующих (металлических) сооружений составляло около 100 м.

Некоторые ограничения также связаны с самим геофизическим методом. Геофизический контраст между целевой структурой и окружающей ее средой должен быть достаточно сильным, чтобы эту структуру можно было обнаружить с помощью прибора. Например, несмотря на то что при определении основных зон трещиноватости в Норвегии было обнаружено основное уязвимое место, возможно, существуют очень тонкие трещины или зоны, которые важны для инженеров-тоннелестроителей, но недостаточно велики для получения изображений с помощью воздушного геосканирования.

Разрешающая способность геофизического оборудования также является ограничением. Используемое конкретное устройство для электромагнитной съемки во временной области с вертолета обычно имеет разрешение по вертикали в несколько метров в приповерхностной зоне и только в десятки метров на глубине в несколько сотен метров от поверхности земли. Разрешение по горизонтали обычно составляет 30–100 м в зависимости от глубины от поверхности и от высоты полета над землей. Но все же интеграция достоверных результатов наземных исследований с геофизическими данными позволяет создавать геологические модели с точностью до нескольких метров. Об этом свидетельствуют как рассмотренная в статье оценка толщины скальных грунтов над будущим тоннелем в Центральной Норвегии, так и обратный анализ прошлых исследований с помощью геосканирования, представленный в более ранней публикации [8].

Несмотря на эти недостатки, примеры, приведенные в настоящей статье,

ясно показывают, что воздушное геосканирование может обеспечить значительную экономию затрат на крупномасштабные проекты строительства инфраструктуры в различных геологических средах по всему миру. Хотя этот метод и не может полностью устранить геологические риски, обширная информация, предоставляемая с его помощью на ранних стадиях, может внести значительный вклад в снижение этих рисков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ►

Применение воздушного геосканирования на ранних или поздних стадиях развития проектов по строительству тоннелей позволяет получить ценную информацию об изучаемых территориях и выявить потенциальные зоны, для которых необходимы последующие уточняющие исследования. Четыре случая из практики, рассмотренные в статье, показали, что с помощью этого метода возможно обнаружение крупных зон трещиноватости, слабых грунтов и недостаточной мощности скальных пород над планируемым тоннелем. Его использование обеспечило улучшение планирования буровых работ, а также оптимизацию и перепроектирование трасс тоннелей и систем их крепления на более ранних этапах. Возможность решить эти проблемы как можно раньше (на этапе планирования, до осуществления крупных инвестиций) снижает риск перерасхода средств. И даже если проект находится на более поздней стадии развития или если изменений в положении трассы тоннеля невозможно избежать, более точная оценка затрат и геологических рисков по-прежнему важна для обеспечения финансово обоснованного и безопасного строительства. **И**

Эта статья посвящается памяти господина Санджива Малика, который ушел от нас из-за COVID-19 во время подготовки рукописи. Как исполнительный директор государственной индийской компании NHIDCL (Национальной корпорации развития автомобильных дорог и инфраструктуры) он мыслит дальновидно, проявлял живой интерес к методам электромагнитной съемки и к возможностям использования полученных с их помощью данных для крупных инфраструктурных проектов. Авторы знали господина Малика как очень умного, приятного и доброго человека. Его будет очень не хватать, и эта утрата тяжело ощущается всеми.

Авторы благодарны норвежской государственной компании Vape NOR (ответственной за владение, техническое обслуживание, эксплуатацию и разви-

тие железнодорожной инфраструктуры) за разрешение опубликовать результаты исследований по определению ос- новных зон трещиноватости в Норве-

гии и выражают особую благодарность А.Х. Финнёй, И.Л. Ульнесс и Х.Г. Хише за их помощь в подготовке инженерно- геологических данных.

ИСТОЧНИК ДЛЯ ПЕРЕВОДА ►

(SOURCE FOR THE TRANSLATION) ►

Rasmussen A.H., Linares G.M., Christensen C.W., Malik S., Skurdal G.H., Pfaffhuber A.A. Airborne geoscanning as a site investigation tool in large-scale tunnelling projects: a synthesis of case studies from Norway and India // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 861. № 4. Rock Engineering Design. Article 042039. DOI 10.1088/1755-1315/861/4/042039. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/861/4/042039/meta>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ, ИСПОЛЬЗОВАННОЙ АВТОРАМИ ПЕРЕВЕДЕННОЙ СТАТЬИ ►

(REFERENCES USED BY THE AUTHORS OF THE TRANSLATED PAPER) ►

1. Beckers F., Chiara N., Flesch A., Maly J., Silva E., Stegemann U. A risk-management approach to a successful infrastructure project // McKinsey Working Papers on Risk. 2013. Vol. 52.
2. Pfaffhuber A.A., Grimstad E., Domaas U., Auken E., Foged N., Halkjaer M. Air-borne EM mapping of rockslides and tunneling hazards // Lead. Edge. 2010. Vol. 29. № 8. P. 956–959.
3. Okazaki K., Mogi T., Utsugi M., Ito Y., Kunishima H., Yamazaki T., Takahashi Y., Hashimoto T., Ymamaya Y., Ito H., et al. Airborne electromagnetic and magnetic surveys for long tunnel construction design // Phys. Chem. Earth. 2011. Vol. 36. P. 1237–1246.
4. Pfaffhuber A.A., Lysdahl A.O.K., Sormo E., Skurdal G.H., Thomassen T., Anschutz H., Scheibz J. Delineating hazardous material without touching – AEM mapping of Norwegian alum shale // First Break. 2017. Vol. 35. № 8. P. 59–39. DOI: 10.3997/1365-2397.35.8.89807.
5. Harrison E.J., Skurdal G.H., Christensen C.W., Pfaffhuber A.A., Lund A.K., Second B. Applying machine learning on airborne geophysical models to map bedrock topography and its lithological boundaries // ITA-AITES World Tunnel Congress, WTC2022 and 47th General Assembly Bella Center, 22–28 April 2022, Copenhagen (in review).
6. Christiansen A.V., Auken E., Sorensen K. Groundwater Geophysics (2nd edition, edited by R. Kirsch. Berlin: Springer, 2009. P. 179–226.
7. Lysdahl A.K., Andresen L., Voge M. Construction of bedrock topography from airborne-EM data by artificial neural network // 9th European Conf. on Numerical Methods in Geotechnical Engineering (NMGE 2018), 25–27 June 2018, Porto (extended abstract).
8. Pfaffhuber A.A., Lysdahl A.O., Christensen C., Voge M., Kjennbakken H., Mykland J. Large scale, efficient geotechnical soil investigations applying machine learning on airborne geophysical models // Proc. of the XVII European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 1–6 September 2019, Reykjavik.
9. Silvestri S., Christensen C.W., Lysdahl A.O.K., Anschutz H., Pfaffhuber A.A., Viezzoli A. Peatland volume mapping over resistive substrates with airborne electromagnetic technology // Geophys. Res. Lett. 2019. Vol. 46. P. 6459–6468. URL: <https://doi.org/10.1029/2019GL083025>.
10. Z Morh Tunnel Geological Plan Layout with Geotechnical Investigation. Grusamar Ingenieria y Consulting, 2017. Drawing № DNDA/ADV/1029-Z MORH/2017/5_1, DNDA/ADV/1029-Z MORH/2017/5_2.
11. Z Morh Tunnel Geotechnical Longitudinal Profile. Grusamar Ingenieria y Consulting, 2017. Drawing № DNDA/ADV/1029-Z MORH/2017/6_2, DNDA/ADV/1029-Z MORH/2017/6_3.
12. Christensen C.W., Skurdal G.H., Pfaffhuber A.A., Ronning S., Lindgard A., Sellgren K.C. 2020. Airborne geoscanning and efficient geotechnical ground investigation workflows: A roadbuilding case study from Central Norway // 18th Nordic Geotechnical Meeting (Virtual Conf. NGM 2020), 18–19 January 2021, Helsinki (extended abstract).

Независимый электронный журнал
ГеоИнфо

С 2022 года журнал «ГеоИнфо»
выходит в формате *PDF.
10 выпусков в год.

WWW.GEOINFO.RU

Здесь может быть ваша
РЕКЛАМА



Рекламная статья в журнале – **35 000** 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 – **35 000** 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.

WWW.GEOINFO.RU



ПРИМЕНЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ КАМНЕПАДОВ И ПЛАНИРОВАНИЯ СТРАТЕГИЙ ЗАЩИТЫ ОТ НИХ ВДОЛЬ ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ

ФОРИА Ф.

Компания ETS Srl, г. Рим, Италия
federico.foria@etsingegneria.it

МИЧЕЛИ Г.

Компания ETS Srl, г. Рим, Италия

ТАМБУРИНИ А.

Компания IMAGEO Srl, коммуна Маттие, провинция Турин, Италия

ВИЛЛА Ф.

Компания IMAGEO Srl, коммуна Маттие, провинция Турин, Италия

РЕЧ А.

Бюро Studio Geologico Epifani, г. Арона, провинция Новара, Италия

ЭПИФАНИ Ф.

Бюро Studio Geologico Epifani, г. Арона, провинция Новара, Италия

АННОТАЦИЯ

Представляем немного сокращенный адаптированный перевод статьи итальянских исследователей «Применение пространственного многокритериального анализа для оценки опасности камнепадов и планирования стратегий защиты от них вдоль линейных сооружений» (Foria et al., 2021). Она была опубликована в 2021 году в журнале *Earth and Environmental Science* («Науки о Земле и окружающей среде») издательством британской благотворительной научной организации IOP (Institute of Physics – «Институт физики»), ставшей фактически международной. Эта статья находится в открытом доступе по лицензии CC BY 3.0, которая позволяет распространять, переводить, адаптировать и дополнять ее при условии указания типов изменений и ссылки на первоисточник. В нашем случае полная ссылка на источник для представленного перевода (Foria et al., 2021) приведена в конце.

Линейные сооружения часто проходят через районы с высокой вероятностью оползневых событий, что в конечном итоге приводит к серьезным проблемам с их эксплуатацией и ставит под угрозу их безопасность. Выявление и прогнозирование оползнеопасных зон является сложной задачей, особенно в отношении камнепадов, поскольку они могут происходить внезапно и быстро.

Для оценки опасности камнепадов необходимы подробные данные, касающиеся геометрии склона, инженерно-геологических свойств слагающих его грунтов, дренажной системы и т. д. Несмотря на то что тематические наборы таких данных доступны и их можно легко загрузить для большей части территории Италии, их детальность недостаточна и необходимо собирать специальную исходную информацию.

Авторами статьи была разработана оригинальная междисциплинарная методика GEO4 на основе материалов, подготовленных с помощью системы мобильного картографирования ARCHITA, интегрированных с данными бортового лидара, обследований трасс линейных сооружений, с использованием геоинформатики, геологических моделей, инженерно-геологических характеристик и геоморфометрического подхода. После применения этой методики используется пространственный многокритериальный анализ (Spatial Multi-Criteria Analysis, SMCA) для получения агрегированного пространственно распределенного показателя оползнеопасности на основе нормализованных значений инициирующих факторов. Такой показатель применяется для выявления и классификации неустойчивых морфологических элементов склонов вдоль линейных сооружений, помогая лицам, принимающим решения, определять наиболее подходящие защитные меры и планировать их реализацию более четким, воспроизводимым и объективным образом.

Представленный в статье метод к настоящему времени успешно применен на сотнях километров железнодорожных линий в Италии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

оползневая опасность; опасность камнепадов; защита от оползневых явлений; защита от камнепадов; линейные сооружения; междисциплинарная методика GEO4; пространственный многокритериальный анализ (SMCA); агрегированный показатель оползнеопасности.

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Фория Ф., Мичели Г., Тамбурины А., Вилла Ф., Реч А., Эпифани Ф. Применение пространственного многокритериального анализа для оценки опасности камнепадов и планирования стратегий защиты от них вдоль линейных сооружений (пер. с англ.) // Геоинфо. 2024. Т. 6. № 7-8. С. 30–39. DOI:10.58339/2949-0677-2024-6-7-8-30-39.

APPLICATION OF SPATIAL MULTI-CRITERIA ANALYSIS (SMCA) TO ASSESS ROCKFALL HAZARD AND PLAN MITIGATION STRATEGIES ALONG LONG INFRASTRUCTURES

FORIA F.

ETS Srl, Roma (RM), Italy

MICELI G.

ETS Srl, Roma (RM), Italy

TAMBURINI A.

IMAGEO Srl, Mattie (TO), Italy

VILLA F.

IMAGEO Srl, Mattie (TO), Italy

RECH A.

Studio Geologico Epifani, Arona (NO), Italy

EPIFANI F.

Studio Geologico Epifani, Arona (NO), Italy

ABSTRACT

We present a slightly abridged and adapted translation of the paper “Application of spatial multi-criteria analysis (SMCA) to assess rockfall hazard and plan mitigation strategies along long infrastructures” by Italian researchers (Foria et al., 2021). It was published in the journal “Earth and Environmental Science” by the publishing company of the British scientific society “Institute of Physics” (IOP) that is now virtually international. It is an open access article under the CC BY 3.0 license that allows it to be distributed, translated, adapted, and supplemented, provided that the types of changes are noted and the original source is referred to. In our case, the full reference to the original paper (Foria et al., 2021) used for the presented translation is given in the end.

Long infrastructures often cross areas with a high probability of landslides, causing eventually serious problems to the serviceability and compromising safety. The identification and prediction of hazardous zones are difficult, especially for what concerning rockfalls, as they can occur quickly and suddenly.

In order to assess rockfall hazard, detailed data such as slope geometry, geotechnical and geomechanical properties of materials, drainage system pattern, etc. are needed. Even though thematic datasets are available and easily downloadable for the majority of the Italian territory, their scale is not adequate and ad-hoc input data must be gathered.

An original multi-disciplinary procedure (GEO4) has been developed by the authors based on a mobile mapping system (ARCHITA) integrated with Airborne Lidar and ILI (In-Line Inspections), geomatics, geological models, geotechnical-geomechanical characterization and geomorphometric approach. A Spatial Multi-Criteria Analysis (SMCA) is then used to create a composed and spatially distributed index of landslide hazard based on normalized values of triggering factors. Such index is used to identify and classify the morphological unstable element along the infrastructure,

supporting decision-makers in defining the most appropriate mitigation measures and planning their implementation in a clearer, more repeatable and more objective orientated-way.

The presented method has been successfully applied so far to hundreds of km of railway lines in Italy.

KEYWORDS:

landslide hazard; rockfall hazard; landslide mitigation; rockfall mitigation; long infrastructures; GEO4 multi-disciplinary procedure; spatial multi-criteria analysis (SMCA); aggregated index of landslide hazard.

FOR CITATION:

Foria F., Miceli G., Tamburini A., Villa F., Rech A., Epifani F. *Primeneniye prostranstvennogo mnogokriterial'nogo analiza dlya otsenki opasnosti kamnepadov i planirovaniya strategii zashchity ot nikh vdol' lineinykh sooruzheniy [Application of spatial multi-criteria analysis (SMCA) to assess rockfall hazard and plan mitigation strategies along long infrastructures] (translated from English into Russian) // Geoinfo. 2024. Vol. 6. № 7-8. S. 30–39. DOI:10.58339/2949-0677-2023-6-7-8-30-39 (in Rus.).*

ВВЕДЕНИЕ ▶

Такие катастрофические явления, как оползни, могут существенно повлиять на человеческие сообщества, создавая угрозу для жизни людей, влияя на их деятельность и функционирование инфраструктуры. Для решения этих проблем важно иметь инструменты, которые позволят выявлять возможность этих событий и надлежащим образом управлять соответствующими рисками. В статье предлагается подход, разработанный в этих целях главным образом в рамках деятельности «Итальянской железнодорожной компании» (Rete Ferroviaria Italiana, RFI).

На многих итальянских железнодорожных линиях одной из самых серьезных проблем безопасности эксплуатации является гидрогеологическая нестабильность: даже небольшие объемы камней или другого обломочного материала на путях могут привести к сходу поезда с рельсов [1, 2]. Чтобы помочь в реализации глобальных стратегий заказчиков и точно спланировать денежные средства, предназначенные для обеспечения безопасности железной дороги, необходимо картирование оползневой опасности.

Для большей части территории Италии доступны данные по оползням различной детальности, но они неоднородны и их картографический масштаб слишком мал для анализа нестабильных участков склонов вдоль железнодорожных коридоров. Кроме того, не учитывается опасность оползней вдоль железнодорожных выемок.

Также недостаточно знаний об исторических событиях, произошедших на железных дорогах, и недостаточно известны условия устойчивости на обочинах путей в отношении как естественных склонов, так и откосов искусственных выемок.

Для параметризации различных компонентов опасности и оценки подверженности оползням для каждой точ-

ки железнодорожного коридора необходим единый и объективный подход, основанный на детальном изучении рельефа, геологических и геоморфологических условий, свойств скальных и дисперсных грунтов. Такой крупномасштабный анализ проводится в рамках сервиса GEO4 на основе мобильной картографической системы ARCHITA, интегрированной с данными бортового лидара, обследований маршрутов линейных сооружений, с использованием геоинформатики, геологических моделей, инженерно-геологических характеристик и геоморфометрического подхода. Данная методика позволяет картировать склоны вдоль объектов инфраструктуры путем определения пространственной вероятности возникновения оползней и других критических событий с помощью пространственного многокритериального анализа (Spatial Multi-Criteria Analysis, SMCA). При использовании сервиса GEO4 можно составлять карты рисков и приоритетов, чтобы оперативно помогать властям в реализации глобальных стратегий и планировании выделения денежных средств на обеспечение безопасности железнодорожных линий в течение времени их эксплуатации.

СУТЬ МЕТОДИКИ ▶

Для оценки оползневой опасности вдоль железнодорожных коридоров был применен подход, разработанный с помощью систем поддержки пространственных решений (Spatial Decision Support Systems, SDSS). Этому подходу отвечают такие требования, как:

- масштаб, подходящий для необходимого уровня детализации;
- высокопроизводительные методы изысканий, позволяющие свести к минимуму полевые работы и соответствующие помехи движению железнодорожного транспорта;

- воспроизводимость для обеспечения объективности;
- калибровка на основе задокументированных случаев из практики.

Пространственный многокритериальный анализ (SMCA) основан на подходе, разработанном и в основном используемом в качестве системы поддержки принятия решений в области государственного планирования [3]. Он необходим, когда измеряемый параметр является функцией многих напрямую не сопоставимых переменных, которые необходимо взвесить и нормализовать.

Этот анализ включает множество подходов, все из которых основаны на одной и той же схеме: определить вклад каждого критерия и его вес для окончательного выбора (или классификации). Данный процесс обычно делится на три этапа: определение критериев, их нормализация (критерий обычно нормируется в диапазоне от 0 до 1) и присвоение веса (или относительной важности) каждому критерию.

В геологической и экологической сферах анализ SMCA в основном применяется для картирования опасностей и рисков, которые, как правило, зависят от разнородных переменных [4–6]. В рассматриваемом в статье случае анализ и входные параметры модели SMCA определялись в соответствии с основными известными проблемами, связанными с устойчивостью склонов вдоль анализируемых железнодорожных коридоров (в основном с камнепадами, сходами другого обломочного материала и оползнями дисперсных грунтов).

Детализация (или пространственное разрешение) анализа составляла 10 м. То есть через каждые 10 м вдоль железнодорожной линии рассчитывалось одно значение каждого параметра. Шаг в 10 м был выбран для наиболее подходящего общего разрешения, отражающего все вариации параметров.

СБОР ДАННЫХ ►

Было организовано четыре уровня сбора данных.

1. Библиографический анализ ►

Первый и более низкомасштабный уровень – это библиографический анализ со сбором существующих данных по изучаемой местности: геологических карт, официальных кадастров оползней (www.progettoiffi.isprambiente.it), данных по смещениям поверхности из Национальной базы данных спутниковой интерферометрии (InSAR, www.pcn.miamambiente.it/GN/progetti/piano-straordinario-di-telerilevamento) и других открытых источников геоданных (https://geoportale.lamma.rete.toscana.it/difesa_suolo/#/viewer/openlayers/326).

Для обнаружения и мониторинга оползневых процессов и явлений (а также для повышения эффективности инвентаризации оползней в региональном масштабе и для оценки охваченных ими площадей) в качестве дополнения к традиционным геологическим и геоморфологическим исследованиям может рассматриваться спутниковая радарная интерферометрия благодаря ее способности обнаруживать смещения на миллиметровом уровне в течение длительного времени и на больших площадях.

Доступные в настоящее время архивы данных, полученных с помощью спутниковых радаров примерно за 30 лет, охватывают всю территорию Италии. Их использование может помочь в исследованиях оползней как в крупных, так и в малых масштабах, помогая в оценке площадей оползней, в обнаружении незакартированных оползневых событий, в оценке оползневой активности.

2. Бортовое лазерное сканирование ►

Второй уровень информации получают путем бортового лазерного сканирования (лидарной съемки) вдоль всей железнодорожной линии при ширине коридора около 400 м. По этим данным можно получить цифровую модель местности (ЦММ) и цифровую модель поверхности (ЦМП) с высоким разрешением (0,5 м/пиксель), а также детальное ортоизображение (10 см/пиксель).

3. Мобильное картографирование ►

После первого предварительного анализа библиографической информации и лидарных топографических данных используется система мобильного много-



Рис. 1. Система мобильного многомерного картографирования ARCHITA

мерного картографирования ARCHITA, разработанная компанией ETS Srl [7] для откосов железнодорожных выемок, которые, как правило, видны только с путей (рис. 1). Данная система оснащена лазерным сканером, тепловизионными камерами, многоканальным георадаром и видеокамерами высокого разрешения и обеспечивает скорость съемки в среднем 15–30 км/ч. Это сокращает время полевых работ, повышает безопасность работников и не требует частых и длительных перебоев в движении транспорта. Облака точек мобильного лазера и бортового лидара могут быть наложены друг на друга и объединены благодаря высокоточному методу геопозиционирования, принятому для систем геодезической съемки.

4. Обследования трасс линейных сооружений ►

Последний уровень исследований – это полевые изыскания вдоль трассы линейного объекта, результаты которых дополняют предыдущие. Они направлены на непосредственный сбор информации:

- по геологии и геоморфологии местности, инженерно-геологическим свойствам слагающих откосы/склоны материалов, результатам полевых испытаний;
- по выполненным ранее работам для укрепления откосов/склонов, имеющимся защитным сооружениям, их состоянию;
- по неустойчивости откосов/склонов, эрозионным явлениям на них и т. д.

Кроме того, во время полевых изысканий отбираются образцы дисперсных/скальных грунтов, репрезентативные для каждого литотипа, которые используются при лабораторных испытаниях в целях определения основных параметров для предварительного анализа

устойчивости откосов/склонов вдоль каждого 10-метрового участка трассы.

ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ ДАННЫХ ►

Поскольку все собранные данные имеют географическую привязку, их можно обрабатывать в среде ГИС (в геоинформационной системе) в целях извлечения всех входных параметров, необходимых для анализа методом SMCA, что помогает идентифицировать зоны зарождения возможных оползней и масштабы зон их охвата. Эта информация необходима для оценки оползневой опасности вдоль железных дорог.

Оценка устойчивости откосов/склонов ►

Для оценки показателя устойчивости откоса/склона вдоль железной дороги обычно применяются как геоморфометрические данные, так и результаты полевых и лабораторных испытаний. В зависимости от типа откоса/склона и развивающихся там процессов можно использовать инженерно-геологический подход.

Распределение значимых геомеханических параметров недоступных скальных обрывов можно получить путем обработки плотного облака точек, полученного при мобильном сканировании.

Для расчета локальной ориентации особенностей откоса/склона в каждой точке плотного облака точек можно использовать коммерческое программное обеспечение. Примером может служить программа Coltop3D [8], в которой применяется идея присвоения уникального цвета для угла наклона и направления линии падения плоскости каждой трещины путем адаптации такого инструмента компьютерной графики, как цве-

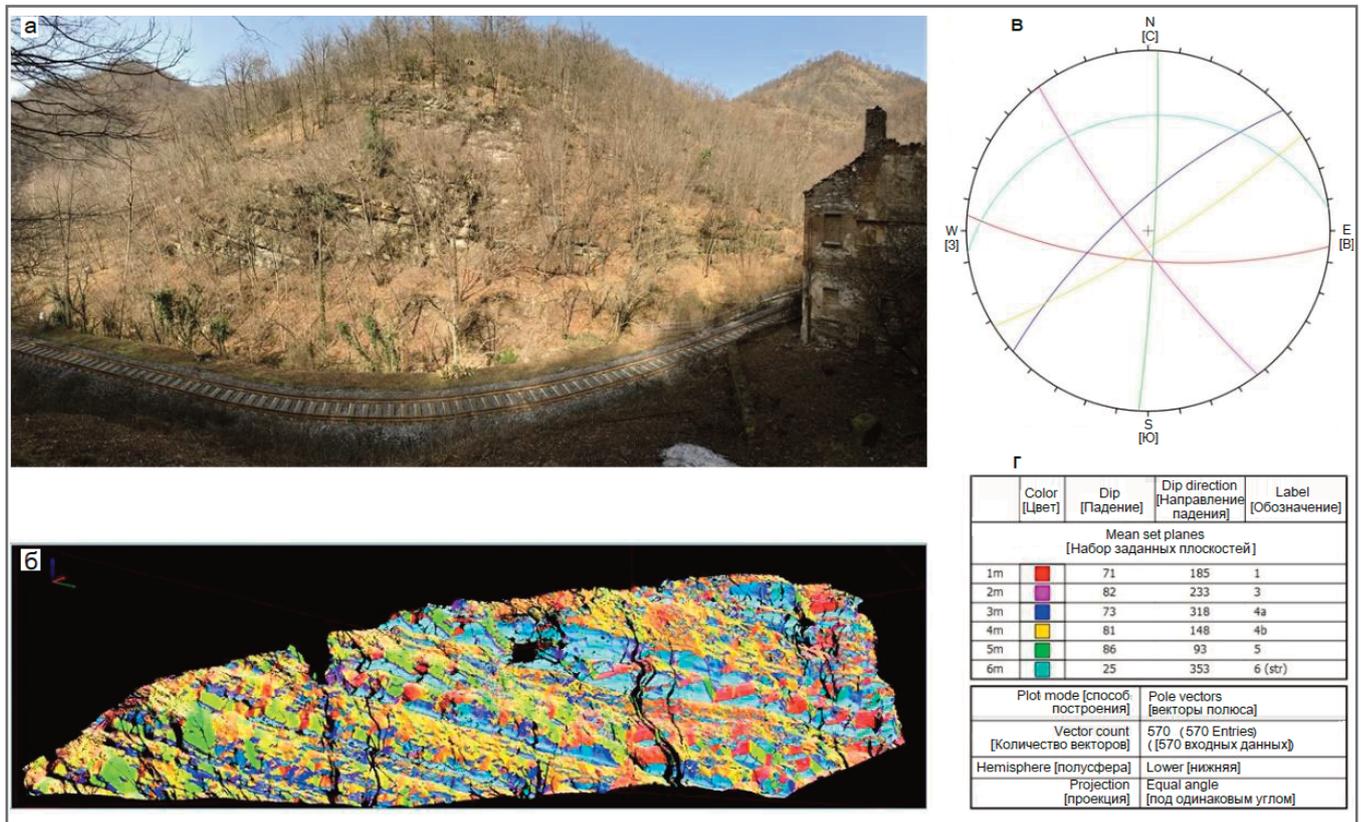


Рис. 2. Исследуемый обрывистый скалистый склон над участком железной дороги Борго-Сан-Лоренцо – Фаэнца (а); его изображение в присвоенных цветах, отражающих ориентацию основных систем трещин (б); стереосеть (нижняя полусфера), отражающая основные системы трещин, идентифицированные в результате анализа в соответствии с теми же цветовыми кодами (в); таблица присвоения цветов (г)

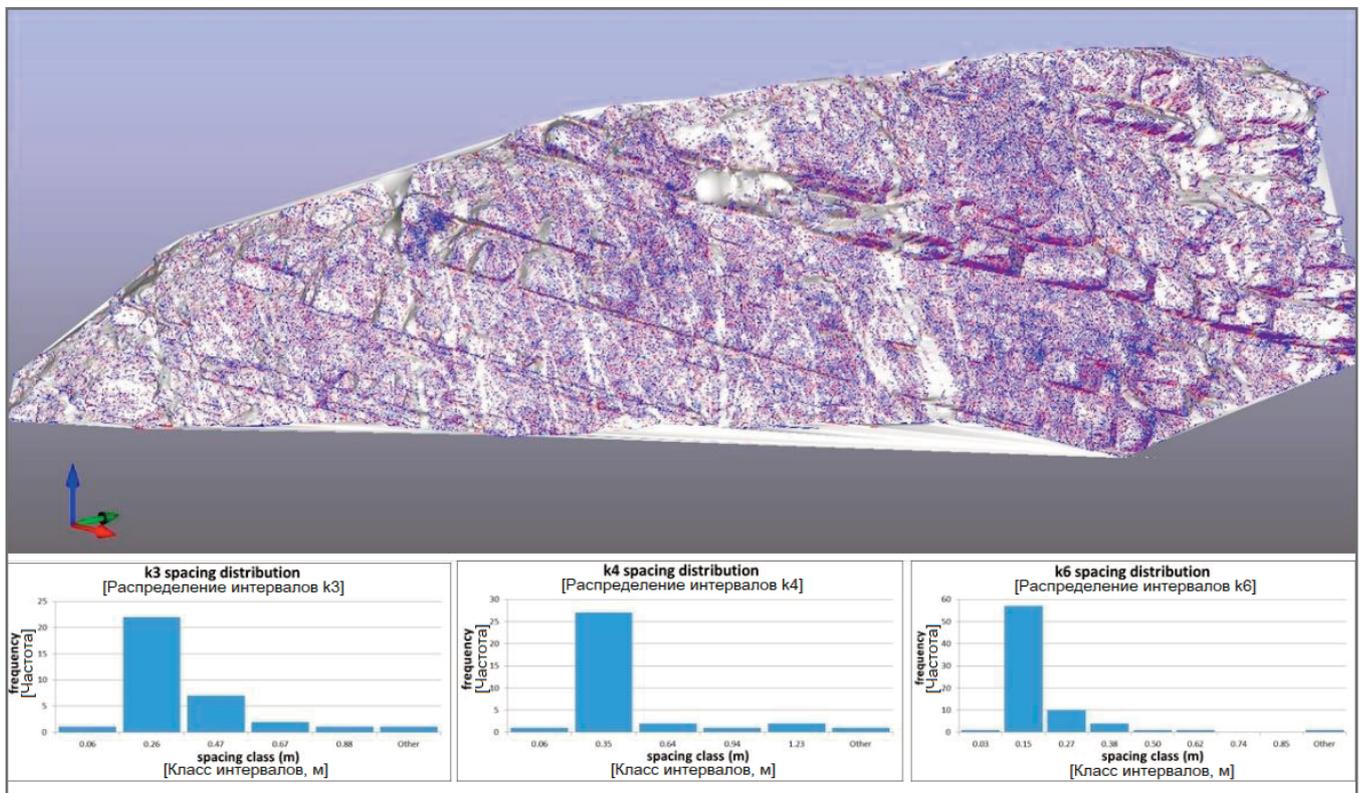


Рис. 3. Следы трещин и гистограммы распределения интервалов между трещинами для трех их основных систем (наклон поверхности – тот же, что и на рисунке 2).

товое колесо модели HSV (Hue Saturation Value – «Оттенок, насыщенность, значение»), где каждому цвету соответ-

ствуют три координаты, к стандартной стереосети (рис. 2). (В цветовом пространстве модели HSV, используемой

для трехкоординатного присвоения цвета, используется цилиндрическая система координат, а множество допусти-

морфометрический показатель, который может быть легко получен из ЦМР. Основное внимание при этом уделяется влиянию рельефа на связность отложений, в то время как другие аспекты, такие как тип, протяженность и местоположение зон зарождения оползней, не принимаются во внимание. *IC* может использоваться в качестве безразмерного показателя для участков вдоль линейных сооружений, которые характеризуются более высокими скоростями течения и расходами вод и/или отложений. (Забегая вперед: геоморфологическая карта и карта распределения значений *IC*, показанные соответственно на рисунках 8, а, б для одного и того же участка железной дороги, демонстрируют очень хорошую корреляцию выделяемых по ним более опасных участков, что подтверждается картой оползневой опасности на рисунке 8, г.)

Упрощенный подход к выделению зоны, поражаемой потенциальным камнепадом, обеспечивается применением метода угла тени (конуса), или энергетических линий (согласно которому максимальное расстояние перемещения обломков определяется пересечением рельефа с энергетической линией, имеющей эмпирически оцененный наклон. – *Ред.*). Этот подход был описан несколькими авторами [15] и реализован в программе CONEFALL [16]. Был разработан простой ГИС-инструмент для выделения максимальной поражаемой потенциальным камнепадом зоны в соответствии с определенным углом так называемого сектора тени. Полученные результаты могут быть нанесены на карту или ортоизображение для лучшей визуализации и анализа (рис. 6). Этот простой геометрический подход очень полезен для предварительного зонирования территории вдоль сотен километров коридоров линейных сооружений с целью выявления тех областей, для которых необходим дальнейший детальный анализ потенциальных траекторий падающих обломков с помощью 2D и 3D программного обеспечения.

Чтобы получить оценку площади зоны, охваченной перемещением масс (например, селевым потоком), на основе доступной ЦМР, можно применить алгоритм MSF (Modified Single Flow – «Модифицированный единый поток») [17]. Он основан на использовании единого направления потока от заданной начальной точки, причем центральная линия потока проходит в направлении наиболее крутого спуска.

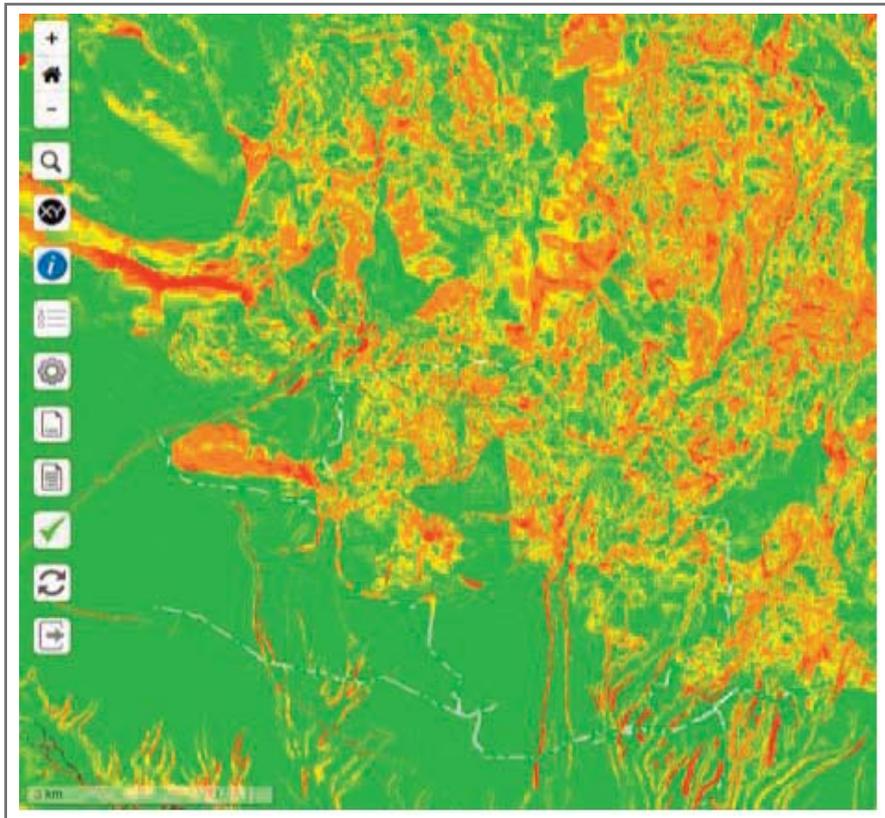


Рис. 5. Карта распределения значений коэффициента устойчивости, полученная с помощью ГИС-модели SINMAP

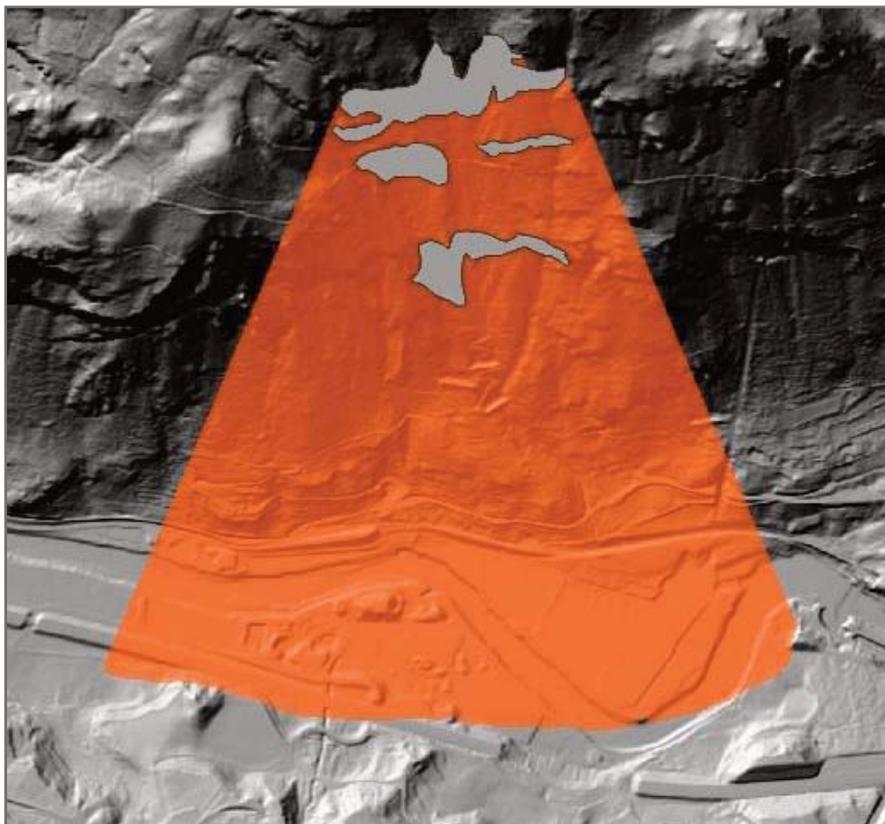


Рис. 6. Зона, поражаемая потенциальным камнепадом, выделенная оранжевым цветом (зоны зарождения возможных камнепадов выделены светло-серым цветом)

Применение алгоритма MSF дает только информацию об ожидаемой площади возможного перемещения масс, а не о его скорости и не о толщине оползневых отложений. Это препятствует возможности проведения како-

го-либо дальнейшего анализа воздействия потенциального оползня на сооружения, находящиеся в охваченной им зоне.

Чтобы прекратить перемещение масс, необходимо установить определенный угол их схода. Многими авторами были предложены эмпирические выражения для обратной зависимости между тангенсом этого угла α (равного H/L , где H – перепад высот; L – горизонтальная составляющая дальности транзита материала) и объемом оползня. Эта зависимость соответствует среднему наклону линии, соединяющей самую высокую точку зоны отрыва масс с самой дальней точкой зоны их аккумуляции, и представляет собой средний коэффициент трения (рис. 7). Для остановки перемещения масс при использовании MSF необходимо принять надлежащее пороговое значение отношения H/L .

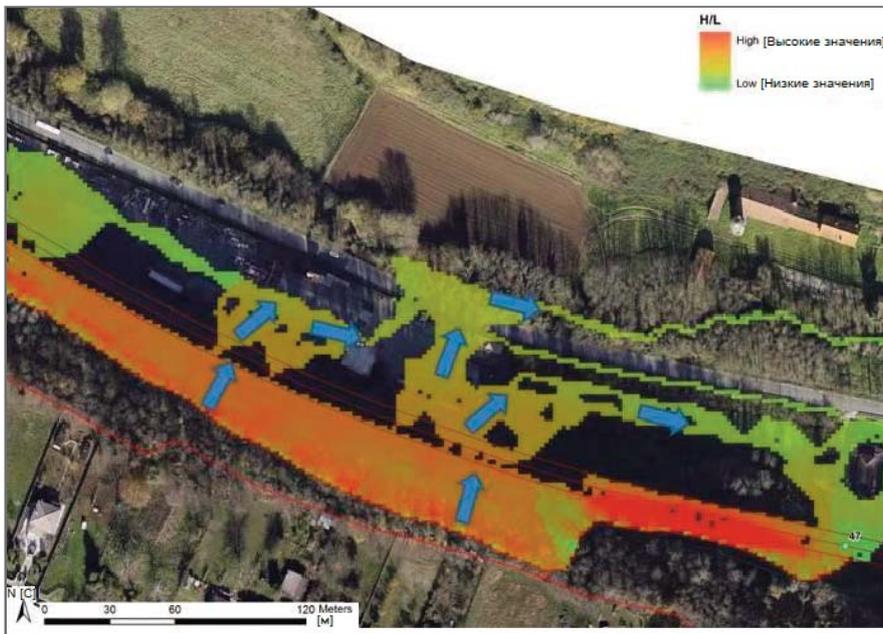


Рис. 7. Прогнозируемая зона поражения перемещающимися массами

Пространственный многокритериальный анализ (SMCA) ▶

Каждый входной параметр описывается векторным или растровым слоем с географической привязкой, образуя та-

ким образом базу геоданных, необходимую для выполнения пространственного многокритериального анализа (SMCA).

Затем рассчитывается агрегированный показатель с использованием алгебраической формулы, которая калиб-

руется на основе доступных данных по случаям из практики. Такой показатель является функцией по крайней мере следующих характеристик:

- коэффициента устойчивости склона;
- индекса связности отложений;

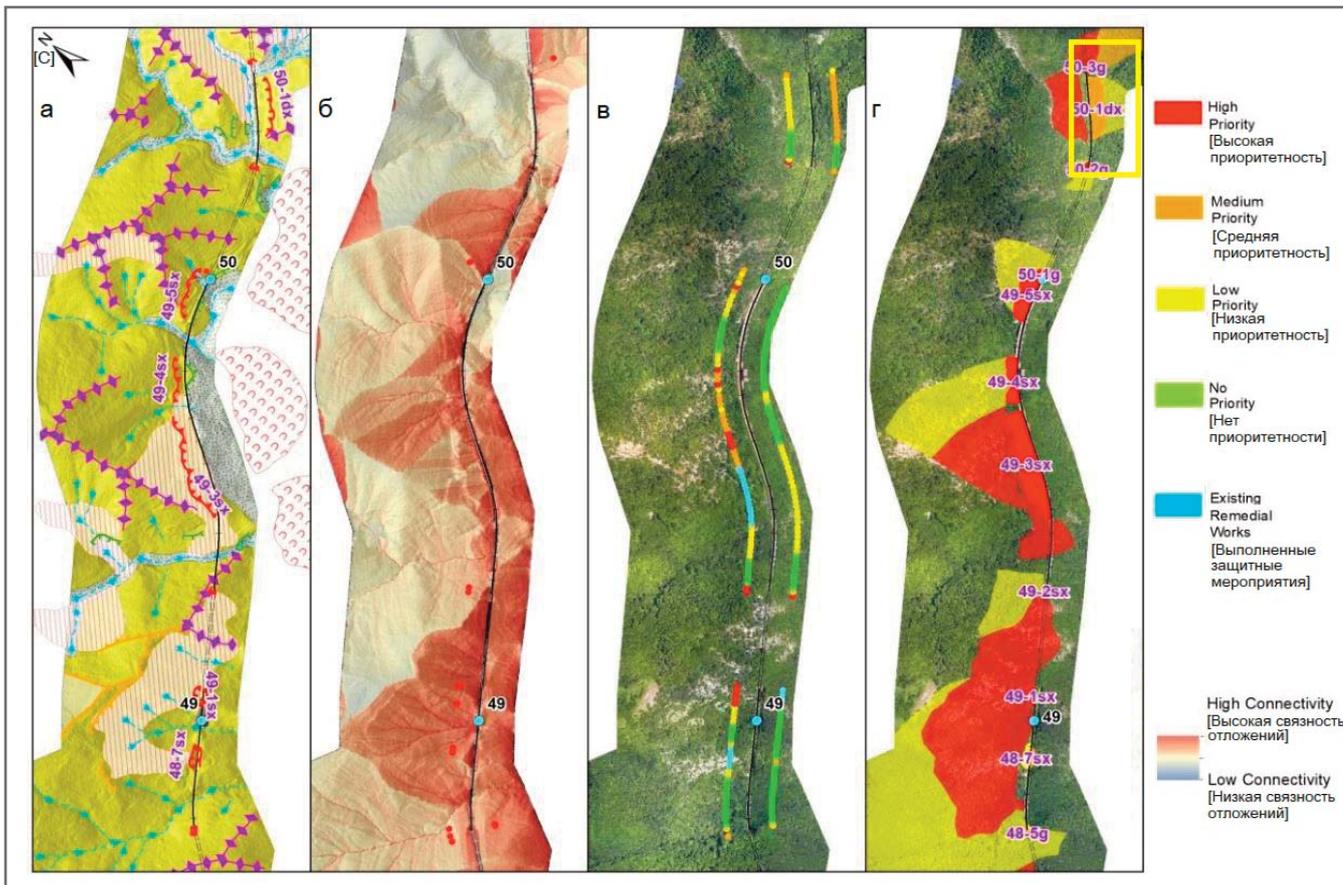


Рис. 8. Тематические карты, созданные для оценки оползнеопасности вдоль железнодорожной линии Борго-Сан-Лоренцо – Фаэнца: а – геоморфологическая карта; б – карта распределения значений индекса связности отложений IC (красные точки обозначают превышения пороговых величин); в – карта распределения итоговых значений индекса, рассчитанных через каждые 10 м вдоль железнодорожной линии с обеих сторон; г – карта агрегированного показателя оползневой опасности (обычно принимаются четыре приоритетных класса; уступ, показанный на рисунке 2, выделен желтой рамкой)

- оценки слагающего склон грунтового массива в соответствии с классификационной системой SMR (Slope Mass Rating);
- высоты растительного покрова;
- проведенных ранее противооползневых мероприятий и состояния соответствующих защитных сооружений;
- признаков неустойчивости;
- эрозионных и прочих явлений;
- дальности транзита перемещающихся масс;
- наличия на исследуемой территории ранее сошедших задокументированных оползней.

Окончательная классификация позволяет получить карту территории вдоль коридора линейного сооружения, на которой указаны четыре класса опасности (ее приоритетности) (рис. 8, г). Примеры, представленные на рисунке 8, относятся к недавнему исследованию, проведенному вдоль железнодо-

рожной линии протяженностью 76 км (линии Борго-Сан-Лоренцо – Фаэнца в центральной части Италии).

В целях обеспечения легкого доступа к данным и предоставления простого в использовании веб-сервиса для периодического обновления данных была внедрена платформа WebGIS (Веб-ГИС). (WebGIS – это усовершенствованная форма геоинформационной системы, доступная на веб-платформе; обмен информацией в этом случае происходит между сервером и клиентом, где сервером является сервер геоинформационной системы, а клиентом – веб-браузер, мобильное приложение и настольное приложение. – *Ред.*)

Будущие разработки ►

Описанный подход может быть распространен и на другие линейные сооружения, например автомобильные до-

роги, трубопроводы, линии электропередачи.

Кроме того, можно интегрировать структуру WebGIS с модулем системы раннего предупреждения (СРП), способным получать и обрабатывать данные мониторинга в режиме реального времени. Предупреждающие сообщения могут генерироваться автоматически путем сравнения полученных данных с заранее установленными пороговыми значениями по широкому спектру иницирующих параметров, например по атмосферным осадкам, поверхностным и подземным смещениям, поровому давлению и т. д. Интерфейс WebGIS позволит пользователям просматривать данные, запрашивать их и взаимодействовать с системой, предоставляя обратную связь по автоматическим предупреждениям, генерируемым СРП, поддерживая калибровку и оптимизацию пороговых величин и эталонных сценариев. 

ИСТОЧНИК ДЛЯ ПЕРЕВОДА ►

(SOURCE FOR THE TRANSLATION) ►

Foria F., Miceli G., Tamburini A., Villa F., Rech A., Epifani F. Application of spatial multi-criteria analysis (SMCA) to assess rockfall hazard and plan mitigation strategies along long infrastructures // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 833. Mechanics and Rock Engineering from Theory to Practice, 20–25 September 2021, Turin, Italy. Article 012074. DOI: 10.1088/1755-1315/833/1/012074. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/833/1/012074>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ, ИСПОЛЬЗОВАННОЙ АВТОРАМИ ПЕРЕВЕДЕННОЙ СТАТЬИ ►

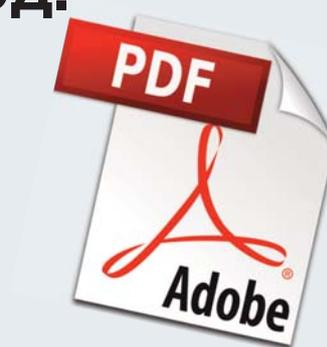
(REFERENCES USED BY THE AUTHORS OF THE TRANSLATED PAPER) ►

1. Geertsema M., Schwab J.W., Blais-Stevens A., Sakals M.E. Landslides impacting linear infrastructure in west central British Columbia // Nat. Haz. 2009. Vol. 48. P. 59–72.
2. Guerriero L., Revellino P., Grelle G., Fiorillo F., Guadagno F.M. Landslides and infrastructures: the case of the Montaguto earth flow in southern Italy // Italian Journal of Engineering Geology and Environment. Book Series. 2013. Vol. 6.
3. Joerin F., Theriault M., Musy A. Using GIS and outranking multicriteria analysis for land-use suitability assessment // Int. J. of Geographical Information Sc. 2001. Vol. 15. P. 153–174.
4. Mancini F., Ceppi C., Ritrovato G. GIS and statistical analysis for landslide susceptibility mapping in the Daunia area, Italy // Nat. Haz. Earth System Sc. 2010. Vol. 10. P. 1851–1864.
5. Quinn P.E., Hutchinson D.J., Diederichs M.S., Rowe R.K. Regional-scale landslide susceptibility mapping using the weights of evidence method: an example applied to linear infrastructure // Can. Geot. J. 2010. Vol. 47. P. 905–927.
6. Sadr M.P., Hassani H., Maghsoudi A. Slope Instability Assessment using a weighted overlay mapping method, a case study of Khorramabad-Doroud railway track, W Iran // J. of Tethys. 2014. Vol. 2. P. 254–271.
7. Foria F. et al. ARCHITA: an innovative multidimensional mobile mapping system for tunnels and infrastructures // MATEC Web of Conferences. 2019. Vol. 295. EDP Sciences.
8. Jaboyedoff M., Metzger R., Oppikofer T., Couture R., Derron M.H., Locat J., Turmel D. New insight techniques to analyze rock-slope relief using DEM and 3D-imaging cloud points: COLTOP-3D software // Rock mechanics: Meeting Society's Challenges and demands. Taylor & Francis, 2007. Vol. 1. P. 61–68.
9. Tamburini A., Martelli D.C.G., Alberto W., Villa F. Geomechanical rock mass characterization with Terrestrial Laser Scanning and UAV // ARMA. 2015. Vol. 15. P. 781.
10. Jaboyedoff M., Philipposian F., Mamin M., Marro C., Rouillier J.D. Distribution spatiale des discontinuités dans une falaise. Approche statistique et probabilistique // Vdf Hochschulverlag AG an der ETH. Zurich, 1996.
11. Dershowitz W.S., Herda H.H. Interpretation of fracture spacing and intensity // Proc. 33rd U.S. Symp. on Rock Mechanics. Rotterdam: Balkema, 1992. P. 757–766.
12. Pack R., Tarboton D., Goodwin C. Terrain Stability Mapping with SINMAP. Technical Description and Users Guide for Version 1.00. 1998.

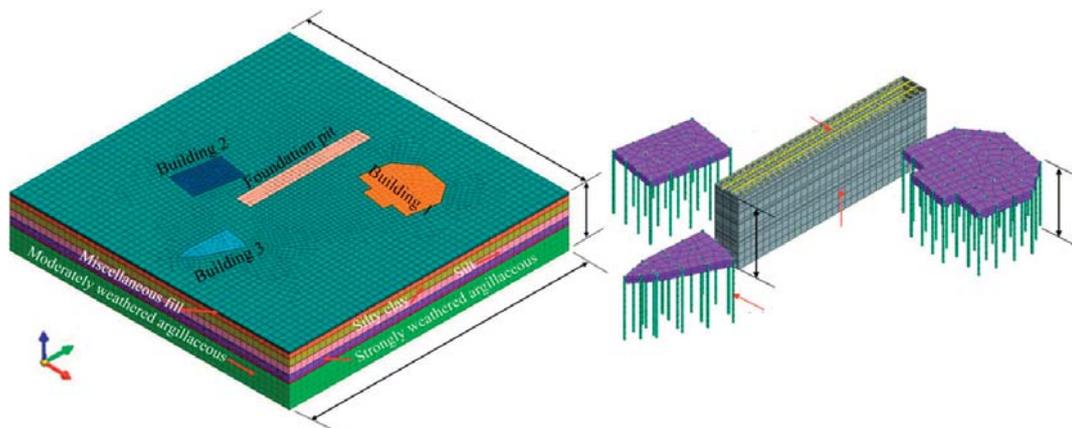
13. Dietrich W.E., Montgomery D.R. SHALSTAB: a digital terrain model for mapping shallow landslide potential. National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement (NCASI), 1998.
14. Cavalli M., Trevisani S., Comiti F., Marchi L. Geomorphometric assessment of spatial sediment connectivity in small Alpine catchments // *Geomorphology*. 2013. Vol. 188. P. 31–41.
15. Evans S., Hungr O. The assessment of rockfall hazard at the base of talus slopes // *Can. Geotech. J.* 1993. Vol. 30. P. 620–636.
16. Jaboyedoff M., Labiouse V. Preliminary estimation of rockfall runout zones // *Nat. Haz. Earth System Sc.* 2011. Vol. 11. P. 819–828.
17. Huggel C., Kaab A., Haerberli W., Krummenacher B. Regional scale GIS-models for assessment of hazards from glacier lake outbursts: evaluation and application in the Swiss Alps // *Nat. Haz. Earth System Sc.* 2003. Vol. 3. P. 647–662.

Независимый электронный журнал **ГеоИнфо**

**С 2022 года журнал «ГеоИнфо»
выходит в формате *PDF.
10 выпусков в год.**



WWW.GEOINFO.RU



АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И ОСУШЕНИЯ ГЛУБОКОГО КОТЛОВАНА НА ОСАДКИ ПОВЕРХНОСТИ

ЛИ С.

Факультет гражданского строительства
Хэфэйского технологического
университета, г. Хэфэй, Китай

ЧЖОУ Т.

Факультет гражданского строительства
Хэфэйского технологического
университета, г. Хэфэй, Китай

ВАН И.

Факультет гражданского строительства
Хэфэйского технологического
университета, г. Хэфэй, Китай

ХАН Цз.

Факультет гражданского строительства
Хэфэйского технологического
университета, г. Хэфэй, Китай

ВАН Я.

Факультет гражданского строительства
Хэфэйского технологического
университета, г. Хэфэй, Китай
wangyixian2012@hfut.edu.cn

ТОНГ Ф.

Факультет гражданского строительства
Хэфэйского технологического
университета, г. Хэфэй, Китай

ЛИ Д.

Рабочая группа по гидрогеологии и
инженерной геологии уезда Наньцзян
(округа Бачжун) Чунцинского бюро по
геологии и разведке полезных
ископаемых, г. Чунцин, Китай

ВЭНЬ Цз.

Рабочая группа по гидрогеологии и
инженерной геологии № 208
Чунцинского бюро по геологии и
разведке полезных ископаемых
Чунцинского института инженерных
исследований и проектирования для
защиты от геологических опасностей,
г. Чунцин, Китай

АННОТАЦИЯ

Предлагаем вниманию читателей немного сокращенный адаптированный перевод статьи китайских исследователей «Анализ влияния строительства и осушения глубокого котлована на осадки поверхности» (Li et al., 2020). Эта работа была опубликована в рецензируемом журнале *Advances in Civil Engineering* («Достижения в области гражданского строительства») издательством Hindawi в 2020 году. Она находится в открытом доступе по лицензии CC BY, которая позволяет распространять, переводить, адаптировать и дополнять ее при условии указания типов изменений и ссылки на первоисточник. В нашем случае полная ссылка на источник для представленного перевода (Li et al., 2020) приведена в конце.

Точное прогнозирование осадок дневной поверхности является первоочередной задачей при создании глубоких котлованов с выемкой грунта ниже уровня грунтовых вод в городских условиях в целях обеспечения безопасности рабочей площадки. Деформации отложений происходят в результате совокупного действия двух факторов – откопки глубокого котлована и его осушения. Исследование, представленное в настоящей статье, было направлено на выявление суммарной реакции грунта на воздействие этих двух факторов и на получение эмпирических корреляций для оценки деформаций грунта.

На примере глубокого котлована для строительства станции метро были выполнены расчеты по аналитическим формулам и численным моделям для оценки осадок поверхности. Результаты расчетов по аналитическим формулам в условиях выемки грунта и водопонижения складывались линейно для оценки общих осадок. Также были построены суммарные трехмерные численные модели с использованием коммерческого программного обеспечения (GMS и MIDAS) для исследований влияния совместного воздействия выемки грунта и осушения на деформации отложений. Результаты этого численного моделирования хорошо совпали с данными мониторинга. Кроме того, чтобы проиллюстрировать влияние выемки грунта и водопонижения на общую осадку поверхности, с помощью полиномиальной аппроксимации было получено эмпирическое корреляционное уравнение.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

деформации грунта; осадки поверхности; оценка осадок; глубокий котлован; выемка грунта; водопонижение; аналитические формулы; трехмерные численные модели; данные мониторинга; полиномиальная аппроксимация; эмпирическое корреляционное уравнение.

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Ли С., Чжоу Т., Ван И., Хан Цз., Ван Я., Тонг Ф., Ли Д., Вэнь Цз. Анализ влияния строительства и осушения глубокого котлована на осадки поверхности (пер. с англ.) // *Геоинфо*. 2024. Т. 6. № 7-8. С. 40–49.
DOI:10.58339/2949-0677-2024-6-7-8-40-49.

RESPONSE ANALYSIS OF DEEP FOUNDATION EXCAVATION AND DEWATERING ON SURFACE SETTLEMENTS

LI X.

School of Civil Engineering, Hefei University of Technology, Hefei, China

ZHOU T.

School of Civil Engineering, Hefei University of Technology, Hefei, China

WANG Y.

School of Civil Engineering, Hefei University of Technology, Hefei, China
wangyixian2012@hfut.edu.cn

HAN J.

School of Civil Engineering, Hefei University of Technology, Hefei, China

WANG Y.

School of Civil Engineering, Hefei University of Technology, Hefei, China

TONG F.

School of Civil Engineering, Hefei University of Technology, Hefei, China

LI D.

Nanjiang Hydrogeology and Engineering Geology Team of Chongqing Bureau of Geology and Minerals Exploration, Chongqing, China

WEN J.

№ 208 Hydrogeology and Engineering Geology Team of Chongqing Bureau of Geology and Minerals Exploration, Chongqing Institute of Geological Hazard Prevention Engineering Exploration and Design, Chongqing, China

ABSTRACT

We present a slightly abridged and adapted translation of the paper "Response analysis of deep foundation excavation and dewatering on surface settlements" by Chinese researchers (Li et al., 2020). It was published in the peer-reviewed journal "Advances in Civil Engineering" by the Hindawi publishing company. It is an open access article under the CC BY license that allows it to be distributed, translated, adapted, and supplemented, provided that the types of changes are noted and the original source is referred to. In our case, the full reference to the original paper (Li et al., 2020) used for the presented translation is given in the end.

Accurate prediction of surface settlements is a primary concern when deep excavations were carrying out under the water table in urban environments for the safety of the work site. The sedimentation deformation due to deep excavation of foundation pit and dewatering occurs as a result of coupling action of the two factors. The study is aimed at revealing the coupling ground response to the two factors and developing empirical correlations for estimating ground deformations.

Taking a deep foundation pit of a metro station as an example, surface settlement estimations were calculated by analytical formulas and numerical models. The settlement results by analytical formulas under excavation and dewatering conditions were added linearly to the total settlements. And three-dimensional coupling numerical models were established by applying commercial software (GMS and MIDAS) to investigate the interaction impact of excavation and dewatering on the sedimentation deformation. Comparing with monitoring data, numerical simulation results match well with the monitoring data. Furthermore, an empirical surface subsidence correlation equation was developed by the polynomial fitting to illustrate the effect contribution on the total surface settlement of foundation excavation and dewatering.

KEYWORDS:

soil deformations; surface settlements; settlement estimation; deep foundation pit; soil excavation; dewatering; analytical formulas; three-dimensional numerical models; monitoring data; polynomial fitting; empirical correlation equation.

FOR CITATION:

Li X., Zhou T., Wang Y., Han J., Wang Y., Tong F., Li D., Wen J. Analiz vliyaniya stroitel'stva i osusheniya glubokogo kotlovana na osadki poverhnosti [Response analysis of deep foundation excavation and dewatering on surface settlements] // Geoinfo. 2024. T. 6. № 7-8. S. 40-49. DOI:10.58339/2949-0677-2024-6-7-8-40-49 (in Rus.).

ВВЕДЕНИЕ ►

В условиях постоянного развития городов неизбежно строительство сооружений, сильно заглубленных ниже уровня грунтовых вод. Из-за влияния грунтовых вод осушение котлована становится вспомогательным проектом, который необходимо реализовать в процессе выемки грунта с большой глубины. При этом очень большой проблемой в городских условиях являются деформации окружающих грунтов с соответствующим воздействием на соседние здания и сооружения [1–5]. Ошибочные оценки этих деформаций могут приве-

сти либо к слишком большим затратам на строительство из-за чрезмерно усиленных систем крепления выемок, либо к повреждению окружающих зданий и сооружений из-за недостаточно усиленных систем крепления. На прогнозируемые деформации значительное влияние оказывают такие факторы, как метод строительства, водопонижение и тип вмещающих грунтов [6, 7].

Большинство основных теорий об осадках, вызванных выемкой грунта, основано на методе полного напряжения, предложенном Пеком (Peck), с использованием аппроксимации огромного ко-

личества кривых по данным полевого мониторинга [8–11]. Мониторинг показывает, что результаты расчетов занижают фактические осадки. Различия между измеренными деформациями грунта и теоретическими прогнозами можно отнести к эффекту водопонижения. Процесс осушения может привести к снижению давления в водоносных горизонтах, что вызовет изменения эффективных напряжений. Когда из водоносного горизонта извлекается вода, эффективные напряжения в слагающем его грунте увеличиваются, вызывая оседание поверхности земли [12–15].



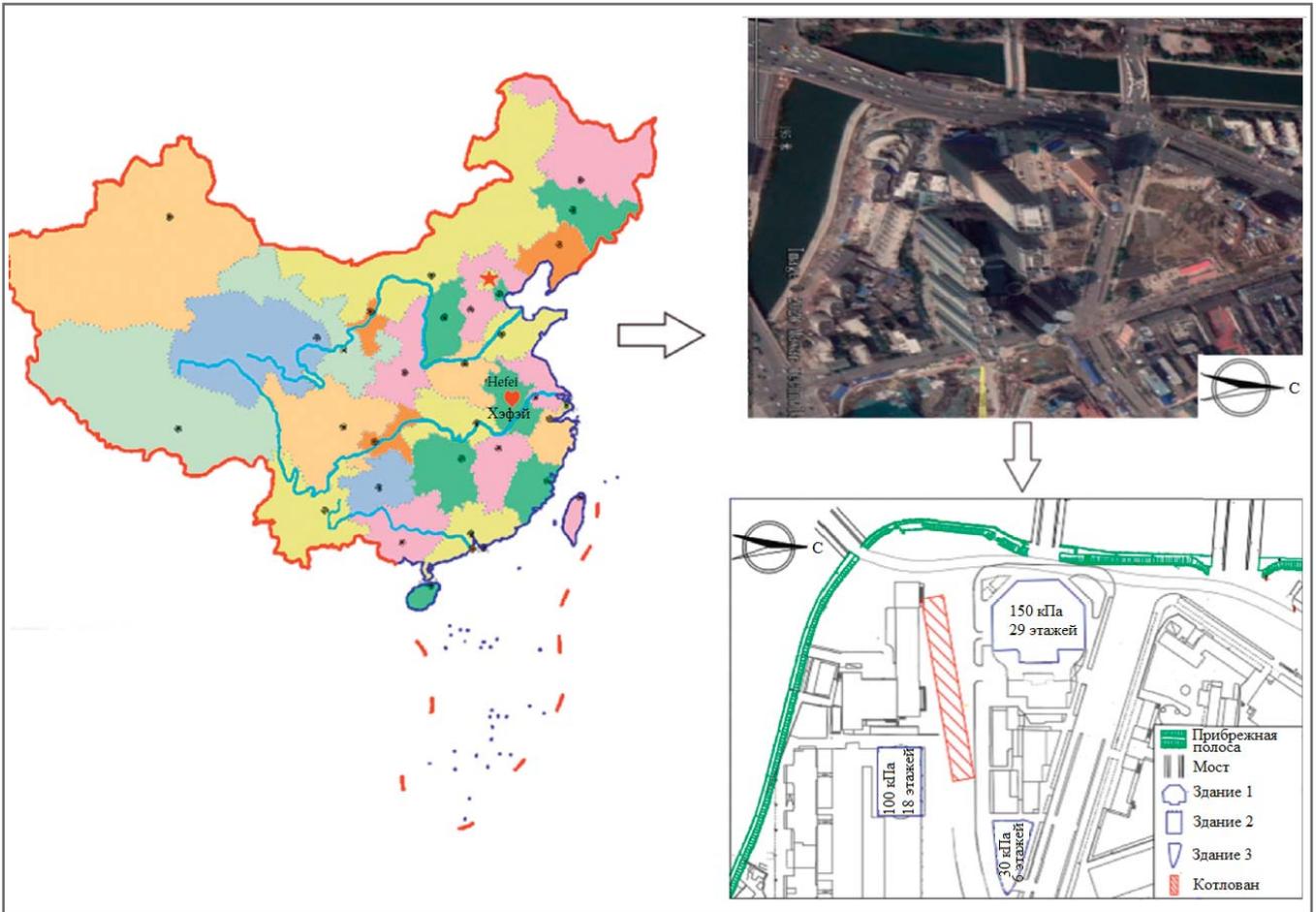


Рис. 1. Расположение и план строительной площадки и окружающей территории

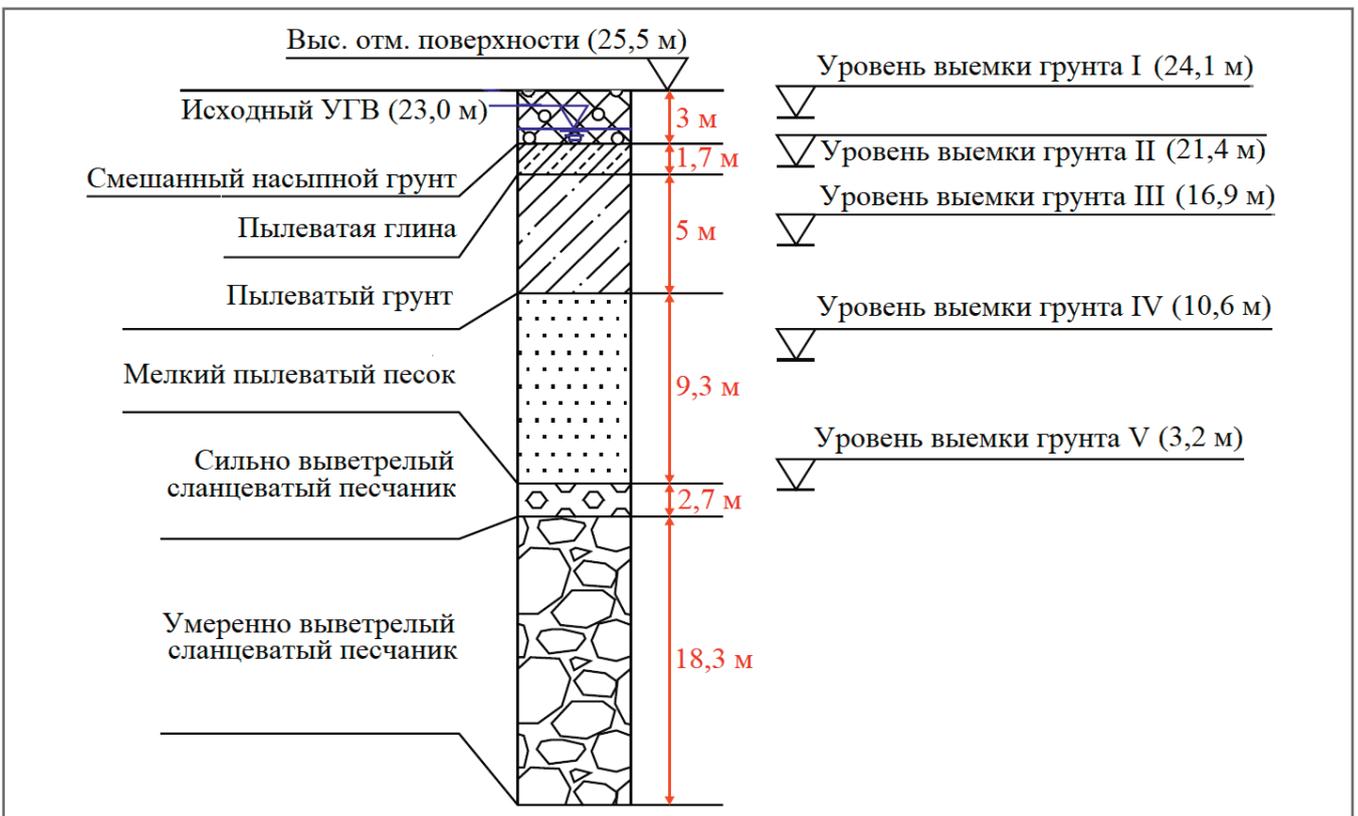


Рис. 2. Детальная геологическая колонка по данным одной из скважин на строительной площадке. УГВ – уровень грунтовых вод. (Далее в таблице 2 авторы не привели слой мелкого пылеватого песка, указанный на рисунке 2; возможно, его объединили со слоем пылеватого грунта. – Ред.)

Таблица 1. Оборудование для мониторинга осадок

Цель мониторинга	Оборудование	Точность измерений, мм	Частота измерений
Осадки поверхности земли	Trimble DiNi03	1	1 раз в 3 дня
Уровень грунтовых вод	SWJ-90-50	5	
Осадки зданий	Trimble DiNi03	1	

При исследованиях вертикальных деформаций грунта были достигнуты значительные результаты. Было выявлено, что основными факторами, вызывающими оседание, являются откопка и осушение котлована [16–18]. На основе линейной суперпозиции осадок, вызванных выемкой грунта и водопонижением, можно легко получить общую осадку поверхности, но при этом игнорируется взаимодействие между снятием напряжений при откопке котлована и падением уровня грунтовых вод при осушении.

В данной работе исследуются осадки поверхности в ответ на выемку грунта и водопонижение на примере создания глубокого котлована для строительства станции метро. Суммарные осадки в условиях откопки и осушения котлована рассчитывались по аналитическим формулам с использованием принципа линейной суперпозиции. Также с помощью коммерческого программного обеспечения (GMS и MIDAS) были созданы совокупные трехмерные численные модели для определения воздействий выемки и осушения на уровень грунтовых вод, эффективные напряжения и смещения. Затем спрогнозированные этими двумя путями осадки грунта были сопоставлены с данными реальных измерений при мониторинге, чтобы проверить достоверность результатов использования вышеуказанных расчетных методов.

МАТЕРИАЛЫ

Описание проекта

Рассматриваемый в статье котлован размером 120 м × 15 м × 22,4 м (длина × ширина × глубина) для строительства станции метро в городских условиях располагается в центральной части Китая. Западную и южную его стороны огибает река при минимальном расстоянии до нее 24 м. Основная конструкция шахты для опускания узлов тоннелепроходческого щита находится всего в 4,5 м от берега реки. На северо-западной стороне котлована располагается гостиница с условным названием

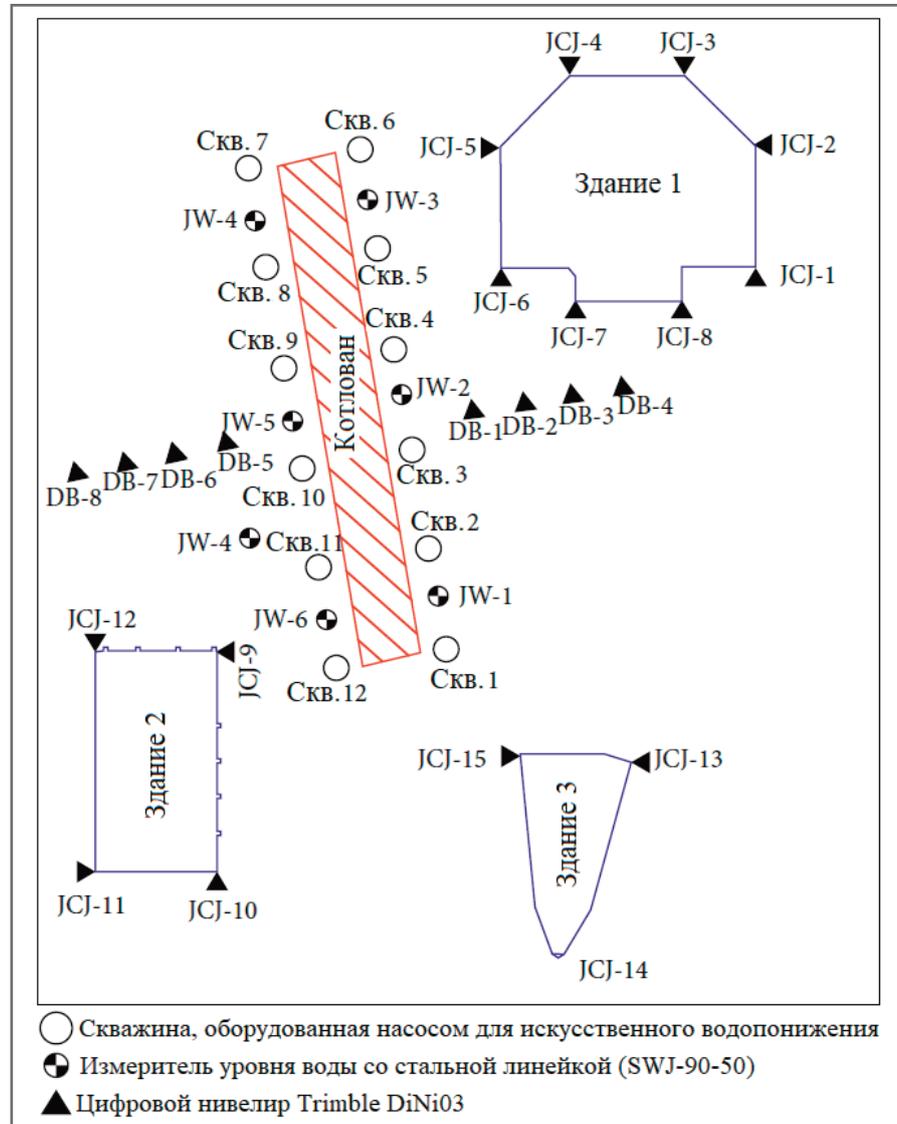


Рис. 3. План расположения точек мониторинга

«Здание 1». Ее главный корпус имеет 29 этажей, а минимальное расстояние от котлована до ее 5-этажного корпуса со свайным фундаментом составляет 10,7 м. С юго-восточной стороны от строительной площадки имеется 18-этажный торговый центр со свайным фундаментом под условным названием «Здание 2». Его минимальное расстояние от котлована – 10 м. С северо-восточной стороны находится 6-этажное «Здание 3». Расположение и план строительной площадки и окружающей территории показаны на рисунке 1.

Котлован для строительства станции метро в основном расположен в толще аллювиально-делювиальной пылеватой глины, пылеватого грунта и мелкого пылеватого песка с низкой устойчивостью. В слое мелкого пылеватого песка имеется возможность разжижения, что оказывает определенное влияние на рабочий процесс. Детальный геологический профиль строительной площадки показан на рисунке 2.

Процесс откопки глубокого котлована был разделен на пять этапов – I, II, III, IV, V при толщине вынутого грунта

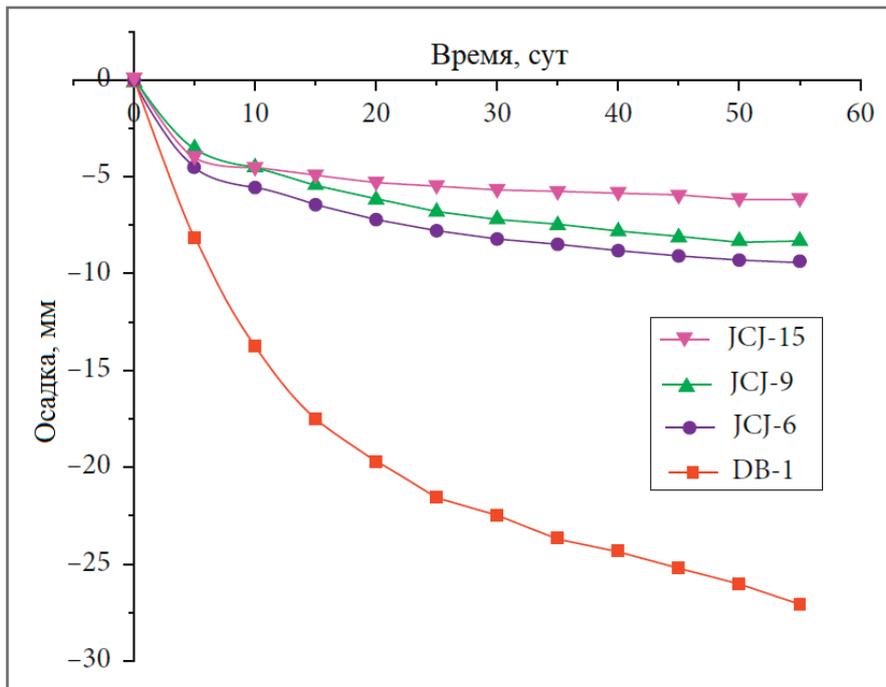


Рис. 4. Развитие осадок поверхности в точках мониторинга DB-1, JСJ-6, JСJ-9 и JСJ-15 (см. рис. 3) с начала выемки грунта

соответственно 1,4; 2,7; 4,5; 6,4; 7,4 м и высотных отметках дна соответственно 24,1; 21,4; 16,9; 10,6; 3,2 м. Первоначальный уровень грунтовых вод составлял 23 м. Отметим, что на этапе I водопонижение не требовалось, поскольку дно находилось выше УГВ. Процесс осушения котлована начался с этапа II и был разделен на четыре стадии в соответствии с этапами выемки II, III, IV и V.

Мониторинг осадок

Перед началом откопки вытянутого котлована были выполнены насосные скважины для искусственного водопонижения параллельно его более длинным бортам. Чтобы осадки поверхности окружающего грунта и УГВ соответствовали требованиям к выполнению проектных технических условий, между соседними насосными скважинами по всей длине котлована были установлены измерители уровня воды со стальной линейкой (SWJ-90-50).

Для измерения осадок поверхности земли вдоль продолжения поперечной осевой линии котлована были установлены цифровые нивелиры Trimble DiNi03 с горизонтальным шагом 5 м (таблица 1). Одновременно проводились определения осадок для зданий 1, 2 и 3.

План расположения точек измерений приведен на рисунке 3.

На строительной площадке и рядом с ней было много точек мониторинга

осадок. Чтобы графически продемонстрировать воздействие процесса выемки грунта при строительстве котлована на деформации окружающего грунта, были выбраны точки DB-1, JСJ-6, JСJ-9 и JСJ-15. На рисунке 4 показано, как увеличивались осадки этих точек с течением времени. Оседание ближайшей к котловану точки (DB-1) было наибольшим. Мониторинг трех других точек (JСJ-6, JСJ-9, JСJ-15) показал схожие тенденции в развитии осадок, но они были меньше из-за большей удаленности от котлована.

ОЦЕНКА ОСАДОК

Оценка осадок по аналитическим формулам

При откопке глубокого котлована ниже уровня грунтовых вод необходимо понизить УГВ так, чтобы он был на 0,5 м ниже дна, в целях предотвращения обрушения бортов или подтопления/затопления выемки.

При водопонижении образуется депрессионная воронка, которая приводит к снижению давления грунтовых вод и увеличению эффективных напряжений между частицами грунта. В процессе осушения котлована грунтовые воды медленно движутся к каждой насосной скважине в ламинарном потоке, при этом кривая депрессии распределена симметрично вокруг этой скважины (депрессионная воронка представ-

ляет собой приближительную поверхность вращения кривой депрессии вокруг оси водопонижительной скважины. – Ред.). На основе формулы Дюпюи можно получить уравнение кривой депрессии [19]:

$$y^2 = (l + h)^2 + [H^2 - (l + h)^2] \frac{\ln(x/r)}{\ln(R/r)}, \quad (1)$$

где x – горизонтальное расстояние от оси скважины; l – длина водоприемной трубы скважины; r – радиус скважины; h – вертикальное расстояние от несовершенной скважины до водоносного горизонта (для совершенной скважины $h=0$); R – радиус водопонижающего воздействия.

В процессе осушения внутри неводонасыщенной зоны присутствует воздух и поровая вода будет находиться под воздействием растягивающих напряжений. Дифференциальные уравнения равновесного и напряженного состояния частиц грунта и поровой воды можно объединить, чтобы получить единое уравнение эффективных напряжений, применимое для неводонасыщенного и водонасыщенного грунта [20]:

$$\sigma' = (\sigma - u_a) + S_e(u_a - u_w),$$

$$S_e = \frac{(S - S_r)}{(1 - S_r)} = \frac{(\theta - \theta_r)}{(\theta_s - \theta_r)}, \quad (2)$$

$$\tau = u_a - u_w.$$

где S_e , S_r – соответственно эффективная и остаточная водонасыщенность грунта; θ_s и θ_r – соответственно насыщенная и остаточная объемная влажность грунта; τ – каркасная сосущая сила (каркасное всасывающее давление), измеряемая с помощью устройства трехосного сжатия в неводонасыщенных условиях и устройства с нажимной пластиной. Когда $S_e=1$, формула (2) превращается в уравнение для эффективного напряжения в водонасыщенном грунте.

Эффективное напряжение в грунте, залегавшем выше УГВ до начала откопки котлована, не менялось, а в грунте, находившемся в неводонасыщенной зоне, оно менялось следующим образом:

$$\Delta\sigma'_1 = \gamma_w(H - y) + (S_e - 1)\tau. \quad (3)$$

В случае водонасыщенного грунта поры между его частицами полностью заполнены водой и понижение УГВ приводит к уменьшению давления воды в порах. Тогда уравнение (3) превращается в уравнение для эффективного напряжения в водонасыщенном грунте,

Таблица 2. Физико-механические параметры слоев грунта (в таблице 2 не приведен слой мелкого пылеватого песка, указанный на рисунке 2; возможно, его объединили со слоем пылеватого грунта. – Ред.)

Грунт	Мощность слоя H , м	Модуль упругости E , МПа	Удельное сцепление c , кПа	Угол внутр. Трения φ , ° (град.)	Коэф. Пуассона ν	Коэф. Фильтрации k , м/сут
Смешанный насыпной	3,1	8	15	10	-	0,05
Пылеватая глина	1,7	12	10	24	0,35	0,01
Пылеватый	5	10	-	-	0,3	1
Сильно выветрелый сланцеватый песчаник	2,7	53	50	26	0,24	1
Умеренно выветрелый сланцеватый песчаник	-	50	130	33	0,23	1

а изменение эффективного напряжения равно уменьшению давления воды:

$$\Delta\sigma'_2 = \gamma_w (H - y). \quad (4)$$

Осадки поверхности, вызванные водопонижением, могут быть рассчитаны методом послойного суммирования следующим образом:

$$s = \sum_{i=1}^n s_i = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta\sigma'_i}{E_i} h_i. \quad (5)$$

где s – осадка дневной поверхности, вызванная водопонижением; s_i – осадка поверхности слоя грунта i ; E_i – модуль упругости слоя i ; h_i – толщина слоя i .

Согласно формуле послойного суммирования (5) эффективное напряжение в зоне осушенного грунта не изменилось, поэтому в этой зоне $s_1=0$.

Оседание грунта в неводонасыщенной зоне происходит в соответствии с зависимостью:

$$s_2 = \sum_{i=1}^n \frac{\gamma_w (H - y) + \tau (S_e - 1)}{E_i} h_i. \quad (6)$$

Оседание грунта в водонасыщенной зоне происходит следующим образом:

$$s_3 = \sum_{i=1}^n \frac{\gamma_w (H - y)}{E_i} h_i. \quad (7)$$

Разгрузка в результате откопки котлована нарушает баланс напряжений от собственного веса грунта и приводит к осадкам окружающей поверхности. Осадки, вызванные выемкой грунта, рассчитываются согласно эмпирической формуле, полученной с помощью функции распределения Рэлея [8]:

$$s_4 = s_{vm} \cdot \frac{(d/H) + 0.75}{0.9} \cdot \exp\left\{-\frac{[(d/H) + 0.75]^2}{4.5}\right\}, \quad (8)$$

$$s_{vm} = \alpha s_{hm},$$

$$s_{hm} = k_g H,$$

где d – горизонтальное расстояние от рассматриваемой точки до котлована; H – глубина выемки грунта; s_{vm} – максимальная осадка (вертикальное смещение) ограждения котлована; s_{hm} – мак-

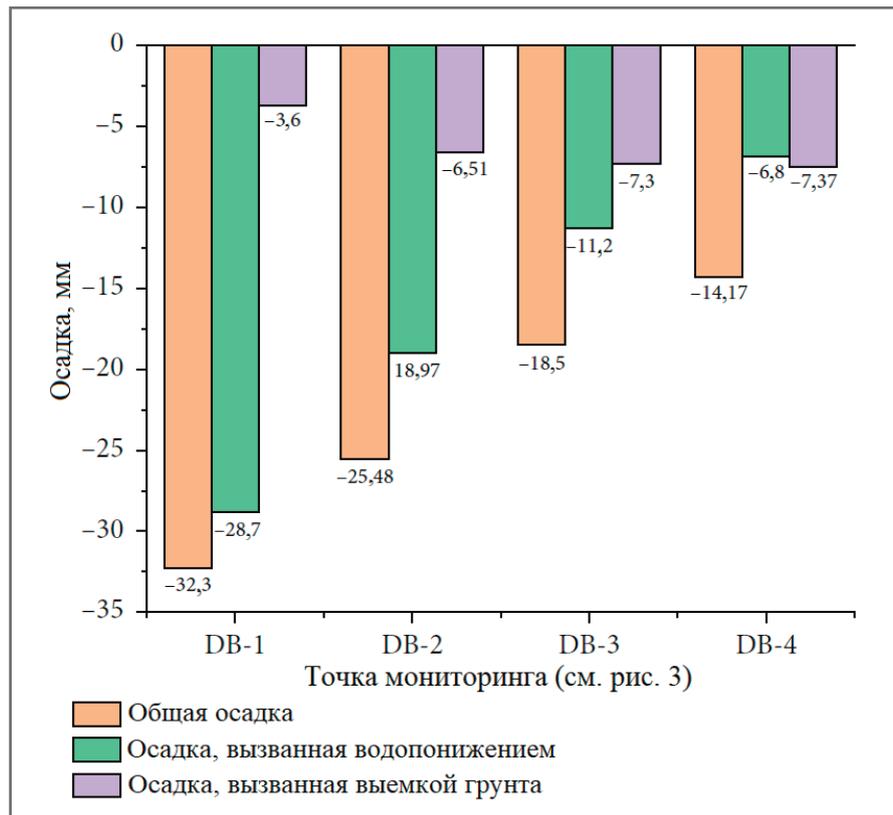


Рис. 5. Результаты теоретических расчетов осадок поверхности по аналитическим формулам

симальная горизонтальная деформация ограждения котлована; α – эмпирический коэффициент; k_g – коэффициент пропорциональности.

Чтобы оценить общее вертикальное смещение поверхности, осадки, вызванные как осушением, так, и откопкой котлована, суммируются:

$$s = s_1 + s_2 + s_3 + s_4. \quad (9)$$

В таблице 2 представлены физико-механические параметры слоев грунта. Инженерно-геологические параметры определялись с помощью традиционных испытаний [21–23].

Результаты расчетов по аналитическим формулам показаны на рисунке 5. Ряды точек мониторинга DB (см. рис. 3)

симметрично расположены на продолжении поперечной осевой линии с обеих длинных сторон котлована, что позволяет лучше понять закономерности оседания грунта. Как видно из рисунка 5, водопонижение является основным фактором, вызывающим оседание грунта, особенно в ближайшей к котловану точке DB-1, где вклад осушения в общую осадку составил 88,9%. Расстояние до котлована увеличивалось в ряду DB-1, DB-2, DB-3, DB-4. Чем дальше точка мониторинга находилась от котлована, тем медленнее была скорость опускания УГВ и тем меньше были изменения эффективных напряжений в грунте, что приводило к меньшему вкладу водопонижения в общее оседание поверхности.

Оценки осадок с помощью численных моделей

С использованием коммерческого программного обеспечения (GMS и MI-DAS) были созданы трехмерные численные модели для исследований совместного влияния откопки котлована и водопонижения на деформации грунтов (рис. 6). Были приняты значения параметров отложений, указанные в таблице 2. Отметим, что ширина реки составляет примерно 30–80 м, глубина – около 5–6 м.

На рисунке 7 показаны изменения УГВ после каждого этапа водопонижения. В процессе осушения уровень грунтовых вод распределялся в форме несимметричной воронки с самой глубокой частью в форме колодца под котлованом и рядом с ним. Чем больше расстояние от котлована, тем меньше понижение УГВ (рис. 8).

На рисунке 9 показаны смоделированные осадки поверхности на каждом этапе откопки котлована в зависимости от горизонтального расстояния от него. К концу первого этапа глубина выемки составляет 1,4 м, а строительство системы крепления бортов в это время еще не завершено. Из-за разгрузки от собственного веса грунта основание котлова-

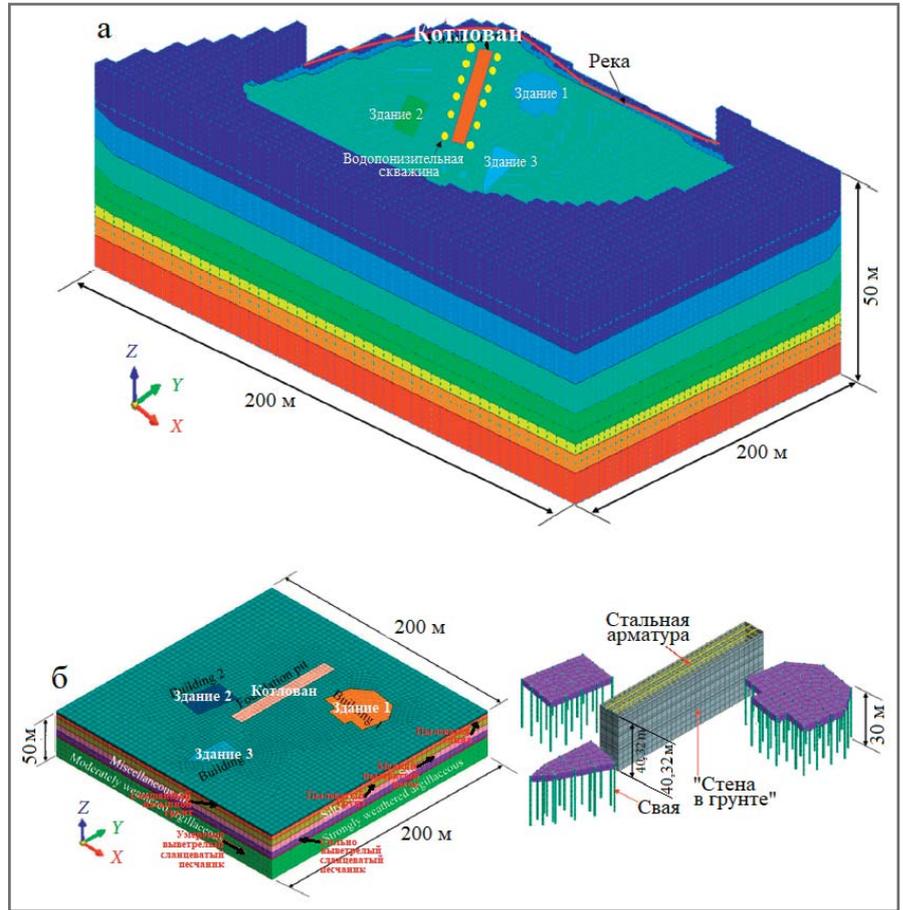


Рис. 6. Объединение численных моделей

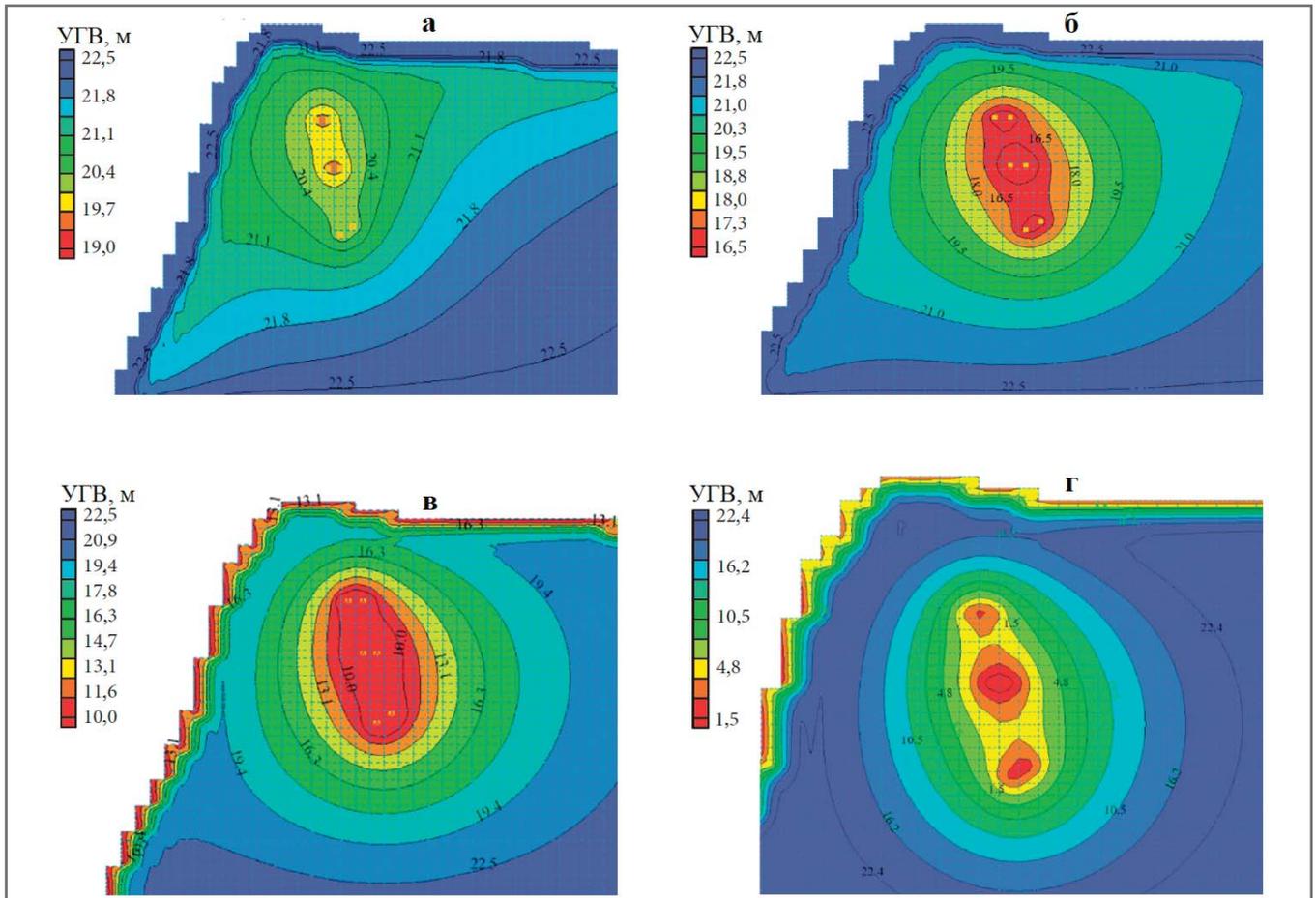


Рис. 7. Изолинии УГВ после этапов водопонижения: а – первого; б – второго; в – третьего; г – четвертого

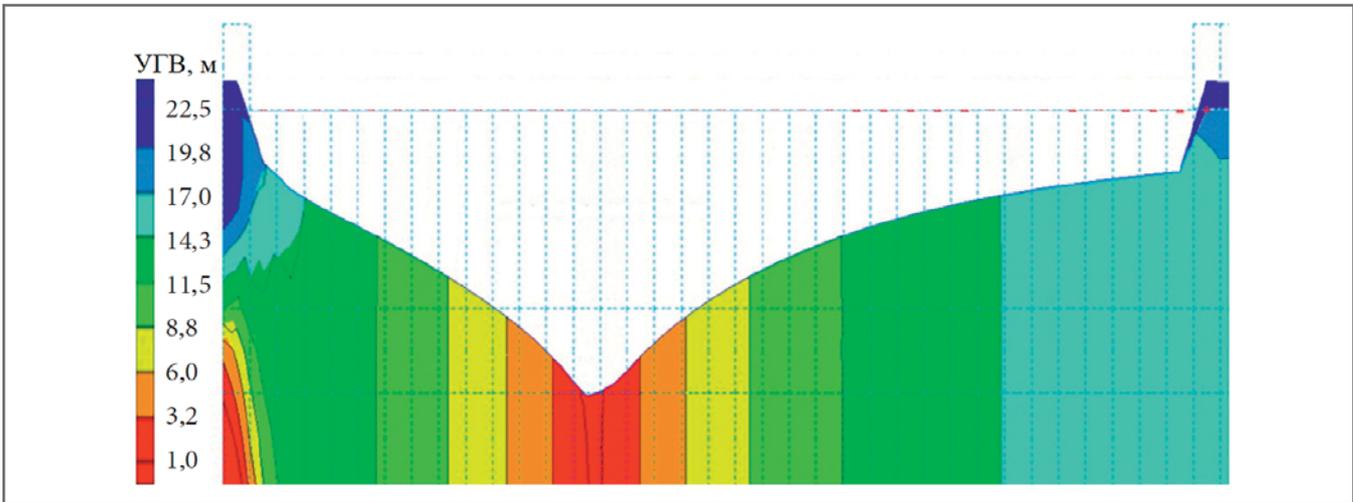


Рис. 8. Вертикальный разрез УГВ (проходящий через среднюю часть котлована поперек его длинной оси) после четвертого этапа водопонижения

на приподнято. Кривая осадок имеет форму ложки. Осадки возрастают с удалением от котлована вплоть до расстояния 8 м, но при дальнейшем увеличении расстояния они уменьшаются. Суммарная осадка после пяти этапов выемки грунта достигает максимума на пятом этапе и составляет 26,1 мм.

СРАВНЕНИЕ ОСАДОК, ПОЛУЧЕННЫХ ПУТЕМ РАСЧЕТОВ И МОНИТОРИНГА ▶

На рисунке 10 сопоставлены осадки, оцененные с помощью расчетов (по аналитическим формулам и численным моделям) и измеренные при мониторинге. Видно, что результаты моделирования, полученные на основе модели взаимодействия «жидкость – твердое тело», лучше согласуются с данными мониторинга, чем результаты аналитических расчетов. Это показало, что вычисленные осадки поверхности при выемке грунта и водопонижении не могут быть просто линейно сложены. Ведь по мере падения УГВ эффективные напряжения увеличивались, что изменяло пористость грунта и влияло на условия движения воды. Однако при использовании метода аналитических расчетов осадки, вызванные откопкой и осушением котлована, складывались напрямую без учета взаимодействий «вода – грунт», что привело к завышению осадок по сравнению с достоверными данными мониторинга.

ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ ▶

В данной работе для прогноза осадок поверхности под воздействием откопки и осушения глубокого котлована для строительства станции метро использовались аналитические формулы и чис-

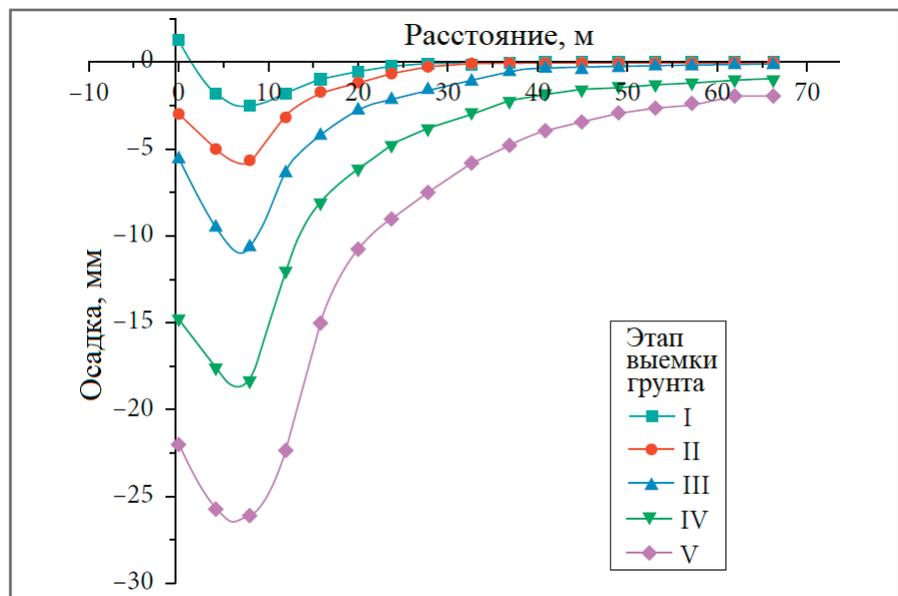


Рис. 9. Кривые зависимости осадок от расстояния до котлована по результатам численного моделирования

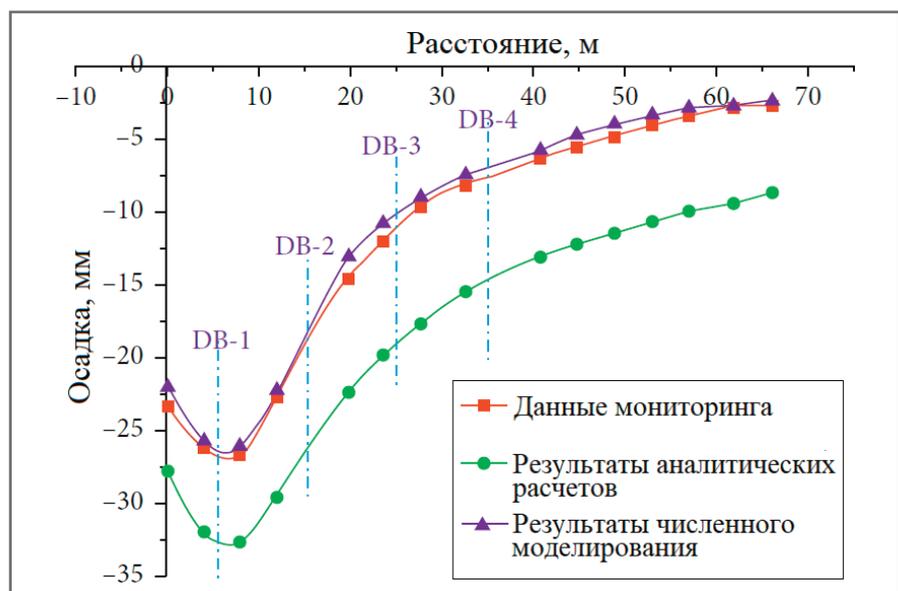


Рис. 10. Сопоставление осадок, полученных разными методами

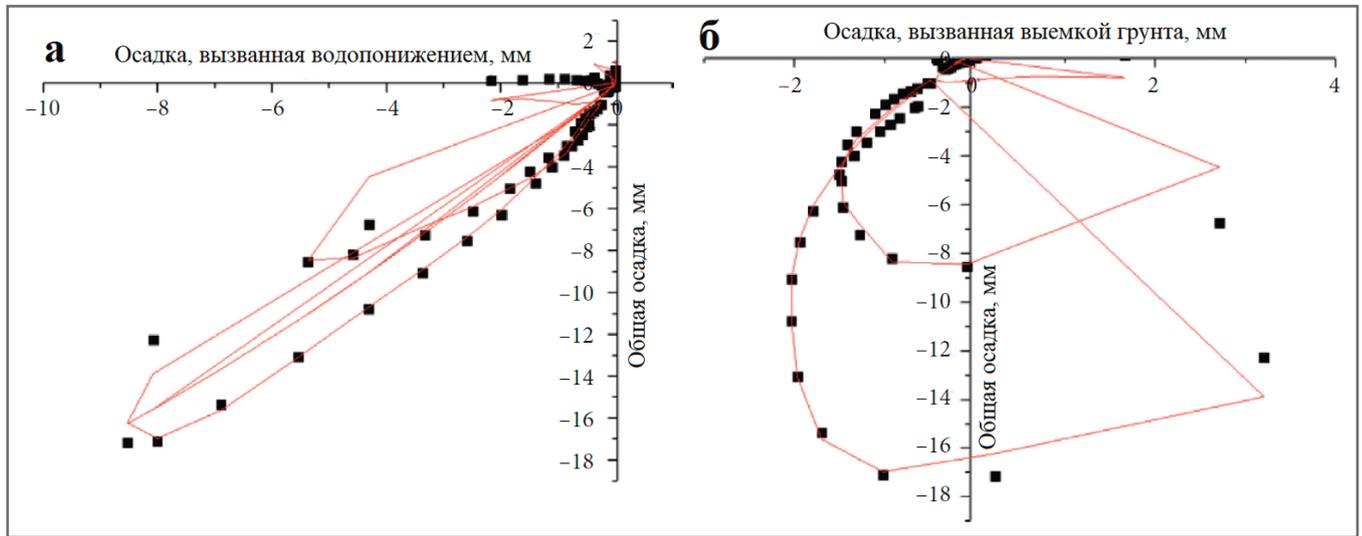


Рис. 11. Графики корреляций осадок, вызванных водопадением (а) и вызванных выемкой грунта (б), с общей осадкой поверхности (иллюстрация вкладов воздействий откопки и осушения котлована в общую осадку поверхности)

ленные модели. На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы.

1. Распределение осадок поверхности, вызванных выемкой грунта, в зависимости от расстояния до котлована, имеет форму ложки, глубина которой пропорциональна общей глубине выемки (см. рис. 3, 9). На расстоянии 6,1 м осадка достигает максимального значения, равного 26,1 мм. Результаты аналитических расчетов показали, что осадки в основном вызваны водопадением. По мере увеличения расстояния до котлована изменения эффективных напряжений в толще грунта при падении УГВ становятся меньше, что уменьшает влияние осушения на вертикальные деформации отложений.

2. Результаты численного моделирования, полученные на основе модели взаимодействия «жидкость – твердое те-

ло», лучше соответствуют данным мониторинга, чем результаты аналитических расчетов. Отсюда можно заключить, что вертикальные деформации отложений под воздействием откопки и осушения котлована не могут быть просто линейно сложены. Поэтому, чтобы проиллюстрировать вклады воздействий выемки грунта и водопадения в общую осадку поверхности (рис. 11), было получено эмпирическое корреляционное уравнение с помощью полиномиальной аппроксимации. Эта общая осадка может быть выражена через осадки в результате откопки котлована и в результате его осушения следующим образом:

$$z = -0,08x^2 + 0,93x + 0,01y^2 + 1,101y + 0,015, \quad (10)$$

где z – общая осадка; x – осадка, вызванная водопадением; y – осадка, вызванная выемкой грунта.

Значение коэффициента детерминации R^2 после такого вычисления составляет 0,999, поэтому уравнение (10) можно считать точным. **и**

Это исследование было профинансировано Национальным фондом естественных наук Китая (51774107, 42077249), Открытой программой Государственной ключевой лаборатории взрывотехники при Пекинском технологическом институте (KFJJ19-02M) и фондами фундаментальных исследований Департамента жилищного строительства провинции Аньхой (2013YF-27).

Численные результаты, использованные для подтверждения выводов представленного исследования, могут быть по запросу получены у авторов (wangyixian2012@hfut.edu.cn).

ИСТОЧНИК ДЛЯ ПЕРЕВОДА ▶

(SOURCE FOR THE TRANSLATION) ▶

Li X., Zhou T., Wang Y., Han J., Wang Y., Tong F., Li D., Wen J. Response analysis of deep foundation excavation and dewatering on surface settlements // *Advances in Civil Engineering*. Hindawi, 2020. Article ID 8855839. URL: <https://doi.org/10.1155/2020/8855839>; <https://www.hindawi.com/journals/ace/2020/8855839/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ, ИСПОЛЬЗОВАННОЙ АВТОРАМИ ПЕРЕВЕДЕННОЙ СТАТЬИ ▶

(REFERENCES USED BY THE AUTHORS OF THE TRANSLATED PAPER) ▶

1. Kihm J.H., Kim J.M., et al. Three-dimensional numerical simulation of fully coupled groundwater flow and land deformation due to groundwater pumping in an unsaturated fluvial aquifer system // *Journal of Hydrology*. 2007. Vol. 335. № 1-2. P. 1–14.
2. Faunt C.C., Sneed M.J., Brandt J.T. Water availability and land subsidence in the Central Valley, California, USA // *Hydrogeology Journal*. 2016. Vol. 24. № 3. P. 675–684.
3. Traum M., Adiyaman I. The influence of clay zones on land subsidence from groundwater pumping // *Ground Water*. 2013. Vol. 51. № 1. P. 51–57.
4. Galloway D.L., Burbey T.J. Review: regional land subsidence accompanying groundwater extraction // *Hydrogeology Journal*. 2011. Vol. 19. № 8. P. 1459–1486.

5. Jesus C.R. Settlements around pumping wells: analysis of influential factors and a simple calculation procedure // Journal of Hydrology. 2018. Vol. 548. P. 225–236.
6. Roy D., Robinson K.E. Surface settlements at a soft soil site due to bedrock dewatering // Engineering Geology. 2009. Vol. 107. № 3-4. P. 109–117.
7. Pujades E., Vazquez-Sune E., Carrera J., Jurado A. Dewatering of a deep excavation undertaken in a layered soil // Engineering Geology. 2014. Vol. 178. P. 15–27.
8. Peck R.B. Deep excavations and tunneling in soft ground // Proceedings of the 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico, USA, August 1969. Scientific Research Publishing, 1969.
9. Leung E.H.Y., Ng C.W.W. Wall and ground movements associated with deep excavations supported by cast in situ wall in mixed ground conditions // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2007. Vol. 133. № 2. P. 129–143.
10. Guo P., Gong X. Displacement and force analyses of braced structure of deep excavation considering unsymmetrical surcharge effect // Computers and Geotechnics. 2019. Vol. 113. № 2. Article 103102.
11. Di H. Guo H., Zhou S., Chen J., Wen L. Investigation of the axial force compensation and deformation control effect of servo steel struts in a deep foundation pit excavation in soft clay // Advances in Civil Engineering. 2019. Vol. 2019. № 6. Article ID 5476354.
12. Budhu M., Adiyaman I.B. Mechanics of land subsidence due to groundwater pumping // International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics. 2010. Vol. 34, № 14. P. 1459–1478.
13. Ni J.C., Cheng W.C., Ge L. A case history of field pumping tests in a deep gravel formation in the Taipei Basin, Taiwan // Engineering Geology. 2011. Vol. 117. № 1-2. P. 17–28.
14. Loaiciga H.A. Consolidation settlement in aquifers caused by pumping // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2013. Vol. 139. № 7. P. 1191–1204.
15. Pacheco-Martinez J., Hernandez-Marin M., Burbey T.J., et al. Land subsidence and ground failure associated to groundwater exploitation in the Aguascalientes Valley, Mexico // Engineering Geology. 2013. Vol. 164. P. 172–186.
16. Jayeoba A., Mathias S.A., Nielsen S., Vilarrasa V., Bjornara T.I. Closed-form equation for subsidence due to fluid production from a cylindrical confined aquifer // Journal of Hydrology. 2019. Vol. 573. P. 964–969.
17. Ng C.W.W., Hong Y., Liu G.B., Liu T. Ground deformations and soil-structure interaction of a multi-propped excavation in Shanghai soft clays // Geotechnique. 2012. Vol. 62. № 10. P. 907–921.
18. Hashash Y.M.A., Osouli A., Marulanda C. Central artery/tunnel project excavation induced ground deformations // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2008. Vol. 134. № 9. P. 1399–1406.
19. Bear J. Hydraulics of Groundwater. New York, NY, USA: McGraw-Hill International Book, 1979. Vol. 5.
20. Longtan S., Yalong Q., Xiaoxia G., et al. The validation of the effective stress principle of unsaturated soils // Chinese Journal of Underground Space and Engineering. 2018. Vol. 14. № 6. P. 1476–1483.
21. Mohammadi S.D., Nikoudel M.R., Rahimi H., Khamsehchyan M. Application of the dynamic cone penetrometer (DCP) for determination of the engineering parameters of sandy soils // Engineering Geology. 2008. Vol. 101. № 3-4. P. 195–203.
22. Wang M., Wan W. A new empirical formula for evaluating uniaxial compressive strength using the Schmidt hammer test // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2019. Vol. 123. Article ID 104094.
23. Wang M., Wan W., Zhao Y. Experimental study on crack propagation and the coalescence of rock-like materials with two preexisting fissures under biaxial compression // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 2020. Vol. 79. № 6. P. 3121–3144.



Telegram-канал журнала

Независимый электронный журнал
ГеоИнфо

- **Новости**
- **Статьи**
- **Обсуждения**

<https://t.me/geoinfonews>



«ДОБРОВОЛЬНЫЕ» ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ, ПОДАВАЕМОЙ НА ГОСЭКСПЕРТИЗУ: НЕЛЬЗЯ ОТКАЗАТЬСЯ – МОЖНО ВЫБИРАТЬ

ЕРЕМЕЕВА МАРИЯ
Специальный корреспондент

АННОТАЦИЯ

С 1 сентября 2024 года разработчики проектной документации для подачи на госэкспертизу станут более свободными в выборе способов обоснования своих решений. Соответственно, возрастет значимость специалистов, а с ней и ответственность, особенно руководителей, главных инженеров и главных архитекторов проектов.

Это анонсировано в постановлении правительства РФ от 06.05.2024 № 589, по которому внесены поправки в некоторые нормативные акты. В частности, речь идет об изменении требований федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». Соблюдение требований этого документа при подготовке проектной документации перестанет быть обязательным – идет ли речь о будущих объектах или о существующих, о строительстве или о реконструкции. С точки зрения законодателей, это означает удобство и прогресс, чему исполнители должны быть только рады. Позиция же исполнителей иная. Они пока не уверены, что им все это во благо, чем и делятся в отраслевых Telegram-каналах и чатах.

На недавнем вебинаре «Обновленный перечень “добровольных” документов (приказ Росстандарта 1112). Изменения в п. 87. Отмена обязательного перечня (п. 815) с 01.09.2024. Изменения в Положении по строительному контролю с 01.09.2024 (п. 589 от 06.05.2024)» советник председателя Комитета по строительству Санкт-Петербурга Елена Чеготова дала разъяснения о том, что именно изменилось и почему и как разработчикам проектной документации работать после первого сентября.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

проектная документация; госэкспертиза; технический регламент; добровольный перечень документов; переходный период; единый электронный реестр требований.

“VOLUNTARY” REQUIREMENTS FOR PROJECT DOCUMENTATION SUBMITTED FOR STATE EXPERTISE: ONE CANNOT REFUSE – ONE CAN CHOOSE

EREMEYEVA MARIYA

Special correspondent

ABSTRACT

From the 1st of September 2024, developers of project documentation for submission to state expertise will have more freedom in choosing the ways of substantiating their decisions. Accordingly, the importance of specialists and with it the responsibility (especially of managers, chief engineers and chief architects of projects) will increase.

This was announced in the RF Government Decree of 05/06/2024 № 589, which amended some regulations. In particular, this concerns changing the requirements of the Federal Law “Technical regulations on the safety of buildings and structures”. Compliance with the requirements of this document when preparing project documentation will no longer be mandatory – whether it concerns future facilities or existing ones, about construction or reconstruction. From the legislators' point of view, this means convenience and progress, which the performers should only be happy about. The performers' position is other. They are not yet sure that all this is for their benefit, which is what they share in industry-specific Telegram channels and chats.

At the recent webinar “Updated list of “voluntary” documents (Order of Rosstandart 1112). Changes in paragraph 87. Cancellation of the mandatory list (paragraph 815) from 09/01/2024. Changes in the Statute on construction control from 09/01/2024 (paragraph 589 from 05/06/2024)”, Elena Chegotova, an advisor to the chairman of the Committee for Construction of St. Petersburg, gave explanations about what exactly has changed and how developers of design documentation should work after the 1st of September.

KEYWORDS:

project documentation; state expertise; technical regulations; technical regulation; voluntary list of documents; transition period; unified electronic register of requirements.

Почему перемены некомфортны ►

Обсуждение законодательных новшеств в интернет-пространстве активно велось в конце 2023 года, когда всем хотелось заглянуть в 2024-й, и снова вспыхнуло в мае, после выхода постановления правительства РФ от 06.05.2024 г. № 589, анонсировавшего перемены с 1 сентября. Вот как комментировали это событие пользователи Telegram-каналов и чатов:

• «ГИП [главный инженер проекта] отвечает теперь за те решения в проекте, которые раньше оформлялись как СТУ [специальные технические условия]. Остатки ГИПов разбегутся из больших сложных проектов»;

• «Пока полностью не сформирована ЕИС [Единая информационная система жилищного строительства], никакой реестр требований не легитимен.

Скорее всего, реестр будет содержать требования только для прохождения госэкспертизы»;

• «Новая редакция закона исключила доказательную базу, то есть прежние перечни, утвержденные Росстандартом и правительством. Теперь в качестве доказательств можно предоставлять любые документы. Это точно техрегламент про безопасность?!»;

• «Большинство договоров было заключено до вступления в силу новой редакции закона, там все по-прежнему, и беспокоиться не о чем. Что касается договорных отношений, подписанных после первого сентября 2024 года, то там может случиться правовой коллапс».

Кроссплатформенный мессенджер Telegram переполнен переживаниями. Елена Чеготова, советник председателя Комитета по строительству Санкт-П-

тербурга, не стала обходить их стороной и начала недавний вебинар «Обновленный перечень “добровольных” документов...» со слов: «Отмена постановления Правительства РФ № 815 – это ужас-ужас или все-таки нет?»

Она пояснила: «Последние пару лет я прогнозировала, что 815-е постановление отменят, и мои постоянные слушатели были к этому готовы. Для них в этом нет ничего неожиданного и потому дискомфортного. Другое дело – специалисты, которые мало интересуются развитием законодательства и прогнозами. Они привыкли жить по “Техническому регламенту безопасности зданий и сооружений” 2010 года, брать из него нормы и применять исходя из специфики объекта. Теперь все привычное для них рушится».

Прежнее постановление утратило актуальность не сразу и не вдруг. Если

сейчас разобраться в этой истории и выстроить последовательность предпосылок, то без труда можно будет вписаться в новые правила игры с 1 сентября 2024 года.

Какие были предпосылки ►

Перед нами тот случай, когда законодатель не просто «снес» привычную систему технического регулирования, а предложил альтернативу, юридически вполне работоспособную, и позаботился о переходном периоде.

Перечень обязательных документов, в рамках которого с 1 сентября можно будет готовить проектную документацию свободно, был очерчен еще 4 года назад в статье 2 Федерального закона от 31.07.2020 № 247-ФЗ «Об обязательных требованиях в Российской Федерации» (с учетом ст. 4 Федерального закона от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании»).

Обязательные требования устанавливаются федеральными законами, в отдельных случаях – указами президента и нормативными правовыми актами Правительства РФ, федеральных органов исполнительной власти, договором о Евразийском экономическом союзе от 29 мая 2014 года и положениями международных договоров РФ.

Теперь законодатель сделал акцент на виды документов, а не на сами документы. Сложилась новая правовая картина. В силу пунктов 1 и 2 статьи 2, а также пункта 1 статьи 4 Федерального закона от 29.06.2015 № 162-ФЗ «О стандартизации в РФ» перечень документов в области стандартизации стал открытым и по умолчанию добровольным. Он звучит как обязательный перечень добровольных документов.

Кроме того, статья 57.3 Градостроительного кодекса РФ и постановление Правительства РФ от 31.08.2023 № 1417 вводят машиночитаемый реестр требований. Он будет готов к осени, а пока не доступен пользователям.

«Постановление Правительства РФ от 06.05.2024 № 589 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства РФ» просто завершает эту цепочку», – отметила Чеготова.

Переходный период, о котором позаботился законодатель, содержится не в новом 589-м постановлении правительства, а в части 5.2 статьи 49 Градостроительного кодекса. Эта статья в течение полутора лет с даты обращения за экспертизой защищает проектную документацию от внесения в нее изменений при повторной экспертизе или при про-

ектном сопровождении. Иными словами, материалы для госэкспертизы могут быть составлены по старым правилам и будут актуальны.

Если же застройщик или техзаказчик захочет внести корректировки по новым правилам, документация не может быть изменена лишь в какой-то части – а только целиком.

Почему отказались от полной версии документов ►

Реестр требований, который появится к осени, станет главным справочником для специалистов, готовящих материалы для экспертизы.

«Я вхожу в рабочую группу по созданию этого реестра и вижу изнутри, как продвигается работа», – отметила Елена Чеготова.

Раньше под объект собирались не требования, а документы целиком – а это огромный массив данных. К примеру, СП 118.13330.2022 «Свод правил. Общественные здания и сооружения. СНиП 31-06-2009» распространяется чуть ли не на все объекты. К документам добавлялись санитарные правила и нормы (СанПиНы), требования к пожарной безопасности, к лифтам и т.д. В этой массе нередко терялись какие-то виды работ, например забывали про клей для укладки плитки.

Застройщики постоянно жалуются на некачественную проектную документацию даже после госэкспертизы. Они теряют часть прибыли, исправляя ошибки проектировщиков. Некоторые, чтобы не лишиться новых контрактов в перспективе, выполняют работы за свой счет, когда случай простой, как, например, с клеем для плитки. Но бывает все гораздо сложнее, и не каждый застройщик соглашается нести дополнительные расходы – потому-то на законодательном уровне и решили поменять подход.

С осени будут собираться не документы под объект, а требования к конкретным объектам. Поиск будет вестись в автоматическом режиме по реестру требований. Специалисту не придется читать весь документ, чтобы найти в нем нужное. Сужается объем информации, который должен обработать сотрудник. Экономится его рабочее время, снижаются расходы на электричество, на обслуживание компьютерной техники.

«Законодатель не переставил что-то с места на место, но перестроил подход к подготовке проектной документации, – уточнила Чеготова. – В пояснительной записке к проектной докумен-

тации, представляемой на госэкспертизу, теперь будет содержаться не перечень документов, а перечень требований из таких-то документов в области стандартизации, которые были добровольно использованы и обеспечивают соблюдение требований технических регламентов».

Как выглядит добровольность ►

Дарованная проектировщикам свобода не означает, что «пространство для полетов» бесконечно. Законодатель очертил границы, в пределах которых «дозволено летать».

Конечная точка любого «маршрута» – положительное заключение госэкспертизы по проектной документации. А «прочерчивать маршрут» можно по собственному желанию.

Специалист, который готовит проектную документацию для строительства здания или сооружения, вправе выбирать любые архитектурные, функционально-технологические, конструктивные, инженерно-технические и иные решения и мероприятия. Он свободен также в выборе способов доказывания. Может взять несколько способов, чтобы картина, поданная на экспертизу, выглядела убедительно.

Позволено опираться на результаты исследований, расчетов и испытаний. Допускается моделирование сценариев возникновения опасных природных процессов и явлений, а также техногенных воздействий, в том числе вариантов их неблагоприятных сочетаний. Приветствуется оценка рисков возникновения опасных природных процессов и явлений и техногенных воздействий.

«Добровольный перечень подразумевает, что я могу выбрать альтернативные способы доказывания своих проектных решений, если нет ничего подходящего в электронном реестре требований, который появится к первому сентябрю», – уточнила Елена Чеготова.

Изменился и входной контроль строительных материалов. Раньше проверялось наличие у поставщиков документов, подтверждавших качество товара. Поставщик обязан был соблюдать требования рабочей документации, технических регламентов, стандартов и сводов правил.

Теперь главный критерий – соответствие стройматериалов национальным стандартам РФ, документам по стандартизации, указанным в пункте 5 статьи 14 Федерального закона «О стандартизации в Российской Федерации». Учитываются также регио-

нальные стандарты и своды правил других государств, стандарты организаций, если это предусмотрено проектной документацией.

Аналогичные преобразования претерпели проверка условий хранения материалов и контроль последовательности и состава технологических операций по строительству объектов капитального строительства.

Почему надо выйти из «цифровой тени» ►

Законодатель прямо не указывает, как должна готовиться проектная документация и обоснование проектных решений, но подразумевает, что это будет ИТ-моделирование и использование только отечественного программного обеспечения.

Конечно, можно сделать все привычным способом на компьютере и потом преобразовать файлы в требуемый для госэкспертизы формат. Это называется «цифровая тень». Сотрудник, которому не нравятся новые условия работы, может «покривляться, как в тени». Ничего ему за это не будет, никто ничего не увидит, но лучше выходить из тени и сразу работать, как полагается. Тем не менее не исключено, что что-то может быть неудобным для пользователей на первых этапах. Не всегда то, что кажется законодателю удобным, на самом деле удобно.

Один из слушателей вебинара выразил опасение: не придется ли теперь инженерам переквалифицироваться в юристов и аййтишников, чтобы уверенно

чувствовать себя в новом едином электронном реестре требований?

«Инженер как специалист никуда не денется, и получать дополнительное юридическое образование ему не надо, а вот стать высококвалифицированным пользователем компьютерных сетей придется. Сложно будет новичкам, которые умеют правильно выполнять какие-то стандартные цифровые операции, но не понимают, что происходит со стороны права и физики на строительной площадке», – поделилась размышлениями Чеготова.

Возможно, кому-то сложнее и дольше придется теперь строить свою карьеру в изысканиях, проектировании, строительстве. Более серьезные испытания ждут ГИПов и ГАПов [главных архитекторов проектов]. Вырастет их ответственность, придется тщательнее подбирать кадры в свою команду.

Единый электронный реестр требований к проектной документации, чтобы он не страшил, можно сравнить с электронным документооборотом (ЭДО). Сейчас вся бухгалтерская документация, налоговая отчетность ведутся и сдаются в электронном виде. Все это уже привычно, все пользуются соответствующим сервисом, не задумываясь. Так будет и с классификатором (реестром) требований.

Реестр – всего лишь один новый шаг в процессе глобальной цифровизации строительства. Законодатель не обязывает никого полностью переходить на технологии информационного моделирования (ТИМ). Это касается только долевого строительства с 1 июля 2024 го-

да, но остальным участникам строительного рынка нужно быть готовыми к тому, что это потребует «завтра вечером». Иначе они столкнутся с неожиданностью так же, как восприняли сейчас реестр требований, который на самом деле был давно ожидаем.

Выводы ►

С сентября 2024 года меняются правила подготовки проектной документации для государственной экспертизы. Если раньше проектировщики пользовались списком документов и выбирали нужную информацию из «Технического регламента зданий и сооружений», то теперь предстоит искать не документы, а требования, которые подходят к конкретному объекту, из разных источников и не читать большие документы целиком. Таким образом будет экономиться время специалистов и сократятся сроки подготовки документов.

Главным источником информации станет электронный реестр требований, который будет готов к осени. Если проектировщик не найдет в нем нужного, он вправе обосновать свои проектные решения альтернативным способом. Он свободен в выборе этого способа, но должен все обосновать и убедить представителей госэкспертизы в правильности своей позиции.

Резких перемен в работе проектировщиков не будет, потому что законодатель предусмотрел переходный этап и разрешил работать по старым правилам в течение полутора лет, если документы были собраны до 1 сентября 2024 года. **и**



Telegram-канал журнала

Независимый электронный журнал
ГеоИнфо

- Новости
- Статьи
- Обсуждения

<https://t.me/geoinfonews>



БАБОРЫКИН МАКСИМ: НЕ В КОЛИЧЕСТВЕ СТАДИЙ ДЕЛО, А В КАЧЕСТВЕ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ

АННОТАЦИЯ

Осенью ожидается вступление в силу закона о переходе на одностадийное проектирование линейных объектов. Это значит, что в ряде случаев подготовка рабочей документации уже не будет обязательной – останется только проектная. Новые правила призваны удешевить и ускорить строительство.

Впрочем, для тех же целей существовало и двухстадийное проектирование, когда была обязательной подготовка и проектной, и рабочей документации при строительстве и реконструкции объектов. Но инженерам-практикам две стадии не понравились, и законодатели получили запрос на оптимизацию проектирования несложных сооружений. К ним относятся трубопроводы, железные и автомобильные дороги, линии электропередачи. Закон переделали, но многие изыскатели и проектировщики опять недовольны, о чем рассказывают в профессиональных чатах. Кто-то считает, что проектировщикам станет легче, а изыскателям – сложнее. Кого-то беспокоит, как упрощение процедуры и сокращение количества документов отразится на безопасности сооружений.

Редакция журнала «ГеоИнфо» собрала эти вопросы и обратилась за комментариями к Максиму Баборыкину – главному аналитику Центра геоинформационных систем АНО ВО «Университет Иннополис» (г. Иннополис, Татарстан), главному геологу ООО «Аэрогеоматика» (г. Краснодар), кандидату геолого-минералогических наук.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

строительство; реконструкция; линейные объекты; инженерные изыскания; проектирование; одностадийное проектирование; двухстадийное проектирование; риски; проектная документация; рабочая документация.

BABORYKIN MAKSIM: IT IS NOT A MATTER OF THE NUMBER OF STAGES, BUT OF THE QUALITY OF THE ENGINEERING SURVEYS AND DESIGN OF LINEAR OBJECTS

ABSTRACT

In the autumn, the law on the transition to single-stage design of linear objects is expected to enter into force. This means that in some cases, the preparation of working documentation will no longer be mandatory and only design documentation will remain. The new rules are designed to make construction cheaper and faster.

However, for the same purposes, there was also two-stage design with the mandatory preparation of both design and working documentation for the construction and reconstruction of facilities. But the practical engineers did not like the two stages, and the legislators received requests to optimize the design of simple structures that include pipelines, railways, highways, and power lines. The law has been redone, but many engineering surveyors and designers are now dissatisfied again, which they talk about in professional chats. Someone thinks that it will become easier for designers, and more difficult for engineering surveyors. Someone is worried about how simplifying the procedure and reducing the number of documents will affect the safety of structures.

The editorial staff of the "GeoInfo" journal collected these questions and asked for comments to Maksim Baborykin, who is the chief analyst of the Center for Geographic Information Systems of the Innopolis University (Innopolis, Tatarstan, RF), the chief geologist of Aerogeomatiks LLC (Krasnodar, RF), Doctor of Philosophy (Geology and Mineralogy).

KEYWORDS:

construction; reconstruction; linear objects; engineering surveys; design; one-stage design; two-stage design; risks; design documentation; working documentation.

Ред.: Максим Юрьевич, принятие в первом чтении законопроекта о переходе на одностадийное проектирование путем объединения рабочей и проектной документации стало причиной дискуссий в профессиональных чатах. Чем эта новость хороша и чем плоха для участников строительного рынка?

М.Б.: Мне приходилось работать на многих линейных объектах. Это были газопроводы и другие сухопутные сооружения в Краснодарском, Приморском и Хабаровском краях, на Алтае и на Сахалине. Если обобщить этот опыт, могу сказать следующее. Совмещение стадий подготовки проектной и рабочей документации возможно, если исключены или сведены к минимуму риски. Прежде всего это риски, связанные с проложенными коммуникациями. Как показывает практика, не по всем объектам имеется полная информация. Было много случаев, например, обрыва гражданских и военных линий связи.

Следующая группа рисков связана со своевременным согласованием работ с собственником земель, где будет пролегать трубопровод. Хозяин может сначала согласиться, а потом передумать, сославшись на какие-то сельскохозяйственные причины, или если его поставят перед фактом, что буровая техника

уже прибыла на границу его участка, а ему это не понравится.

Наконец, имеются риски, вызванные опасными геологическими процессами. Такие процессы – индикаторы устойчивости территории. Их активизация говорит об изменениях состояния массива. Геологическая среда по сути своей изменчива. Если она плохо обследована, если не собраны все физико-механические характеристики грунтов, то высока вероятность аварий на стадиях строительства и эксплуатации.

Если перечисленные риски исключены или сведены к минимуму и принято решение об объединении проектно-изыскательских работ в одну стадию, то все равно эту стадию необходимо разделить на несколько подстадий. Важно быть внимательными и использовать современные приборы и технологии, которые позволяют получать более полную информацию о природной среде и при этом в какой-то мере упрощают и ускоряют изыскания и проектирование.

Ред.: Сколько должно быть таких подстадий?

М.Б.: Я бы выделил три подстадии. Первая – выбор генерального направления прокладки линейных сооружений. А оно зависит от рельефа. Хороший ин-

струмент для сбора информации – воздушное лазерное сканирование, совмещенное с аэрофотосъемкой. Составляется цифровая модель местности с шириной коридора не менее 1–2 км в выбранном генеральном направлении.

Вторая подстадия – проведение подготовительных работ на основе цифровой модели местности после выбора одной из конкурентных траекторий прокладки. Определяются места расстановки скважин, полевых испытаний, подъездов транспорта, базирования спецтехники и так далее.

И последняя подстадия – непосредственно проектно-изыскательские работы, подготовка документации.

Я считаю, что без качественной обработки данных, собранных с помощью дистанционных методов, объединение проектной и рабочей документации ни к чему хорошему не приведет.

Ред.: Закон призван решить проблему накопившихся несоответствий проектной и рабочей документации. О каких несоответствиях идет речь?

М.Б.: Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо уточнить, является ли рабочая документация частью проектной документации. Насколько я помню, в 2023 году вышло разъяснение, что

рабочая документация не является частью проектной документации.

Еще надо принять во внимание, что существует так называемый «зоопарк», когда проектную документацию готовит одна организация, а рабочую – другая. Это нечастое явление, но такое бывает. И тогда возникает очень много несостыковок.

Двухстадийность как раз и вводилась для минимизации ошибок при проектировании. А теперь поднимается проблема накопившихся несоответствий проектной и рабочей документации.

Давайте разберемся, о каких несоответствиях идет речь. Обратимся к части 2 статьи 48 Градостроительного кодекса РФ и к пункту 4 постановления Правительства РФ № 87 от 16.02.2008 (ред. от 15.09.2023) «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию». Цитирую: «Рабочая документация разрабатывается во исполнение архитектурных, технических и технологических решений, содержащихся в проектной документации. Отклонение параметров объекта капитального строительства от проектной документации, необходимость которого выявилась в процессе строительства, реконструкции, капитального ремонта такого объекта, допускается только на основании вновь утвержденной техническим заказчиком проектной документации после внесения в нее соответствующих изменений. Рабочая документация, не соответствующая проектной документации, не может быть основанием для выполнения работ в силу статуса данного документа, поскольку последняя только уточняет и конкретизирует проектную документацию».

На мой взгляд, при подготовке проектной документации проходит какое-то время и при подготовке рабочей документации проходит какое-то время. Специалисты, которые продолжают работу над подготовленной моделью объекта, не всегда учитывают описанные характеристики модели в динамике. Для них она статична. Это и есть пример недобросовестного отношения к работе.

Мне кажется, что немало специалистов, озадаченных не тем, чтобы сделать что-то хорошо, а тем, как бы обойти какие-то правила. Возможно, это одна из причин бурного обсуждения закона в профессиональных чатах. Он воспринимается как ограничение, ведется коллективный поиск того, как его обойти.

Ред.: Почему проектировщики считают, что им теперь станет легче, а у изыскателей другое мнение?

М.Б.: Проектировщикам действительно станет легче, потому что работы будет меньше, так как все теперь делается разом. Для изыскателей ничего не меняется. Как платились копейки, в которые практически невозможно было уложиться, причем в кратчайшие сроки, так и будут платиться.

Много лет на каждой конференции, на встречах с представителями власти поднимается вопрос о недофинансировании инженерных изысканий. Разговоры продолжаются, но ничего не меняется.

Ред.: Еще один аргумент, звучащий в защиту одностадийного проектирования: «Объекты будут строиться быстрее и дешевле». Это так?

М.Б.: В целом так, но, повторюсь, все зависит от реализации. Одностадийность уже вводилась, а после этого вернулись к двухстадийности, теперь снова одна стадия.

К слову, за рубежом фактически одна стадия. И это им не мешает как строить на совесть, так и делать ошибки, порой фатальные, например если вспомнить разрушенный мост Такома-Нэрроуз в США в 1940 году. Или современные примеры: обрушение моста через реку Миссисипи в 2007 году в США, аналогичная катастрофа в Генуе в 2018 году. В 2000 году упал пешеходный мост в американском городе Конкорд, потому что не выдержал веса зрителей, собравшихся посмотреть автотонки. Почти 100 человек получили ранения.

Все нужно делать вовремя, но не всегда так бывает. В моей практике было несколько случаев, когда клиенты обращались по поводу выявления опасных геологических процессов уже во время строительства или когда проектная и рабочая документация прошли экспертизу. Например, в поселке Шкотово Приморского края сползал строящийся откос автодороги. Для заказчика была подготовлена модель развития опасных геологических процессов, по которой были найдены причины и предложены технологии по укреплению откоса.

Чтобы делать все вовремя, сразу и хорошо, нужно быть хорошо информированным и учесть все неблагоприятные факторы воздействия на естественное и искусственное основание сооружения и на конструкцию в целом.

Ред.: Как рассматриваемое нововведение отразится на безопасности объектов?

М.Б.: Опять же, все дело в реализации. Приведу примеры. Работая в ЗАО НИПИ «ИнжГео», я предложил схему улучшения инженерно-геологических изысканий только по одному пункту – «качественное выявление опасных геологических процессов». В результате ее реализации скорость полевых работ повысилась, так как полевой геолог уже знал, где что находится, точки у него были забиты в систему GPS. Ему оставалось только заверить их так, как этого требует нормативный документ.

Другой пример. На газопроводе «Южный поток» было проведено лазерное сканирование с шириной коридора 2 км и с точностью модели, соответствующей масштабу 1:2 000, что также ускорило изыскания и подготовку документации. В интернете есть доклады и статьи, где это описано, – с ними можно ознакомиться.

Отсюда следует, что если реализация одностадийного проектирования будет проводиться по-старому, то улучшений точно не стоит ждать. Все проблемы при эксплуатации лягут на геотехнический мониторинг. Будет постоянно выявляться недоизученность природной среды, будут расти затраты на компенсирующие мероприятия. Вдобавок надо иметь средства на эти мероприятия. Если же сразу использовать данные дистанционного зондирования Земли, то получится провести проектно-изыскательские работы в одну стадию с меньшими ошибками.

Есть существенное препятствие для быстрой и качественной работы – некая закостенелость, очень медленное внедрение дистанционных технологий зондирования Земли. Чем больше компания, тем выше эта закостенелость. Очень долго внедрялось, например, воздушное лазерное сканирование, а сейчас оно вполне легитимно.

Закостенелость у нас испокон веков. Когда в царской России обсуждалась необходимость строительства железной дороги, министр финансов граф Егор Канкрин заявил: «Очень дорогая затея! Россия веками обходилась конным гужевым транспортом. И еще лет триста-пятьсот обойдется».

В заключение нашей беседы могу добавить одно. Не в количестве стадий дело, а в качестве инженерных изысканий и проектирования! 

Здесь может быть ваша
РЕКЛАМА



Рекламная статья в журнале – **35 000** 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 – **35 000** 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.

WWW.GEOINFO.RU



МОНИТОРИНГ ОПОЛЗНЕЙ В СОЧИ: КАК ЗАДАЧА ГОСУДАРСТВЕННОГО МАСШТАБА СКАТИЛАСЬ К ЧАСТНОЙ ИНИЦИАТИВЕ

ВИНОГРАДОВА ВЕРА

Специальный корреспондент

АННОТАЦИЯ

Научно-технологический университет «Сириус» в Сочи реализует проект по созданию системы мониторинга состояния окружающей среды, в том числе в части оценки геологических рисков. Наблюдения ведутся на своей территории и в окрестных районах. В статье, которая размещена на сайте заведения, говорится, что ученым под силу в той или иной степени предсказывать оползни, землетрясения и цунами, но для этого нужны данные. Для их сбора предполагается установить датчики, которые будут следить за состоянием грунтов.

Журнал «Геоинфо» опубликовал эту новость на своем сайте и в Telegram-канале. Последовали вопросы и комментарии об актуальных технологиях и приборах, сборе и интерпретации данных, отсутствии в Краснодарском крае единого государственного мониторинга опасных природных явлений. После этого редакция журнала провела несколько интервью с участниками возникшей дискуссии. Эксперты рассказали, как они восполняют дефицит прогнозной информации об оползневых процессах.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

опасные природные процессы; опасные геологические процессы; оползни; точки измерений; кадастровые границы; кадровое обеспечение; единая система мониторинга; централизованное финансирование.

MONITORING OF LANDSLIDES IN SOCHI: HOW A STATE-SCALE TASK HAS DRIFTED INTO A PRIVATE INITIATIVE

VINOGRADOVA VERA
Special correspondent

ABSTRACT

The “Sirius” University of science and technology in Sochi is implementing a project to create an environmental monitoring system, including in terms of assessing geological risks. The observations are conducted all over the territory and in the surrounding areas. An article posted on the institution’s website states that scientists are able to predict landslides, earthquakes and tsunamis to some extent, but this requires data. To collect them, it is planned to install sensors that will monitor the condition of grounds. The “Geoinfo” journal published this news on its website and in its Telegram channel. Questions and comments followed. They were about current technologies and devices, data collection and interpretation, the lack of a unified state monitoring of hazardous natural phenomena in the Krasnodar Territory. After that, the editorial staff of the journal interviewed some participants of the discussion. The experts told how they make up for the lack of predictive information on landslide processes.

KEYWORDS:

hazardous natural processes; hazardous geological processes; landslides; measurement points; cadastral boundaries; human resourcing; unified monitoring system; centralized financing.

Как раньше собирали информацию ►

В советское время на территории Сочи существовала единая система мониторинга с координационным центром. По словам заместителя директора ООО «Инжзащита» Андрея Пономарева, велись обширные наблюдения в прибрежных и высокогорных районах. По собранным материалам составлялись карты распространения опасных природных процессов. В 1990-е годы все прекратилось. Остался мониторинг отдельных участков – под нужды заказчиков.

«Ранее функционировал Северо-Кавказский геоэкологический центр, филиал ГУП «Кубаньгеология», – подключился к разговору Алексей Герелис, руководитель обособленного подразделения «Юг» компании «ГЕОИЗОЛ Проект» в Краснодаре. – Организация занималась обследованием и картированием оползневых участков на территории Большого Сочи. Результаты этой работы востребованы до сих пор. В отчетах по изысканиям опытные геологи делают ссылки на номера оползневых тел в едином реестре СКГЭЦ. В настоящее время единая картотека оползневых тел и других опасных геологических процессов не ведется».

Между тем, на одни только исторические данные в Сочи опираться нельзя – информация быстро устаревает. «Ис-

пользовать архивные сведения нужно, но обойтись без их актуализации не получится, – подчеркнул Юрий Сапронов, руководитель отдела проектно-изыскательских работ ГК «ТОЧНО» (федерального застройщика). А заместитель главного инженера ООО «Трансстроймеханизация» Ирина Мацко из Москвы добавила, что анализ архивных материалов, дешифрирование аэро- и космоматериалов, маршрутная съемка и бурение через 500–1000 м выполняются в соответствии с нормативными документами. Теоретически это позволяет определить расположение проблемных участков для назначения объемов и состава работ еще на стадии обоснования инвестиций.

Иногда объем исследований целенаправленно сокращается, например при одностадийных изысканиях на линейных сооружениях. Обнаружить все сложные участки в этом случае невозможно, результаты выявления инженерно-геологических особенностей получаются ненадежными.

Почему сейчас нет единой системы ►

Недальновидная экономия – так обозначил главную причину отсутствия централизованной системы наблюдений за опасными природными процессами Алексей Герелис. Это касается не только отдельных коммерсантов, но и неко-

торых представителей органов власти, которые думают только о том, как меньше потратить сегодня, и не считают, сколько придется заплатить завтра в случае чрезвычайной ситуации.

В прошлом году в рамках выставки YugBuild в Краснодаре на панельной дискуссии «Комплексное развитие территорий» Алексей Герелис задал вопрос представителю департамента архитектуры и градостроительства Краснодарского края о том, планируется ли выполнять работы по выделению опасных геологических процессов с включением в публичную кадастровую карту, как это сделано для зон подтопления. Поступил ответ, что такие работы потребуют больших затрат и сейчас не планируются.

«Отдельные государственные учреждения проводят работы по диагностике или мониторингу опасных геологических процессов, но эта работа не выходит за границы их полосы отвода», – уточнил Алексей Герелис.

Пример локальной работы привел и Андрей Пономарев: «Ведем мониторинг развития опасных природных процессов на ряде крупных объектов горного кластера. Он включает в себя геодезические реперные точки для отслеживания перемещений грунта по плоскости и инклинометрические скважины для оценки степени развития оползне-

вых деформаций непосредственно в грунтовом массиве».

По словам Юрия Сапронова, невнимание к инженерной защите может отразиться на репутации застройщика. Не выявленная на начальных стадиях проблема – это высокая вероятность катастрофических последствий и даже гибели людей. Восстановление объекта всегда дороже, если вообще бывает возможным. Винаватым обычно становится застройщик, потому что неправильно оценил риски.

Какая нужна система мониторинга ▶

Эксперты не сомневаются в нужности единой системы мониторинга опасных природных явлений, но допускают, что пройдет много времени, прежде чем она начнет удовлетворять запросы пользователей.

Юрий Сапронов уверен, что, как и любая консолидированная система, она должна базироваться на широкой статистике, повышающей достоверность сведений. Использование этой информации будет обязательным, сократит количество самостроев, повысит надежность строительства и функционирования жилищного фонда.

Правда, застройщику все равно надо будет конкретизировать обстановку на участке. «Заранее спрогнозировать объем и стоимость работы не всегда возможно. Однажды столкнулись с ситуацией, когда мероприятия по инженерной защите необходимо было проводить по всему периметру участка», – поделился опытом Сапронов.

Андрей Пономарев добавил, что информация об оползнях, собранная в одном источнике, будет востребованна – ведь весь Сочи находится в зоне риска развития опасных природных процессов.

Однако данные надо еще уметь интерпретировать. Например, Алексей Герелис поделился историей об избыточном количестве измерительного оборудования и об отсутствии специалистов, способных расшифровать показания приборов.

В 2013 году на километровой дороге Джубга – Сочи организовали наблюдение за оползнями. Использовали приборы спутниковой геодезии и обычное геотехническое оборудование. Но они дублировали друг друга, а не дополняли. Вся информация стекалась в эксплуатирующую дорожную организацию. Ею никто не пользовался, потому что не было профильных специалистов – геологов, геотехников, гео-

дезистов. Проект свернули, когда финансирование прекратилось.

Как нужно организовать ▶

Алексей Герелис перечислил неизбежные трудности, с которыми придется считаться и которые придется, если создавать единую систему мониторинга оползневых процессов.

Оборудование не нужно размещать на каждом шагу. Необходимо определить опасные участки, на которых будет организован мониторинг. Количество приборов должно быть достаточным, а не избыточным.

Следующий момент – кадастровые границы. Согласование работ с собственниками земельных участков позволит выбирать менее затратные способы инженерной защиты.

Наконец, кадровое обеспечение. Предварительные результаты мониторинга можно получить минимум через год наблюдений. Для выполнения этой работы может быть привлечена подрядная организация или же может быть создан отдел мониторинга в госкомпании.

На вопрос о том, что из себя будет представлять мониторинг природных опасностей в Сочи, руководитель пресс-службы университета «Сириус» Мария Алисова ответила: «Работы носят научно-исследовательский характер и проводятся в рамках комплексного научного проекта университета, в числе задач которого – создание системы мониторинга состояния окружающей среды на федеральной территории “Сириус” и в прилегающих районах, в том числе в части оценки геологических рисков. По мере развития научного проекта будут публиковаться соответствующие новости на нашем сайте». В этой связи она предложила ознакомиться со статьей на портале заведения в разделе «Сириус. Журнал» под заголовком «Землетрясения, оползни, цунами: в “Сириусе” создают систему мониторинга». В указанной публикации рассказывается о том, что соответствующие исследования частично реализуются с помощью гранта Российского научного фонда. Сейчас ученые определяют регистрирующие способности аппаратуры и выбирают точки для постоянных измерений. В дальнейшем планируются наблюдения по всей Сочинской агломерации – на суше и на море.

В «Сириусе» полагают, что мощный оползень, который сошел на железную дорогу в феврале этого года в Лазаревском районе Сочи, можно было предсказать и снизить разрушительные последствия.

Выводы ▶

Весь Сочи – зона опасных природных явлений. Застройщикам и эксплуатантам сооружений приходится постоянно вкладываться в инженерную защиту. Им хотелось бы тратить средства рационально и быть предупрежденными об опасностях.

В советское время масштабные наблюдения за грунтами были организованы хорошо, но не было таких технологий, как сейчас. Теперь много технологий, но отсутствует единая система мониторинга и централизованное финансирование этих работ.

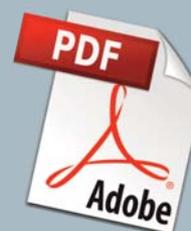
Похожая проблема существует и в регионах с многолетней мерзлотой, где грунты оттаивают и инженерные объекты деформируются. Сейчас в России формируется система государственного фонового мониторинга состояния мерзлоты. Эта работа поручена Росгидромету.

Такой же организации наблюдений хотелось бы специалистам и собственникам объектов в Сочи. Поскольку ее нет, приходится восполнять пробелы собственными силами, что малоэффективно – ведь оползни не распространяются в соответствии с кадастровыми границами.

Потребности в информации высоки, поэтому каждая новость о том, что в Сочи организованы очередные наблюдения, вызывает у специалистов большой интерес. **и**

Независимый электронный журнал
ГеоИнфо

С 2022 года
журнал «ГеоИнфо»
выходит
в формате *PDF.
10 выпусков в год.



WWW.GEOINFO.RU

Здесь может быть ваша
РЕКЛАМА



Рекламная статья в журнале – **35 000** 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 – **35 000** 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.

WWW.GEOINFO.RU



АЛЕКСЕЙ ГЕРЕЛИС: НУЖНА ЕДИНАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ В СОЧИ

АННОТАЦИЯ

Сход оползней, обрушение деревьев, подъем воды в реках, смерчи над морем – это обычные заголовки новостей в Сочи. Однако природные особенности не мешают Краснодарскому краю быть в числе лидеров среди регионов по количеству инвестиций в строительство. Дело в том, что на Черноморском побережье Кавказа нельзя что-то построить и спокойно жить – нужно постоянно думать о защите объекта.

Руководитель обособленного подразделения «Юг» компании «ГЕОИЗОЛ Проект» в Краснодаре Алексей Герелис объяснил редакции журнала «ГеоИнфо», почему нынешних наблюдений в указанном регионе недостаточно, почему должны быть наблюдения экономически оправданы и зачем нужна единая система мониторинга геотехнической безопасности. Наш собеседник был причастен к мониторингу транспортных развязок и тоннелей, строившихся к XXII Олимпийским зимним играм 2014 года в Сочи. Он постоянно занимается диагностикой оползнеопасных участков, на которых вырастут жилые комплексы, участков строительства и эксплуатации федеральных и региональных дорог в Краснодарском крае.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

Краснодарский край; Большой Сочи; Черноморское побережье Кавказа; опасные геологические процессы; оползнеопасный участок; инженерная защита территорий; рациональные решения; экономический эффект; мониторинг; единая система мониторинга; межведомственная государственная система мониторинга.

ALEXEY GERELIS: A UNIFIED STATE SYSTEM FOR MONITORING HAZARDOUS NATURAL PHENOMENA IN SOCHI IS NEEDED

ABSTRACT

Landslides, fallen trees, rising waters in rivers, tornadoes over the sea are the usual headlines of news in Sochi. However, natural features do not prevent Krasnodar Region from being one of the leaders among the other regions of Russia in terms of investment amounts in construction. The fact is that you cannot build something on the Black Sea coast and live undisturbedly. You always need to think about protecting the facility.

Aleksey Gerelis, the head of the separate division "South" of the "GEOIZOL Project" company in Krasnodar explained to the editorial staff of the "GeolInfo" journal why the current observations are not enough there, why proper observations are economically justified and why a unified system for monitoring geotechnical safety is needed. Our interlocutor was involved in monitoring transport interchanges and tunnels built for the XXII Olympic Winter Games 2014 in Sochi. He is constantly engaged in diagnostics of landslide-prone areas where residential complexes will be built, of the construction and operation sites of federal and regional roads in Krasnodar Region.

KEYWORDS:

Krasnodar Territory; Greater Sochi; Black Sea coast of the Caucasus; hazardous geological processes; landslide-prone area; engineering protection of territories; rational solutions; economic effect; monitoring; unified monitoring system; interdepartmental state monitoring system.

Ред.: Алексей Вячеславович, во сколько обходится заказчику разработка и поддержание системы мониторинга геобезопасности?

А.Е.: Стоимость зависит от масштабов объекта наблюдения. Если поставлена задача проанализировать оползневый участок автодороги протяженностью 500 метров, расходы заказчика составят от пяти миллионов рублей в год. Девелоперу, который собрался строить жилой комплекс, рекомендуется запланировать порядка 15 миллионов рублей на трехлетний мониторинг. Ежегодный бюджет глобальных строительных проектов, реализуемых на территории Большого Сочи, – сотни миллионов рублей.

Ред.: Не все застройщики спешат вкладываться в геотехнические наблюдения, ведь опасные природные явления произойти, а могут и не произойти. Что бы Вы сказали такому экономному владельцу бизнеса?

А.Г.: Предложил бы рассчитать не только стоимость мониторинга, но и предполагаемый экономический эффект от него. Когда застройщик владеет информацией, он может заранее и точно предпринять защитные меры и тем самым уменьшить масштаб разрушений от воды, ветра или оползня.

Допустим, участок автодороги пролегает в зоне возможного схода оползней. Опасное событие может произойти, но с неопределенной вероятностью.

Надежный, очень дорогой, но не единственный метод защиты линейного объекта – возведение вдоль него подпорных стен. При постоянном наблюдении за развитием оползневых процессов можно выбирать превентивные меры, более затратные или менее дорогие.

Другой пример из нашей практики. На участке региональной автомобильной дороги, где были выполнены удерживающие сооружения, несколько лет выполнялся мониторинг. Специалисты оперативно выявляли активизацию оползневых процессов и проводили защитные мероприятия. По данным инклинометрических наблюдений, за два года поверхность скольжения оползневой тела на одном из участков снизилась с 14 до 24 метров. Произошло это из-за того, что при оползневых деформациях целостность массива нарушается, появляются трещины и заколы, в которые проникают поверхностные и грунтовые воды. Грунтовый массив постепенно обводняется, физико-механические свойства грунта ухудшаются, что приводит к увеличению мощности переувлажненного грунта. На рассматриваемом участке мощность переувлажненного оползневой массива с каждым годом становилась все больше. В итоге он достиг глубины 24 м от дневной поверхности.

Вместе с этим наблюдались деформации буронабивных свай подпорных стен – от волосяных трещин до изменений арматурного каркаса, которые произошли за восемь месяцев.

Своевременное обнаружение опасных геологических процессов подтолкнуло заказчика на расширение сбора информации и дополнительное финансирование. Получаемые данные мониторинга использовались при корректировке проекта, было выполнено несколько итераций. В итоге удалось локализовать оползневое тело, не допустить разрушения дороги и иных катастрофических последствий.

Отмечу, что скорость развития оползневых процессов в этой ситуации превышала скорость бюрократических процессов: прохождение экспертизы, проведение торгов, согласование финансирования. При более быстром реагировании фактические затраты на инженерную защиту оказались бы ниже. Можно было бы сэкономить десятки или даже сотни миллионов рублей.

Ред.: Какой опыт в других регионах РФ или в других странах Вы считаете интересным и почему?

А.Г.: В российской практике мониторинг воспринимается как опция. Нередко он выполняется формально, чтобы выполнить нормативы, получить согласование. Итальянские же проектировщики и строители тоннелей, с которыми мне доводилось работать, продемонстрировали иной подход. Для них мониторинг геобезопасности – неотъемлемая составляющая проектирования и строительства. В частности, при возведении тоннелей установка сква-

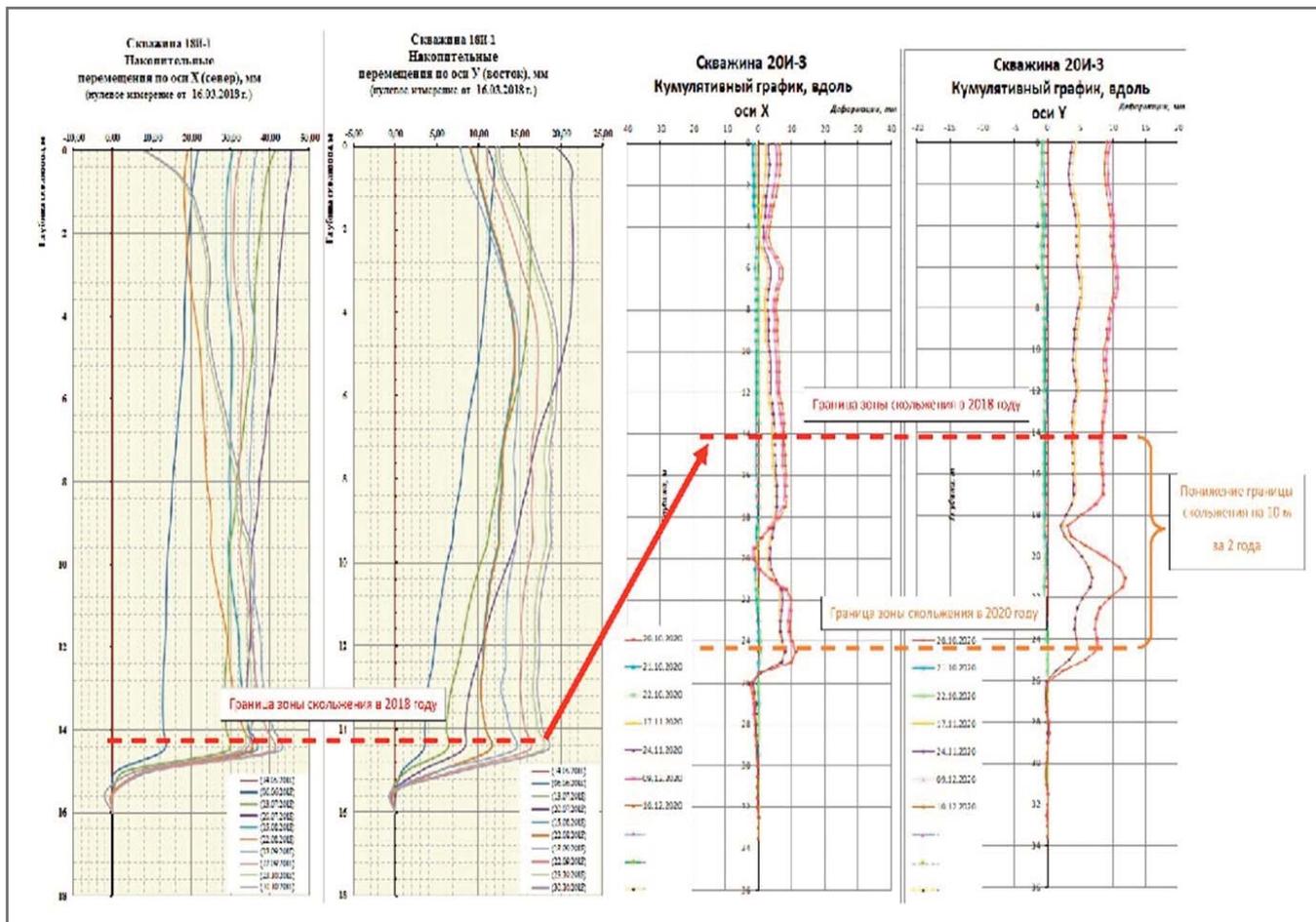


Рис. 1. Результаты сравнения инклинометрических наблюдений за период с 2018 по 2020 год. Было зафиксировано понижение границы скольжения оползневой тела с 10 до 24 м

жинных экстензометров для наблюдений за скоростью смещения лба забоя тоннеля обязательна.

На основании данных мониторинга итальянские проектировщики принимают решение, какую именно конструкцию обделки использовать в конкретном месте. В наших реалиях такой метод невозможен из-за четкого разделения проектирования на стадии: «проект – экспертиза – рабочая документация». В случае проведения мониторинга на стадии строительства и выявления обоснованной необходимости значительной корректировки технических решений сначала необходимо будет откорректировать проектную документацию, а затем повторно пройти экспертизу, что значительно увеличит сроки реализации проекта.

Ред.: Некоторые представители строительной отрасли считают, что в районах, подверженных опасным природным процессам, как Сочи, мало датчиков, информации недостаточно. Можете это прокомментировать?

А.Г.: Бывают и противоположные ситуации, когда оборудования слишком

много. Например, в 2013 году между Хостой и Кудепстой, на 196-м километре автодороги А-147 (Джубга – Сочи), было выделено несколько активных оползневых тел различной степени активности и опасности. За ними установили постоянное наблюдение. Это был пилотный объект по внедрению технологий ГЛОНАСС. На километровом участке установили четыре базовые станции, определили 16 точек контроля. Параллельно с системой приборов спутниковой геодезии устанавливали обычные геодезические марки на подпорные стены и иное геотехническое оборудование: скважинные инклинометры, датчики давления грунта, гидрогеологические скважины с датчиками, поверхностные наклонометры. Данные с различных датчиков собирались в диспетчерском пункте с целью оперативного информирования о возможных оползневых подвижках. В итоге на рассматриваемом участке реализовали довольно развернутую сеть мониторинга, которая некоторое время эксплуатировалась дорожными службами.

По моему мнению, количество дублирующего оборудования на данном

участке было излишним. Применение приборов спутниковой геодезии не показало высокой эффективности. Заявленная точность (2–3 см в реальном времени и 4–5 мм постобработанных материалов) на деле оказалась ниже.

На Черноморском побережье Кавказа сложный рельеф и много древесной растительности, что отрицательно сказывается на качестве сигнала и точности измерений с помощью спутниковой геодезии. При эксплуатации сложной системы автоматизированного мониторинга возникают сложности с подключением к постоянному источнику тока, с осмотром и обслуживанием приборов. Существуют сложности и с интерпретацией данных. Заниматься этим должны геологи, геотехники, геодезисты. А в данной ситуации вся информация стекалась в эксплуатирующую дорожную организацию, в которой не было профильных специалистов. И эта дорогостоящая система мониторинга существовала недолго и была свернута, по всей вероятности, из-за прекращения финансирования.

Однако позитивных историй, когда на оползневых участках автодорог ре-

лизуются системы мониторинга с оптимальным количеством измерительного оборудования, конечно же, больше. Обычно применяются геодезические методы (наблюдения с помощью тахеометра за грунтовыми реперами и марками на сооружениях) и геотехническое оборудование (инклинометрические скважины, датчики нагрузки на анкерных сваях). Основная работа заключается в визуальных наблюдениях и интерпретации полученных данных.

Необходима единая система мониторинга на большой территории, но ее создание связано с рядом сложностей.

Ред.: Что нужно для ее создания? С чего бы Вы начали?

А.Г.: С определения участков, где может потребоваться мониторинг. Ранее эти задачи решал Северо-Кавказский геоэкологический центр (СКГЭЦ), филиал ГУП «Кубаньгеология». Эта организация занималась обследованием и картированием оползневых участков на территории Большого Сочи. Результаты той работы востребованны до сих пор. В отчетах по геологическим изысканиям опытные геологи делают ссылки на номера оползневых тел, зафиксированных в едином реестре СКГЭЦ. Но в настоящее время единая картотека оползневых тел и других опасных геологических процессов на государственном уровне не ведется.

В прошлом году на панельной дискуссии «Комплексное развитие территорий» в рамках выставки YugBuild в Краснодаре я задал вопрос представителю департамента архитектуры и градостроительства Краснодарского края о том, планируется ли выполнять работы по выделению опасных геологических процессов с включением в публичную кадастровую карту, как это сделано для зон подтопления. Мне ответили, что такая деятельность потребует больших затрат и пока не планируются.

Сейчас отдельные государственные учреждения организуют диагностику или мониторинг опасных геологических процессов, но эта работа не выходит за границы их полос отвода.

Для определения потенциально опасных участков, где могла бы быть развернута единая система мониторинга, необходимо провести масштабные инженерно-геологические обследования с картированием оползневых тел и других опасных процессов.

Ред.: Как выстраиваются отношения с хозяевами земельных участков?



Октябрь 2018 г.



Апрель 2019 г.



Май 2019 г.

Рис. 2. Результаты визуальных наблюдений за деформациями буронабивных свай существующего противооползневого сооружения: 2018 г. – появились волосные трещины; апрель 2019 г. – ширина раскрытия трещин до 10 см; май 2019 г. – полное разрушение защитного слоя бетона, деформации арматурного каркаса

А.Г.: Оползневое тело распространяется независимо от кадастровых границ. Не каждый собственник земельного участка готов вести специализированные наблюдения. Не исключен вариант, когда владелец может запретить доступ специалистов на свою территорию для проведения мониторинга.

Государственные структуры, как правило, не имеют права реализовывать мероприятия за пределами вверенных им полос отвода. Такие действия расцениваются как нецелевое расходование

средств. Нередки случаи, когда заказчик вынужден строить дорогостоящие подпорные сооружения в границах полосы отвода для защиты автомобильной или железной дороги вместо реализации дешевых превентивных мероприятий, развернуть которые необходимо за пределами «законного» земельного участка.

Эта проблема особенно сильно обостряется, когда оползневое тело располагается на особо охраняемых природных территориях. Например, в Кавказ-



Рис. 3. Реализация системы мониторинга в 2013 году на 196-м километре автодороги А-147 (Джубга – Сочи)

ском биосферном заповеднике и в Сочинском национальном парке запрещено возведение капитальных сооружений.

Ред.: Кто и как должен заниматься мониторингом?

А.Г.: Предварительные результаты мониторинга можно получить минимум за 12 месяцев наблюдений, чтобы учесть все климатические события в течение года. Масштабная система мониторинга потребует многолетних наблюдений и привлечения большого числа специалистов. Только одно развертывание сети может занять месяцы, если не годы.

Для такой работы может быть заключен долгосрочный контракт со специализированной организацией.

Обычно контракты заключаются на год, продление договора не гарантируется. Затем привлекается следующая организация, которая иногда приступает к работам, не учитывая данные, полученные ранее.

Государственному заказчику можно пойти и другим путем: поручить задачу своим сотрудникам, которые будут аккумулировать, анализировать, систематизировать и сохранять все полученные сведения в единой базе данных. У специалистов, осуществляющих мониторинг, должны быть необходимые компетенции по интерпретации результатов.

Ред.: На что Вы обращаете внимание, когда следите за профессиональными новостями?

А.Г.: На то, какие приборы и технологии используются, кто это делает и где. Обычно мониторинг разворачивается в коммерческих целях или для отработки бюджета, выделенного на исследование. Однако все это «бег на короткие дистанции». Чтобы мониторинг был постоянным и масштабным, необходимо решение на государственном уровне. Надеюсь, что в каком-то виде такого решения мы дождемся.

Межведомственная государственная система мониторинга опасных геологических процессов позволила бы комплексно решать вопросы инженерной защиты территорий, невзирая на кадастровые границы, и экономить средства за счет применения более рациональных решений. **И**



<https://t.me/geoinfoweb>

Telegram-канал журнала

Независимый электронный журнал
ГеоИнфо

- Новости
- Статьи
- Обсуждения

Здесь может быть ваша
РЕКЛАМА



Рекламная статья в журнале – **35 000** 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 – **35 000** 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.

WWW.GEOINFO.RU



КАК КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ НАМЕРЕН ПРОЦВЕТАТЬ НА МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЕ

ЕРЕМЕЕВА МАРИЯ

Специальный корреспондент

АННОТАЦИЯ

В конце июня правительство РФ утвердило Положение о государственном фоновом мониторинге состояния многолетней (вечной) мерзлоты. На базе наблюдательной сети Росгидромета организуется сбор информации и составление мерзлотных карт.

Специалисты, чья работа связана с криолитозоной, давно обсуждают необходимость постоянного наблюдения за ней на государственном уровне, как было в советское время. Картами, сделанными в 1970-е годы, пользуются до сих пор, хотя многое на них уже не актуально. Последний раз карты обновлялись в 1990 году.

Многолетняя мерзлота в разных регионах России разная. Она может быть разной даже под соседними сооружениями. Это значит, что требуется обмен профессиональным опытом, а универсальных рецептов не будет. Об этом говорится на каждом научно-практическом мероприятии.

Незадолго до утверждения упомянутого выше положения в Красноярске состоялся двухдневный международный горно-геологический форум «Мингео Сибирь». В этой статье мы расскажем о проблемах, обсуждавшихся на одном из его пленарных заседаний «Криолитозона и геокриологические исследования при разведке и освоении месторождений; строительство предприятий и мониторинг многолетнемерзлых пород». Речь на этом заседании шла об особенностях Красноярского края, о наблюдениях за многолетней мерзлотой, о подготовке кадров, об инновациях и о сотрудничестве бизнеса и науки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

многолетняя мерзлота; деградация многолетней мерзлоты; мониторинг; Красноярский край; кадровая проблема; мерзлотоведы; целевое обучение; обмен информацией.

HOW THE KRASNOYARSK TERRITORY INTENDS TO PROSPER ON PERMAFROST

EREMEYEVA MARIYA
Special correspondent

ABSTRACT

At the end of June, the Russian government approved the Regulation on state background monitoring of permafrost. The collection of information and compilation of permafrost maps are organized on the basis of the observation network of the Federal Hydrometeorology and Environmental Monitoring Service.

Specialists whose work is related to the cryolithozone have long discussed the need for constant monitoring of the cryolithozone at the state level, as it was in Soviet times. Maps made in the 1970s are still used, although much is no longer relevant in them. Last time the maps were updated in 1990.

Permafrost in different regions of Russia is different. It can be different even under neighboring structures. This means that professional experience exchange is required, but there will be no universal recipes. This is discussed at every theoretical and practical event.

Shortly before the approval of the above-mentioned regulation, the “Mingeo Siberia” two-day international mining and geological forum was held in Krasnoyarsk. In this article, we will talk about the issues discussed at one of its plenary sessions called “Cryolithozone and geocryological studies during exploration and development of deposits; construction of enterprises and monitoring of permafrost grounds”. The discussion at this session was about the Krasnoyarsk Territory peculiarities, observations of permafrost, personnel training, innovations and cooperation between business and science.

KEYWORDS:

permafrost; permafrost degradation; monitoring; Krasnoyarsk Territory; personnel problem; permafrost experts; targeted training; information exchange.

Особенности региона ►

Красноярский край живет светлым будущим, которое наступит к 2035 году. Перспективы связаны с развитием Северного морского пути, строительством портовой инфраструктуры, продлением железнодорожной магистрали «Северный широтный ход».

Предположительный объем инвестиций составит 120 млрд руб., в том числе 80 млрд. руб. составят частные вложения недропользователей.

Все это будет способствовать повышению качества жизни в северных районах, в частности в Норильске, где накоплен ценный опыт обитания на многолетней мерзлоте и имеется много инноваций. По численности населения этот город (175 тыс. чел.), сопоставим с Мурманском (279 тыс. чел.) и Архангельском (350 тыс. чел.), но проигрывает им в транспортной доступности. Сюда добираются только по воздуху, причем достаточно загрязненному.

В России взят курс на формирование опорных городов и разработку мастер-планов для их социально-экономиче-

ского развития. В Красноярском крае четыре таких центра, образующих две агломерации: Норильск и Дудинка, Игарка и Диксон.

Развитие транспортного сообщения предполагает, что продукция из Норильска будет перевозиться в Дудинку и потом на переработку в Мурманск. В Игарке и Диксоне строятся новые нефтяные терминалы, будет развиваться аэропорт.

ПАО «НК «Роснефть» относит Игарку к числу ключевых городов для реализации инвестиционных проектов. Здесь обоснуется и ООО «Русский графит». До сих пор эта компания занималась только добычей и перевозила груз в Красноярск для дальнейшей переработки. Теперь производство перенесут в Игарку, а это означает создание рабочих мест, организацию вахтовой доставки людей, обеспечение их всем необходимым.

Открыть в том регионе свой офис и нарастить производственные мощности по переработке медной руды намерена также компания «Полиметалл».

К опорным территориям хотел бы примкнуть поселок Хатанга, для которого это принесет определенные привилегии. Данная перспектива откроется после 2030 года, когда начнется освоение там месторождений нефти и алмазов. Может быть, такой подарок будет сделан в 2026 году – к 400-летию поселения.

«Развивать северные территории – значит, преодолевать сложности, связанные со строительством объектов на многолетней мерзлоте, природно-климатическими условиями, логистикой. Стоимость новой школы в Хатанге и в Красноярске сильно различается. Мы ищем специалистов, которые владеют современными технологиями и помогут нам в решении задач», – прокомментировал руководитель Агентства по развитию северных территорий и поддержке коренных малочисленных народов Красноярского края Антон Нарчуганов.

В ближайшие 10 лет может быть продлена до Игарки и Дудинки железная дорога «Северный широтный ход» – ее свяжут с Северным морским путем.

Строить и жить в условиях многолетней мерзлоты невозможно без научного сопровождения, поэтому Красноярский край оплачивает исследования из своего бюджета и оперативно решает региональные задачи. Планируется создание Арктического центра мониторинга мерзлоты, как в Якутии, – а это уже другие возможности для финансирования и экспериментов на полуострове Таймыр.

Особенности мерзлоты ►

Директор Института мерзлотоведения Сибирского отделения РАН Михаил Железняк остановился на влиянии климата на мерзлоту и подчеркнул, что к холоду надо носиться как к ресурсу и использовать его.

Мерзлота всегда менялась и будет меняться, и нельзя связывать это только с потеплением. Как изменится климат, не знают даже климатологи. Их прогнозы – на самом деле смоделированные ситуации, предположения. Уверенно можно говорить лишь о климатических трендах.

И, несмотря на то что средняя температура воздуха в России, как и на всем земном шаре, повысилась, деградация многолетней мерзлоты наблюдается далеко не повсеместно. В некоторых районах ее вообще нет. При этом здания, возведенные на многолетней мерзлоте, не деформируются, если в мерзлотной толще грунта нет ни льда, ни воды. Если же где-то лед является породообразующим материалом и он таит, то наблюдаются значительные деформации сооружений.

Ученые давно обратили внимание на разнообразие криолитозоны и составили карты льдистости, без которых современное строительство немислимо. Технологий придумано много, однако универсальных не существует. Для каждого случая приходится подбирать что-то свое и, как правило, дополнительно совершенствовать. В Норильске, например, практикуют охлаждение грунтов под сооружениями. В Якутске придумали поднимать здания над поверхностью земли на сваях. Пространство под домами таким образом проветривается, температура там на два градуса ниже, чем в окружающей среде.

Хотя мерзлота постоянно меняется, она консервативна, то есть меняется медленно, поэтому у инженеров достаточно времени, чтобы придумать что-то новое. Профессиональных споров о том, как наблюдать и как строить, тоже достаточно. Нельзя пробурить одну скважину и по ней все узнать. При этом

большое значение имеет не количество точек наблюдений, а правильное их распределение – в разных геоморфологических, микроклиматических, ландшафтных условиях. В рамках Государственной системы фонового мониторинга состояния многолетней мерзлоты к 2025 году должно быть 140 пунктов наблюдений на всей территории российской криолитозоны. Некоторые ученые полагают, что хватило бы и гораздо меньшего количества, зато в правильных местах.

На климатические изменения реагируют леса. В среднем температура воздуха в районах распространения многолетней мерзлоты повысилась за последние 10 лет на 0,1–0,7 °С. По краям лесов она выше, а деревья разрастаются. За последние 50 лет тайга продвинулась на север примерно на 80–90 км в Якутии и на 120 км в Западной Сибири.

На интенсивность теплообмена влияют природные катаклизмы, например пожары, и вмешательство человека, например вырубка лесов (а восстанавливается лес очень медленно – только за 80 лет).

Ученые против раздачи бесплатных дальневосточных гектаров населению, потому что это не несет ничего хорошего ни природе, ни людям. Человек может получить участок, построить объект и через какое-то время оказаться на болоте из-за деградации многолетнемерзлых грунтов. В то же время эксперты готовы помочь приобретателям гектаров и постоянным жителям, если будет достаточно информации, полученной из государственной системы постоянного фонового и геотехнического мониторинга.

Особенности разведки бурением ►

Как сообщил профессор Института нефти и газа СФУ Владимир Кринин, в Красноярском крае имеется 195 лицензионных нефтегазоносных участков, на 43 идет добыча.

При этом разведка полезных ископаемых порой ведется с нарушениями, из-за чего наносится непоправимый вред природе. Случающиеся неуправляемые выбросы углеводородов приводят к растеплению и появлению целых искусственных озер вокруг скважин. Если же разведка велась с использованием взрывов, то на их местах неизбежно образуются карстовые воронки.

Скважины создаются в геологических, научно-исследовательских, строительных целях. Чтобы минимизировать ущерб, необходимо наносить на карту

места бурения, ликвидировать и консервировать скважины. Такая работа уже ведется на Таймыре.

Как считает аспирант Института цветных металлов СФУ Артем Ковалев, тема растепления в привязке к скважинам недооценена. А ведь это приводит к деформациям грунтов и зданий. Усугубляется проблема низкой геологической и геокриологической изученности районов, где запланированы большие стройки или добыча полезных ископаемых.

Большинство карт было сделано в 1970-х годах. Последний раз они обновлялись в 1990 году, многое на них утратило актуальность. Необходимо создавать новые крупномасштабные геокриологические карты с подробным описанием, тем более что в Красноярском крае теперь есть четыре опорных города. Много материалов для картирования уже собрано – остается их систематизировать с учетом запросов властей и бизнеса.

Проблема кадров – наше всё ►

Перспектива будущего для Красноярского края, таким образом, рисуется очень светлой. И закономерен вопрос, кто будет ее строить. Растет спрос на специалистов-мерзлотоведов, а их нет – вузы не готовы обучить их быстро и в большом количестве.

На международном горно-геологическом форуме «Мингео Сибирь», состоявшемся не так давно в Красноярске, прозвучали рекомендации о том, как решить кадровую проблему: брать абитуриентов из числа местных жителей на льготных условиях, повышать квалификацию инженеров на предприятиях, автоматизировать наблюдения за многолетней мерзлотой, искать новые технологии.

Заведующий кафедрой геокриологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова Анатолий Брушков рассказал, что его кафедра была создана 70 лет назад и остается единственным центром подготовки узких специалистов-мерзлотоведов. Всего здесь порядка 60 студентов и около 10 выпускников в год. Причем среди них много москвичей, которые остаются после окончания университета в столице или вообще уходят из профессии. Рациональней брать на целевое обучение ребят из Красноярского края, а еще лучше и дешевле обучать их в своем регионе – ведь авиабилет, например, из Хатанги в Москву стоит от 40 тысяч рублей в один конец.

Главный менеджер отдела экспертной поддержки геотехнического мони-

торинга ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» Павел Котов считает, что надо видеть в проблеме возможности. Количество промышленных объектов, где необходим постоянный геотехнический мониторинг, большое. К каждому не приставишь наблюдателя, поэтому используется все, что может заменить человека, – автоматический контроль, радарные исследования и др.

Промышленники накопили много опыта в отношении того, как успешно работать на многолетней мерзлоте, но им не хватает научного сопровождения. У ученых есть идеи в этой сфере, но не все предлагаемые ими технологии хорошо апробированы. Нужен заказчик, на чьей базе можно будет экспериментировать и совершенствовать приборы и технологии.

Для решения этих проблем должны работать в том числе такие форумы, как «Мингео Сибирь», – через деловые знакомства, обмен теоретической и практической информацией и разработку совместных проектов ради процветающего будущего на мерзлоте.

Выводы ▶

К арктическим регионам возвращается повышенное государственное внимание. В каждом регионе определены опорные города, куда будут направляться государственные и частные инвестиции. Для этого создается государственный фоновый мониторинг состояния многолетней мерзлоты в естественных условиях.

Красноярский край дополнительно финансирует научные исследования на

региональном уровне, чтобы оперативно решать соответствующие задачи. У ученых, как и у бизнеса, уже накоплено много опыта, но не хватает обмена информацией. Никто не будет делиться знаниями просто так, по звонку. Для этого необходимы деловые встречи на региональном и межрегиональном уровнях.

В ближайшее время вырастет потребность в специалистах-мерзлотоведах и в технологиях, снижающих участие человека в геотехническом мониторинге.

Лучше всего понимают проблемы, связанные с многолетней мерзлотой, люди, которые родились и выросли в местах ее распространения. Они относятся к холоду как к ценному ресурсу и знают, как использовать его для процветания их регионов. **и**

Независимый электронный журнал **ГеоИнфо**

**С 2022 года журнал «ГеоИнфо»
выходит в формате *PDF.
10 выпусков в год.**



WWW.GEOINFO.RU