

ГеоИнфо

Независимый электронный журнал

МАЙ • 05-2022



100+

TECHNO BUILD

IX Международный
строительный форум
и выставка

forum-100.ru

18-21 октября 2022
Екатеринбург



стать экспонентом

13 000
посетителей

235
экспонентов

500
спикеров

120
секций

25
стран

*показатели 2021 года

КОМПЛЕКСНЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ

- О значении инженерных изысканий в управлении качеством строительства** 6
- ЛЮ ЛИГО (LIU LIGUO)
Шаньдунский педагогический университет, г. Шаньдун, Китай
- ЧЖАН ЦАЙСЯ (ZHANG CAIXIA)
Цзинаньский колледж профессионально-технического обучения, г. Цзинань, Китай
- АНАЛИТИЧЕСКАЯ СЛУЖБА «ГЕОИНФО»

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

- Об оценке надежности характеристик грунтов, определяемых с помощью статического зондирования** 10
- БОЛДЫРЕВ ГЕННАДИЙ ГРИГОРЬЕВИЧ
Директор по научной работе и инновациям ООО НПП «Геотек», г. Пенза, Россия
- ООО НПП «ГЕОТЕК» | ПРОИЗВОДСТВО АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРИБОРОВ И КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ДИСПЕРСНЫХ И СКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
Генеральный спонсор «ГеоИнфо»
- В программе Rocscience SPillag появилась возможность работать с разрезами целиков** 16
- АНАЛИТИЧЕСКАЯ СЛУЖБА «ГЕОИНФО»
- ООО «СОВРЕМЕННЫЕ ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ» (ADVANCED SURVEY TECHNOLOGIES) – ОФИЦИАЛЬНЫЙ ПРЕДСТАВИТЕЛЬ КОМПАНИИ ROCSCIENCE В РОССИИ
- Когда можно считать реалистичной стратиграфическую модель площадки изысканий?** 20
- БОЛДЫРЕВ ГЕННАДИЙ ГРИГОРЬЕВИЧ
Директор по научной работе и инновациям ООО «НПП Геотек», г. Пенза, Россия

ЭКОЛОГИЯ. ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

- Производственный экологический мониторинг объектов размещения отходов. Ответы на актуальные вопросы** 24
- АНАЛИТИЧЕСКАЯ СЛУЖБА
- Предварительные археологические изыскания с помощью лидара, прикрепленного к дрону** 28
- БАЛЬСИ МАРКО (BALSI MARCO)
Римский университет Ла Сапиенца, г. Рим, Италия
- ЭСПОЗИТО САЛЬВАТОРЕ (ESPOSITO SALVATORE)
Компания Obep, г. Сассари, Италия
- ФАЛЛАВОЛЛИТА ПАОЛО (FALLAVOLLITA PAOLO)
Компания Obep, г. Сассари, Италия
- и др.

МЕХАНИКА ГРУНТОВ И ГЕОТЕХНИКА

- Стратегии строительства тоннеля методом НАМТ в элювиальных грунтах в г. Сан-Паулу (Бразилия). Часть 1** 36
- ОСВАЛЬДО П.М. ВИТАЛИ (OSVALDO P.M. VITALI)
Лильская высшая инженерная школа Университета Пердью (США)
- ТАРЦИСИО СЕЛЕСТИНО (TARCISIO V. CELESTINO)
Политехническая школа Сан-Карлос Университета Сан-Паулу
- АНТОНИО БОБЕТ (ANTONIO BOBET)
Лильская высшая инженерная школа Университета Пердью (США)

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

- Сравнение программных продуктов КРЕДО 3D СКАН и КРЕДО ФОТОГРАММЕТРИЯ** 48
- СЕРАФИМОВИЧ ГЛЕБ ВИКТОРОВИЧ
Инженер-геодезист Компании «КРЕДО-ДИАЛОГ»
- ГРОХОЛЬСКИЙ ДМИТРИЙ ВИКТОРОВИЧ
Ведущий аналитик геодезической платформы КРЕДО
- КУКАРЕКО ИВАН СЕРГЕЕВИЧ
Руководитель топогеодезического и кадастрового направления отделения по работе с клиентами Компании «Кредо-Диалог»

ИНЖЕНЕРНОЕ МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ

- Современные криоэкологические условия освоения рудного золотосурьмяного месторождения Кючус (Северо-Восточная Якутия)** 54
- ШАЦ МАРК МИХАЙЛОВИЧ
Ведущий научный сотрудник ФГБУН «Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова» СО РАН, к.г.н.

ПРИЛОЖЕНИЕ «ДИСКУССИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ИНТЕРВЬЮ»

- ТАТЬЯНА ВАСИЛЬЕВА: политика «Маккаферри» в области качества основана на «зеленом мышлении»** 62
- ТАТЬЯНА ВАСИЛЬЕВА
Директор компании «Маккаферри СНГ» по качеству

ГЕНЕРАЛЬНЫЕ СПОНСОРЫ ПРОЕКТА



ООО «ПЕТРОМОДЕЛИНГ»



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



Институт
экологического
проектирования
и изысканий

АО «ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИЗЫСКАНИЙ»



Maccaferri / ГАБИОНЫ МАККАФЕРРИ СНГ



ООО НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

ООО НПП «ГЕОТЕК»



Компания
Mountain Risk Consultancy

СПОНСОРЫ ПРОЕКТА



Геотехническая лаборатория
АО «МОСТДОРГЕОТРЕСТ»



НИЖЕГОРОДСТРОЙИЗЫСКАНИЯ

ООО «НИЖЕГОРОДСТРОЙИЗЫСКАНИЯ»



ООО «ГЕОИНЖЕРВИС» / FUGRO

EngGeo

Обработка и хранение результатов
инженерно-геологических
изысканий

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС «ENGGEO»



ПрогрессГео
ЛАБОРАТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

ООО «ПРОГРЕССГЕО»



НПО «ТЕРРАЗОНД»



ООО «КОМПАНИЯ «КРЕДО-ДИАЛОГ»

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ



Программный комплекс RosScience

ADVANCED SURVEY
TECHNOLOGIES

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



ООО «КБ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ»

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

ПРИБОРЫ КРИОЛОГИЧЕСКИЕ СЕРИИ СТАНДАРТ

ХИТ продаж

Прибор компрессионный криологический ГТ 1.1.11



Прибор срезной криологический ГТ 1.2.14



Прибор шариковый штамп криологический ГТ 1.6.2



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

ВОЗМОЖНОСТИ:

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

ПРИБОРЫ ОБЕСПЕЧИВАЮТ ПРОВЕДЕНИЕ СЛЕДУЮЩИХ ИСПЫТАНИЙ:

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

ПОЧЕМУ ВЫБИРАЮТ НАС



Высокое качество



Выгодная цена



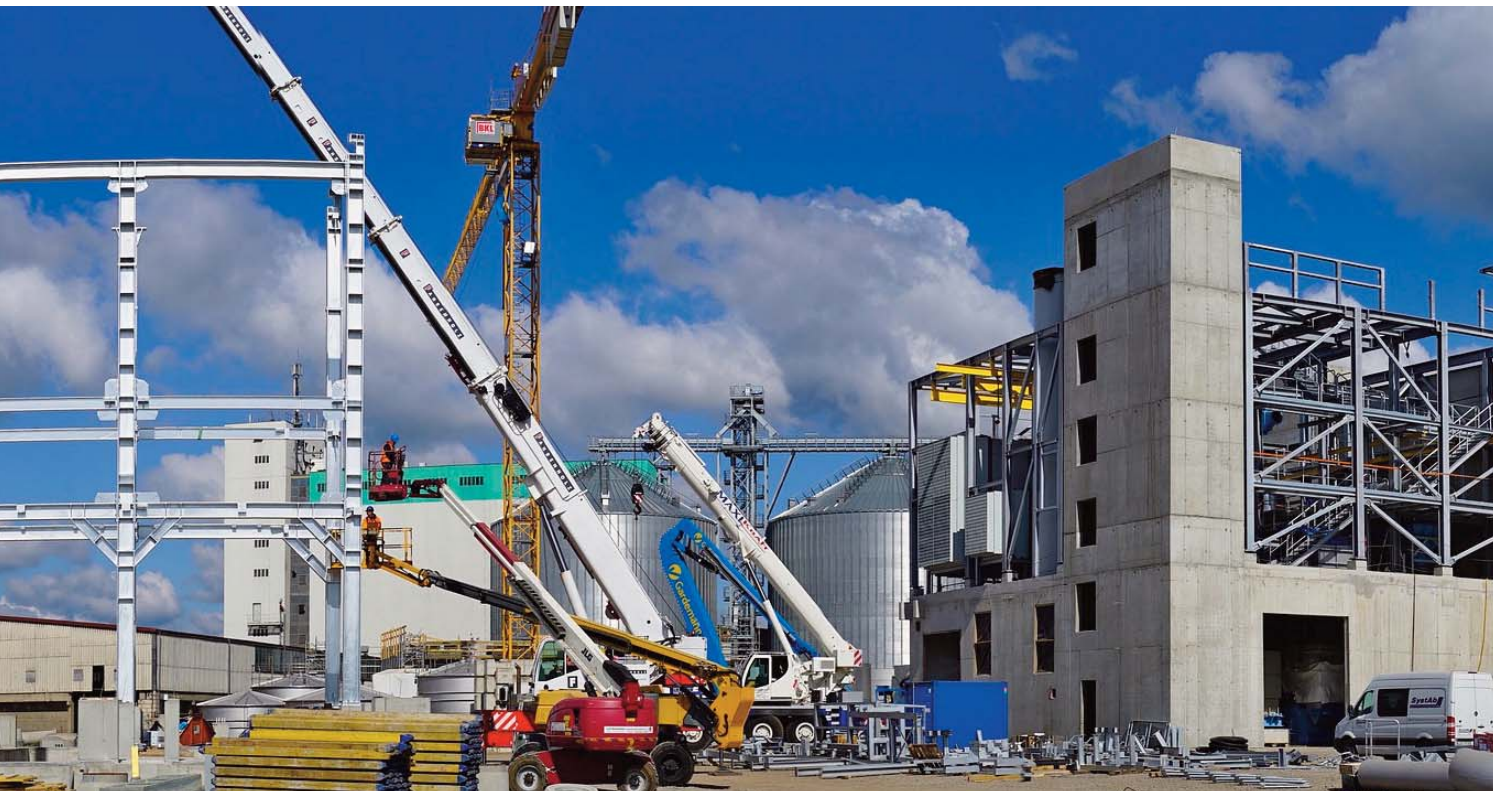
Надежный сервис



Экономия бюджета испытаний

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

* На правах рекламы



Заглавное фото: pixabay.com/ru/photos/промышленность-строительная-площадка-798642/

О ЗНАЧЕНИИ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ В УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ СТРОИТЕЛЬСТВА

ЛЮ ЛИГО (LIU LIGUO)

Шаньдунский педагогический университет, г. Шаньдун, Китай

ЧЖАН ЦАЙСЯ (ZHANG CAIXIA)

Цзинаньский колледж профессионально-технического обучения, г. Цзинань, Китай

АНАЛИТИЧЕСКАЯ СЛУЖБА «ГЕОИНФО»

info@geoinfo.ru

Предлагаем вниманию читателей сокращенный адаптированный перевод доклада «Анализ значения инженерных изысканий в управлении качеством строительства», который в 2019 году сделали китайские специалисты Лиго Лю и Цайся Чжан на Международной конференции по управлению, измерениям и обработке сигналов с помощью интеллектуальных систем. Он был опубликован в 2020 году в сборнике материалов конференций IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, выпускаемом издательской компанией IOP Publishing британского транснационального научного общества Institute of Physics (IOP). Указанная работа также находится в открытом доступе на сайте ResearchGate (представляющем собой европейскую академическую социальную сеть, направленную на продвижение результатов научных исследований) на основе лицензии Creative Commons Attribution 3.0 (CC BY 3.0). Эта лицензия разрешает неограниченное использование, распространение, воспроизведение, перевод и адаптирование публикации при условии правильной ссылки на первоисточник. В нашем случае эта ссылка приведена в конце.

Инженерные изыскания дают необходимую информацию для проектирования, но также являются важной технологией, используемой при управлении качеством последующего строительства. Этому и посвящена обзорная работа Лю и Чжана, дополненная некоторыми их предложениями.

Введение ►

Инженерные изыскания относятся к исследованиям, которые выполняются не только до (и при необходимости во время) проектирования, но и в процессе строительства, а также на этапе приемки возведенного объекта и даже при его последующей эксплуатации, когда приходится определять изменения в высотных отметках поверхности окружающего грунта и других его характеристиках, измерять точные положения различных точек фундамента, надфундаментных конструкций, окружающей застройки и другие параметры. Именно всесторонние и многоуровневые инженерные изыскания могут обеспечить эффективное управление качеством строительства, поэтому они играют здесь очень важную роль. Обзору связанной с этим информации и посвящена данная работа.

Инженерные изыскания для проектирования и строительства ►

При инженерных изысканиях изучаются инженерно-геологические и экологические условия района будущих работ, выполняется топографическая съемка, определяется местоположение строительной площадки и самого объекта, проводится их геодезическая разбивка, исследуется возможное воздействие строительства и возведенного объекта на прилегающие природные, жилые и другие районы и пр. Проводятся исследования, измерения, вычисления и анализ различных параметров, необходимых для проектирования, в том числе касающиеся объема, формы и несущей способности фундамента и надфундаментной части здания или сооружения. Изыскатели не только обеспечивают информацией разработку проекта, но и могут давать рекомендации по выбору подходящих методов проектирования, типа фундамента и т. д.

Но изыскания нужны и для управления качеством работ в процессе строительства на основе принятых проектных решений. Для этого с помощью измерительного оборудования необходимо отслеживать величины различных параметров, чтобы гарантировать их соответствие требованиям стандартов и самого проекта. При этом должна соблюдаться тесная связь с ежедневным ходом строительства. А для соблюдения высоких требований к точности необходимо ее контролировать, проводить измерения только после поверки и калибровки измерительного оборудования и

соблюдать следующий принцип: «сначала – в целом, потом – локально». Проверяются показатели свойств используемых материалов, качество соединений конструктивных элементов, размеры, направления главных, основных и вспомогательных осей, несущая способность смонтированных конструкций, выявляются деформации и напряжения в построенных элементах и во вмещающем фундамент грунтовой массиве, для чего измеряются высотные отметки, плановые координаты и усилия для различных точек строительного объекта, его основания, окружающего грунта и прилегающей к площадке застройки. В качестве контрольных точек для позиционирования используются другие объекты рядом с возводимым зданием или сооружением. Для максимальной возможной точности берутся средние значения результатов нескольких или множества измерений.

Что касается взаимосвязи между определением текущих параметров и ходом строительства, то тут существует множество неопределенных факторов. Например, земляные работы и размещение строительных материалов в процессе реализации проекта будут влиять на условия строительной площадки, иногда вызывая ошибки в данных. Поэтому необходимые характеристики и их возможные недопустимые отклонения от проектных значений должны контролироваться по ходу строительства постоянно.

После окончания реализации проекта измерения должны проводиться не менее обширно, тщательно и эффективно. На этом этапе они в основном касаются возможных деформаций возведенного объекта и окружающей застройки [1].

В соответствии с полученными параметрами при необходимости вносятся корректирующие изменения и готовится окончательная исполнительная техническая документация.

Еще раз о вкладе изысканий в управление качеством строительства ►

Важнейшей ролью инженерных изыскания является проведение мониторинга хода строительства с предоставлением необходимых данных для управления его качеством и для оптимизации управления всем строительным процессом в тесной связи с ежедневным ходом работ.

Для этого необходимо постоянно проводить измерения и исследования,

касающиеся грунтовых условий на строительной площадке, характеристик строительных материалов, состояния возводимого объекта и т. д.

При выборе строительных материалов и конструкций фабричного производства инженерно-технические специалисты могут оценивать такие их характеристики, как длина, ширина, высота, твердость и несущая способность, путем измерения необходимых параметров и их сравнения с требованиями проекта.

На этапах строительства фундамента, надфундаментной части объекта и ее отделки отслеживают необходимые параметры (размеры элементов, расположение точек и линий объекта, усилия, деформации и пр.), используя подходящие приборы, контролируя погрешности измерений и стараясь достигать максимально возможной точности [2].

Управление качеством должно основываться на контроле соответствия всех текущих параметров нормативным документам и проекту. То есть результаты измерений сравнивают с проектными данными, основанными на требованиях стандартов, и проверяют, находятся ли выявленные отклонения, если они есть, в допустимых диапазонах. В случае обнаружения неприемлемых деформаций или других нарушений качества строительства руководящему персоналу необходимо организовать устранение этих проблем путем своевременного внесения корректирующих изменений или даже переделок.

На рисунке представлена принципиальная схема управления качеством строительства.

Как добиться того, чтобы изыскания играли должную роль в управлении качеством строительства ►

Перед началом строительства изыскатели должны изучить различные проектные параметры, которые надо контролировать. Основное внимание при этом надо уделить расположению будущего объекта и окружающим условиям. Необходимо также отметить, что для строительного и управленческого персонала должна быть создана базовая трехмерная модель запроектированного здания или сооружения с указанием на ней необходимых параметров.

Чтобы изыскания играли надлежащую роль в управлении качеством строительства, первым шагом должен быть контроль позиционирования бу-

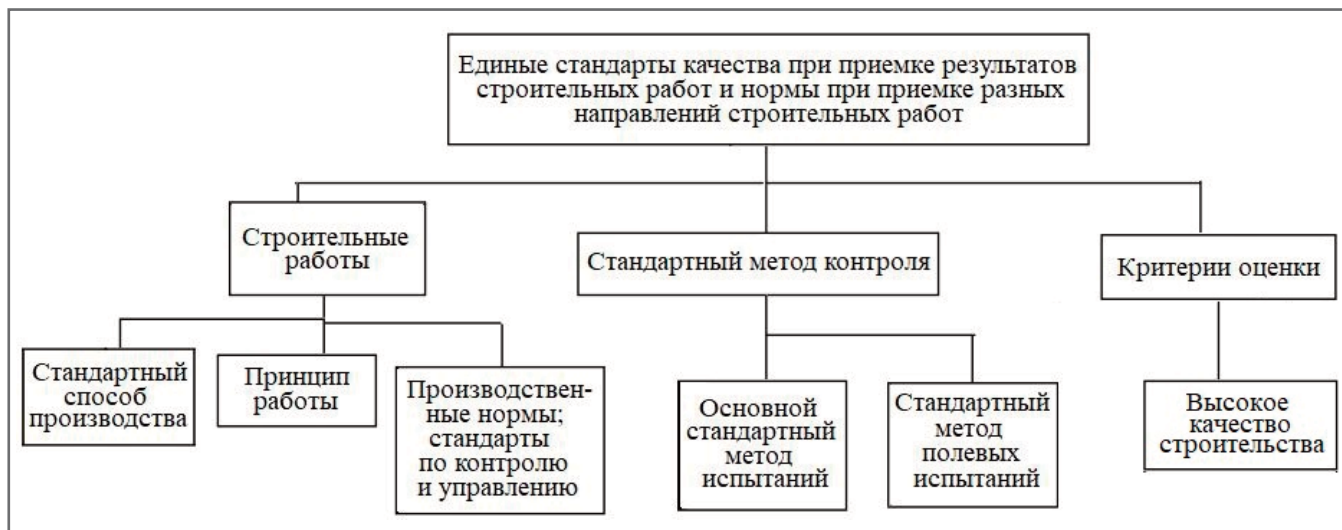


Рис. Принципиальная схема управления качеством строительства

дущего объекта и всех элементов фундамента, необходимой разметки точек, осей и размерных линий на площадке, положения будущих несущих конструкций [3].

В процессе инженерно-геодезических изысканий для измерения высот и вертикальности необходимо использовать горизонт прибора вместо реперной точки. Для определения местоположений в качестве реперов надо использовать марки на расположенных неподалеку зданиях или на других объектах.

Наиболее широко и интенсивно изыскания должны применяться при строительстве всех элементов той части фундамента, которая нужна для приема, распределения и передачи всех нагрузок от надфундаментной части грунтовому основанию и должна эффективно обеспечивать целостность, устойчивость и безопасность объекта. Необходимо получить данные по несущей спо-

собности и форме этой части, проверить параметры, количества и соотношения используемых материалов, строительных смесей и готовых конструкций (твердость, несущую способность и пр.) или поспособствовать их правильному выбору, в том числе с использованием компьютерных расчетов и анализа.

Затем выполняются обследования и измерения для контроля качества возведения надфундаментной части объекта, а после окончания строительства – для контроля качества при его приемке. В последнем случае необходимо точно измерить все проектные параметры – высоту, ширину, размеры элементов, углы возможных отклонений главных и основных осей, вероятные прогибы или перекосы внешней поверхности стен и их облицовки, а также другие деформации построенного здания или сооружения. Полученные результаты надо срав-

нить с проектными данными и со строительными стандартами, чтобы либо убедиться в высоком качестве построенного объекта, либо узнать об имеющихся проблемах, чтобы вовремя и правильно их решить [4].

Заключение ►

Инженерные изыскания необходимы не только для информационного обеспечения проектирования, но и для контроля качества строительства – при геодезической разбивке площадки, создании фундамента, возведении надфундаментной части объекта, последующей проверке качества при приемке построенного здания или сооружения. Однако, чтобы получить необходимые данные для эффективного управления качеством, надо правильно выбрать оборудование и методы для измерения различных параметров, требующих контроля. **и**

Источник для сокращенного адаптированного перевода ►

Liu L., Zhang C. Analysis of importance of engineering survey in construction engineering quality management: report at the International Conference on Intelligent Control, Measurement and Signal Processing (ICMSP), 27–29 December 2019, Xian, China // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (MSE). 2020. Vol. 799. № 1. P. 012002. DOI: 10.1088/1757-899X/799/1/012002. URL: researchgate.net/publication/341493472_Analysis_of_Importance_of_Engineering_Survey_in_Construction_Engineering_Quality_Management.

Список литературы, использованной авторами представленного доклада ►

1. Chen Jingjing. Analysis of the importance of engineering measurement in construction quality management // Science and Technology Innovation Guide. 2017. Vol. 34.
2. Sun Liye. On the importance of engineering survey in construction quality management // World Nonferrous Metals. 2017. Vol. 4. P. 203–204.
3. Zhang Youlin, Cao Zhen. Engineering survey and error control analysis in construction // Agricultural Staff. 2019. Vol. 2Z. P. 228.
4. Chen Jianxing. Analysis and discussion on the application of digital mapping technology in geological engineering survey // Proceedings of the Academic Conference on Construction Technology and Management. 2018.



Институт
экологического
проектирования
и изысканий

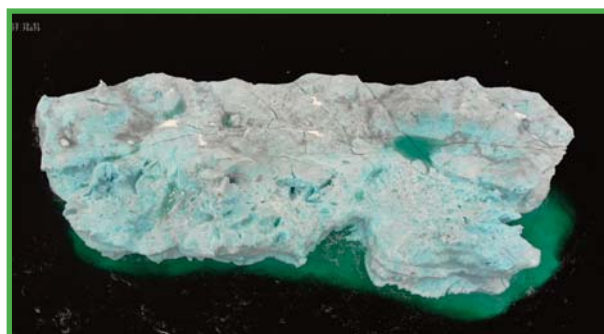
- Информационное сопровождение управления ледовой обстановкой (ИСУЛО)
- Оперативный спутниковый экологический мониторинг
- Производственный экологический мониторинг
- Программы сохранения биоразнообразия

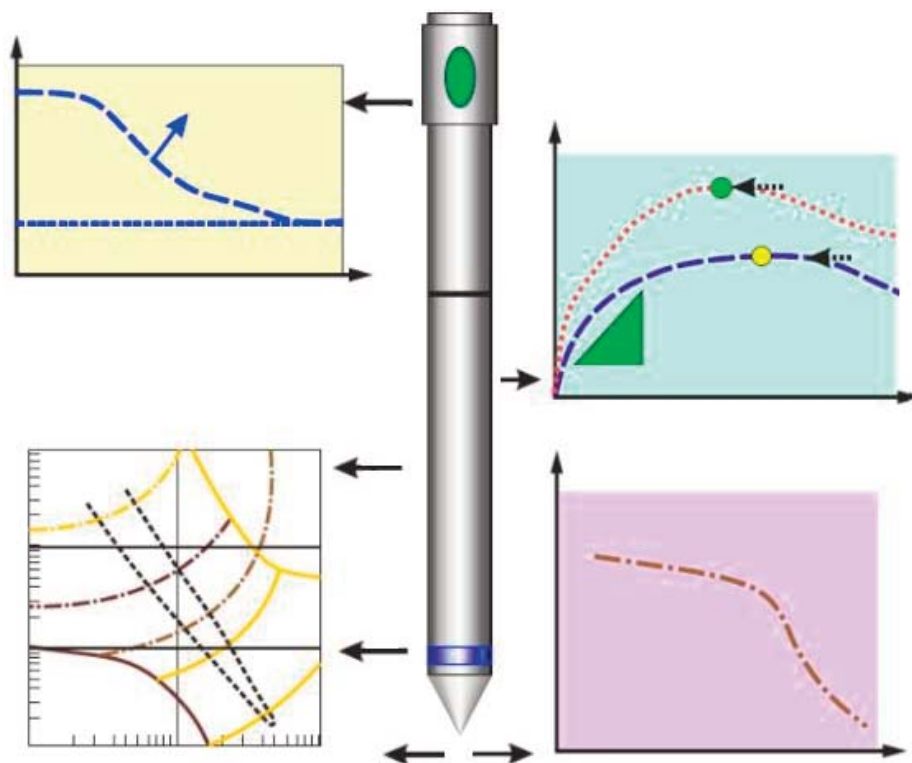


119234, г. Москва,
Ленинские горы, д. 1, стр. 75Г
Телефон: +7 (495) 930-8751
E-mail: info@iepi.ru

WEB: WWW.IEPI.RU

®  Институт экологического проектирования и изысканий ИЭПИ зарегистрированный товарный знак





Заглавный рисунок: geoinfo.ru/product/boldyrev-gennadij-grigorevich/k-voprosu-ispolzovaniya-informacionnyh-sistem-pri-izyskaniyah-i-proektirovanii-osnovanij-fundamentov-zdaniij-i-sooruzhenij-42530.shtml

ОБ ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ С ПОМОЩЬЮ СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

БОЛДЫРЕВ

ГЕННАДИЙ ГРИГОРЬЕВИЧ

Директор по научной работе и инновациям ООО НПП «Геотек», г. Пенза, Россия
g-boldyrev@geotek.ru

ООО НПП «ГЕОТЕК» |
ПРОИЗВОДСТВО
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ
ПРИБОРОВ И КОМПЛЕКСОВ
ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ДИСПЕРСНЫХ
И СКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ С ЦЕЛЬЮ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ
МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Генеральный спонсор «ГеоИнфо»
info@npp-geotek.ru

Представляем вниманию читателей выборочный обзор материалов статьи «Анализ надежности измерений методом СРТ для расчета прочности на сдвиг в недренированных условиях» [2], опубликованной в 2011 году в журнале по геотехническим испытаниям *Geotechnical Testing Journal*, а также на сайте *ResearchGate*, представляющем собой европейскую академическую социальную сеть, направленную на продвижение результатов научных исследований. Авторы указанной работы – специалисты из США Халид Альшибли (Университет штата Луизиана), Айман Окейл (Университет Теннесси), Башар Альрамахи (компания *ExxonMobil*) и Чжунцзе Чжан (Департамент качества окружающей среды Луизианы).

Испытания методом статического зондирования (СРТ) широко используются для классификации грунтов и измерения сопротивления грунта сдвигу в недренированных условиях S_v . В то же время недренированная прочность S_u оценивается по данным испытаний методом вращательного среза (лопастного среза, крыльчаткой) – VST. В этом обзоре сравниваются значения S_v , полученные с использованием методов СРТ и VST. При калибровке формулы для величин S_v , получаемых с помощью СРТ, использовался метод надежности первого порядка с учетом всех источников неопределенности. Были рассчитаны оптимальные (для различных целей) значения коэффициента статического зондирования N_{kr} необходимого для вычисления S_v . Было определено, что классификация грунтов является единственным аспектом, который четко влияет на оценки недренированной прочности по результатам СРТ. На основе двух разных классификаций были определены значения N_{kt} для каждого типа грунта для трех целевых уровней надежности. Это показало, что коэффициент N_{kt} для грунтов с более высоким содержанием глины ниже, чем для грунтов с меньшим ее содержанием.

Введение ▶

Свою статью [2] Халид Альшибли с соавторами начинают с напоминания о том, что прочность грунтов на сдвиг является ключевым параметром для решения многих геотехнических задач. Стандартные методы ее определения можно разделить на лабораторные испытания (на трехосное сжатие, одноосное сжатие, одноплоскостной срез и пр.) и полевые испытания (динамические пенетрационные конусным зондом (DCPT), на лопастной срез (VST), плоским штампом (PLT), статические на внедрение конуса (CPT), динамические стандартные пенетрационные (SPT) и др.).

Полевые методы по сравнению с лабораторными, как правило, обеспечивают быстрые и надежные определения сдвиговой прочности. Однако все они, за исключением VST, являются косвенными и основаны на эмпирической оценке результатов измерений.

За последние годы перед выходом статьи [2] для определения характеристик грунтов в полевых условиях приобрел популярность метод CPT как быстрый, недорогой и довольно точный. Это объясняется его способностью проводить измерения почти непрерывно с гораздо более высоким разрешением результатов, чем стандартные лабораторные испытания образцов грунта. Данные, полученные с помощью CPT, могут быть использованы для классификации грунтов, позволяют определять их прочность на сдвиг, оценивать их сжимаемость, проницаемость и другие свойства.

Об определении недренированной сдвиговой прочности грунтов методом CPT ▶

Как указывают Альшибли и др. [2], поскольку статическое зондирование является косвенным методом, при определении с его помощью свойств грунтов используются эмпирические корреляции между измеряемыми параметрами (лобовым сопротивлением, силами трения, поровым давлением, скоростью поперечных волн, боковыми напряжениями, температурой в зависимости от типа используемого зонда) и результатами лабораторных испытаний на прочность и сжимаемость (на одноплоскостной срез, компрессионных, на трехосное сжатие).

Многие исследователи, на которых ссылаются Альшибли с соавторами [2], пытались разработать надежные корреляции между прочностью связных грунтов на сдвиг и параметрами, полученными с помощью испытаний зондиро-

ванием. Некоторые из корреляций были основаны на теоретических решениях (с использованием теории пластичности, метода расширения полости, метода траектории деформации, численных методов с применением линейных и нелинейных моделей грунта). Другие разрабатывались эмпирически – путем сравнения данных CPT и результатов лабораторных испытаний. Например, недренированная прочность на сдвиг S_u выражается следующим образом:

$$S_u = \frac{q_c - \sigma}{N_c}, \quad (1)$$

где q_c – измеренное сопротивление грунта под конусом (лобовое); N_c – теоретический показатель; σ – напряжение от собственного веса грунта (в зависимости от используемой теории для вычисления N_c , параметр σ может быть вертикальным напряжением σ_{vo} , горизонтальным напряжением σ_{ho} или представлять собой среднее значение σ_{mean}).

Лунн (Lunne) с соавторами (1997), на которых ссылаются Альшибли и др. [2], предложили для оценки недренированной прочности такую зависимость:

$$S_u = \frac{q_c - \sigma_{vo}}{N_k}, \quad (2)$$

где N_k – показатель, который учитывает влияние формы конуса и глубину (например, типичные значения N_k для нормально уплотненных глин находятся в диапазоне от 11 до 19).

Позднее формула (2) была модифицирована и получила следующий вид:

$$S_u = \frac{q_t - \sigma_{vo}}{N_{kt}}, \quad (3)$$

где q_t – скорректированное лобовое сопротивление; N_{kt} – показатель, значение которого зависит от типа конуса, полевых условий, скорости пенетрации в полевых условиях и от лабораторного метода испытаний (по данным большинства доступных источников, величина N_{kt} изменяется от 10 до 30).

О сборе данных CPT и их обработке ▶

Альшибли с коллегами [2] подчеркивают, что при выборе мест проведения испытаний методом CPT и скважин для отбора образцов грунта с целью проведения их лабораторных исследований очень важно установить приемлемые критерии для того, чтобы считать одинаковыми свойства грунтов в точках применения этих двух методов (по крайней мере на момент публикации статьи [2] не существовало опубликованных ин-

струкций, устанавливающих пределы расстояний между этими точками). Расстояние между местами выполнения статического зондирования и скважинами составляло, по данным из доступных источников (архивных проектно-изыскательских материалов, баз данных, публикаций и пр.), от 0,3 до 562 м. Иногда рядом с точками CPT располагалось более одной скважины, и тогда требовалась весовая функция. В том числе для учета близости мест расположения скважин и точек CPT предлагалось использовать весовую функцию $1/D$. Средневзвешенное лобовое сопротивление q при количестве скважин n , расположенных на расстояниях $D_1, D_2, \dots, D_i, \dots, D_n$ от мест статического зондирования, может быть выражено следующим образом:

$$q = \sum_{i=1}^n q_i \left(\frac{\sum_{j=1}^n D_j - D_i}{\sum_{j=1}^n D_j} \right). \quad (4)$$

Для иллюстрации Альшибли с соавторами [2] рассматривают сценарий для двух скважин на расстояниях $D_1 = 10,6$ м и $D_2 = 33,5$ м от точек CPT. В этом случае получится следующее средневзвешенное значение лобового сопротивления:

$$q = 0,7586q_1 + 0,2414q_2. \quad (5)$$

Альшибли и др. [2] напоминают, что измеренные параметры статического зондирования «скачут» из-за многих факторов. Одним из таких факторов является, например, то, что показания CPT снимаются почти непрерывно, то есть с очень малыми интервалами по глубине (часто менее 20 мм). Поэтому анализ, основанный на точно измеренных таким путем данных, может привести к ненужному разбросу. В результате выполняется усреднение данных статического зондирования по глубине (как это, собственно, происходит и при лабораторных испытаниях образцов ощутимых размеров). Обычно усреднение выполняется по интервалам глубины 200 мм.

На рисунках 1, а и б показаны представленные авторами статьи [2] исходные данные CPT и те же результаты после усреднения по интервалам 200 мм соответственно. Видно, что после усреднения локальные «всплески» практически устраняются без потери общей тенденции.

Альшибли с соавторами [2] напоминают, что природные грунты имеют ярко выраженную изменчивость свойств. При

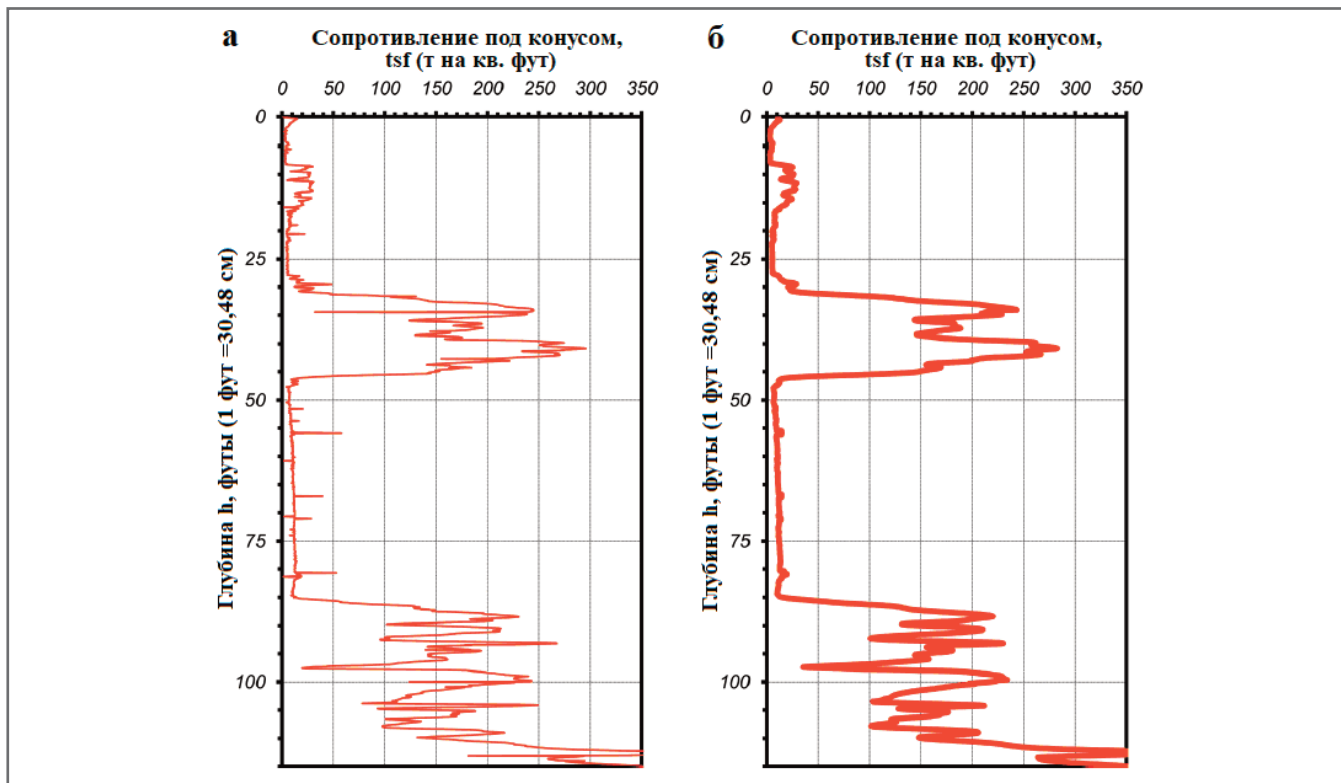


Рис. 1. Пример, показывающий результат усреднения данных СРТ: а – лобовое сопротивление при измерениях через каждые 20 мм; б – те же данные после усреднения по интервалам в 200 мм (по [2])

этом величины их показателей находятся в ограниченном диапазоне, хотя он и может быть достаточно широким. Значения параметров за пределами этого диапазона могут быть исключены из анализа. Например, чрезвычайно низкие результаты по недренированной прочности на сдвиг S_u указывают на очень слабые связные (как правило, органоминеральные) грунты, но эти данные трудно проверить в обычной лаборатории и они во многих случаях не отражают реальных грунтовых условий. А высокие значения S_u обычно приписываются очень жестким глинам, для которых колебания показаний по лобовому сопротивлению могут быть чрезмерными, что приводит к ненадежным оценкам по данным СРТ. Поэтому для выполнения последующих анализов авторы статьи [2] решили установить ограничения для диапазона значений S_u и исключили из собранной ими по доступным источникам базы данных величины, превышающие порог в 119,7 кПа и опускающиеся ниже 7,18 кПа.

Об оценке неопределенности свойств грунтов ▶

Альшибли с коллегами [2] рассказывают, что существует два основных подхода к оценке неопределенностей в свойствах грунтов.

1. При первом подходе неопределенности разделяются на их основные ис-

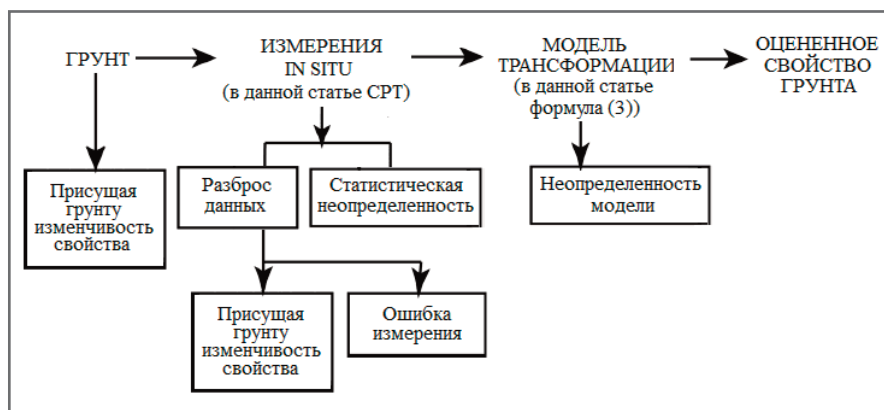


Рис. 2. Источники неопределенностей при оценке свойств грунтов (по [2], Kulhawy, 1992)

точники, каждый из которых исследуется методически рациональным способом. Основными источниками неопределенностей для решения геотехнических задач являются: природная изменчивость грунтов; ошибки измерений; неопределенность, присущая используемым формулам (моделям преобразований). На рисунке 2, представленном авторами статьи [2], показана схема этих источников. Некоторые специалисты, на которых ссылаются Альшибли и др. [2], использовали этот подход для своих геотехнических проектов.

2. При втором подходе, наоборот, исследования надежности геотехнических проектов проводятся путем оценки поведения зданий и сооружений, а не на уров-

не свойств грунта. В этом случае поведение строительных объектов изучается путем сравнения результатов аналитических решений (по осадке, крену) при различной степени изменчивости характеристик грунтовых оснований. Этот подход помогает при проведении инженерно-геологических изысканий в преодолении сложности и нехватки информации из-за малой изученности свойств грунтов.

Одним из выявленных источников неопределенностей, как указывают авторы статьи [2], ссылаясь на других авторов, являются погрешности, присутствующие измерительному оборудованию. Это должно учитываться при анализе надежности, составляющем основу для корреляции результатов измерений ме-

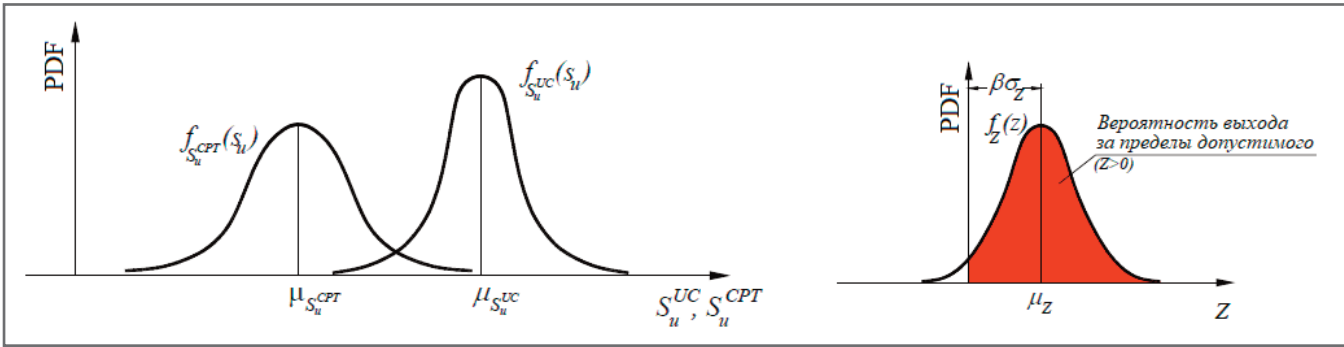


Рис. 3. Иллюстрация для функции предельного состояния для общего случая (PDF – функция плотности вероятности, или плотность распределения вероятности). Пояснения приведены в тексте (по [1–3])

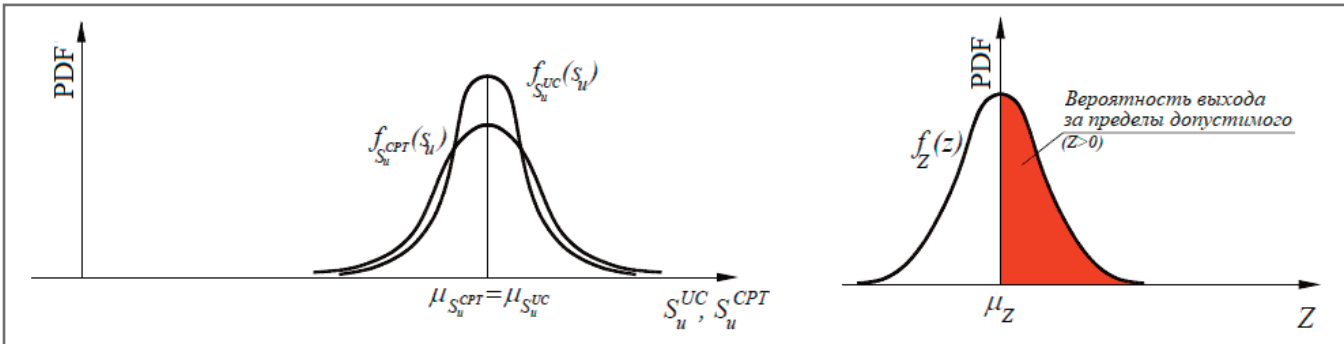


Рис. 4. Иллюстрация для функции предельного состояния для частного случая, когда калибровка модели преобразования приводит к равным средним значениям прочности на сдвиг для двух методов (PDF – функция плотности вероятности, или плотность распределения вероятности). Пояснения приведены в тексте (по [1–3])

тодом СРТ. Альшибли и др. [3] ранее исследовали изменчивость этих результатов путем проведения 16 испытаний в непосредственной близости друг к другу до глубины 24,4 м. Они провели анализ надежности для определения коэффициента вариации COV лобового сопротивления, а также удельного веса грунта γ и напряжения от собственного веса грунта σ_{vo} . Было показано, что $COV(q_c)$ выше по сравнению с $COV(\gamma)$ и $COV(\sigma_{vo})$ (иногда на величину до 40%). В среднем $COV(q_c)$, $COV(\gamma)$ и $COV(\sigma_{vo})$ составляют 19,6; 1,46 и 0,51% соответственно. Эти параметры были включены авторами работы [2] в описываемый далее анализ надежности результатов СРТ.

Об анализе надежности СРТ ►

По идее, как отмечают Альшибли с коллегами [2], оценки прочности на сдвиг S_u , полученные при лабораторных испытаниях образцов из скважин на одноосное сжатие в недренированных условиях (обозначенные на рисунке 3 индексом UC) и на основе полевого статического зондирования (обозначенные на рисунке 3 индексом СРТ), должны быть одинаковыми. Но в реальности неизбежна разница Z между этими случайными величинами. Если оценки US больше оценок СРТ, то это приемлемо

(см. рис. 3, а). Если же наоборот, то неприемлемо. Это относится и к средним значениям этих оценок (если соблюдается зависимость (3), то разница будет приемлемой), которые обозначены на рисунке 3 греческой буквой μ с соответствующими индексами.

Но то же самое можно представить и с помощью функции предельного состояния (LSF), которая является границей между приемлемыми и неприемлемыми результатами, представляя собой разницу Z и также являясь случайной величиной (рис. 3, б). Она позволяет выполнить анализ надежности данных СРТ. Закрашенная область на рисунке 3, б соответствует вероятности того, что результаты US будут больше таковых для СРТ. Чем больше эта область, тем надежнее оценки СРТ (в каждом конкретном примере).

Косвенной мерой вышеуказанной закрашенной площади является расстояние от среднего значения μ_Z до начала координат, которое может быть представлено как кратность стандартного отклонения σ_Z . Этот множитель определяется как индекс надежности β . Чем он выше, тем выше вероятность P_e для превышения значений СРТ по сравнению с UC.

В частном случае, когда калибровка модели преобразования (например,

формулы (3)) приводит к равным средним значениям прочности на сдвиг для двух методов (рис. 4, а), вероятность превышения P_e будет равна 50% (рис. 4, б). Следовательно, соответствующий индекс надежности β будет равен нулю, что будет одним из целевых уровней надежности в данном примере [1–3].

Оценка надежности, проведенная в исследовании [2], была основана на функции предельного состояния, описанной выше. Но оценка прочности на сдвиг по данным СРТ (S_u^{CPT}) была заменена моделью преобразования (3), используемой для получения значений S_u^{CPT} . Это позволило учесть неопределенности, присущие исходным показаниям СРТ, а именно параметрам q_c и σ_{vo} .

Следующие уравнения, приведенные авторами статьи [2], показывают детали для функции предельного состояния Z :

$$Z = S_u^{UC} - S_u^{CPT}; \quad (6a)$$

$$Z = \gamma S_u^{UC} - \xi \left[\frac{\eta q_c - \sigma_{vo}}{N_{kr}} \right]. \quad (6b)$$

Уравнение 6, б является расширенной версией, в которой S_u^{UC} заменяется

на γS_u^{CU} , где γ – случайная величина, учитывающая неопределенность, присущую свойствам грунта, а значение S_u^{UC} принимается за детерминированное, представляющее рассматриваемый грунт. Случайные величины ξ и η отражают неопределенности в модели преобразования и измеренном лобовом сопротивлении соответственно.

В исследовании [2] для соотношения между оценками прочности на сдвиг по данным СРТ и по результатам лабораторных испытаний рассчитывались систематическая ошибка (смещение λ_ξ) и коэффициент вариации $COV(\xi)$ с помощью среднего значения и стандартного отклонения:

$$\lambda_\xi = \text{среднее} \left(\frac{S_u^{CPT}}{S_u^{LC}} \right); \quad (7)$$

$$COV(\xi) = \frac{\text{станд. отклонение} \left(\frac{S_u^{CPT}}{S_u^{LC}} \right)}{\text{среднее} \left(\frac{S_u^{CPT}}{S_u^{LC}} \right)} = \frac{\sigma_\xi}{\lambda_\xi}. \quad (8)$$

Для последующего исследования надежности в дополнение к статистическим дескрипторам λ и COV требовалось определить тип статистического распределения.

Случайные величины могут быть описаны с использованием различных распределений. Выбор того или иного из них основан на его наилучшем соответствии собранным данным. Для оценки этого соответствия можно использовать множество статистических тестов. В исследовании [2] использовался критерий χ^2 («хи-квадрат»). Случайные величины были протестированы для двух возможных типов распределений, а именно нормального и логнормального.

Калибровка коэффициента N_{kt} для данных СРТ проводилась авторами работы [2] с использованием функции предельного состояния Z . Цель состояла в определении значений, приводящих к желаемым уровням надежности, которые измерялись с точки зрения индекса надежности β – соотношения между средним значением Z и его стандартным отклонением:

$$\beta = \frac{\mu_Z}{\sigma_Z}. \quad (9)$$

Индекс надежности β связан с вероятностью превышения P_e следующим образом:

$$P_e = \Phi(\beta), \quad (10)$$

где $\Phi(\beta)$ – кумулятивная функция рас-

Таблица 1. Диапазон параметров, охваченный в исследовании надежности в работе [2]

Параметр		Диапазон
Коэффициент СРТ (N_{kt})		12, 15, 18, 21, ..., 39, 42, 45, 48
Отношение σ_{vo}/q_c		0,05, 0,10, 0,20, 0,50, 0,80, 0,90
Классификация грунта	Robertson, 1990	2, 3, 4, 5
	Zhang and Tumay, 1999	> 75%, 50–75%, 25–50%, < 25%

Таблица 2. Значения N_{kt} , рекомендуемые для классификации Робертсона (Robertson, 1990)

Вероятность превышения	Величины N_{kt} для разных классификаций грунтов			
	все	2	3	4
50% ($\beta_T = 0,0$)	27,5	18,6	26,2	30,9
55% ($\beta_T = 0,1257$)	31,1	21,0	28,6	34,3
66,7% ($\beta_T = 0,4308$)	42,0	28,5	35,7	45,0

Таблица 3. Значения N_{kt} , рекомендуемые для классификации Чжана и Тумая (Zhang, Tumay, 1999)

Вероятность превышения	Величины N_{kt} для разных классификаций грунтов (глин)				
	все	> 75%	50–75%	25–50%	< 25%
50% ($\beta_T = 0,0$)	27,5	26,9	25,3	28,8	31,5
55% ($\beta_T = 0,1257$)	31,1	30,0	29,3	32,5	35,3
66,7% ($\beta_T = 0,4308$)	42,0	38,4	39,3	45,2	50,1

пределения для функции предельного состояния Z .

Индекс надежности β оценивался для каждого из 672 рассмотренных авторами статьи [2] случаев:

$$(14 \text{ значений } N_{kt} \times 4 \text{ типа грунта} \times 6 \text{ соотношений } \sigma_{vo}/q_c \times 2 \text{ метода классификации} = 672). \quad (11)$$

Отношение бытового давления к лобовому сопротивлению σ_{vo}/q_c учитывалось при анализе надежности потому, что результаты должны охватывать широкий спектр возможностей (в проектном пространстве). В работе [2] во всех случаях для вычисления величины β использовался метод надежности первого порядка (FORM), основанный на разложении функции предельного состояния в ряд Тейлора первого порядка, который аппроксимирует поверхность разрушения касательной плоскостью в интересующей точке.

В таблице 1 представлен диапазон параметров, охваченный в исследовании надежности авторами статьи [2]. В таблицах 2 и 3 перечислены рекомен-

дуемые значения коэффициента конусного зонда N_{kt} в зависимости от типа грунта и вероятности превышения P_e .

Основные выводы ►

Для проведения анализа надежности измерений методом СРТ авторами работы [1] был использован метод надежности первого порядка (FORM), который учитывает все основные источники неопределенностей (свойства грунта, измерительные устройства, модель преобразования) для калибровки коэффициента конусного зонда N_{kt} , дающей возможность достигнуть необходимых уровней надежности. Выполненный в исследовании [2] анализ надежности дал значения N_{kt} , равные 27,5; 31,1 и 42,0, для целевых значений индекса надежности β_T , равных 0 (0%); 0,1257 (55%) и 0,4308 (66,7%) соответственно, если не учитывалась классификация грунта. Также были определены значения N_{kt} на основе двух разных классификаций, оптимальные для каждого типа грунта для трех целевых уровней надежности. Это в том числе показало, что значения N_{kt} для грунтов

с более высоким содержанием глины ниже, чем при меньшем ее содержании.

Было определено, что классификация грунта является единственным аспектом, который четко влияет на оценки недренированной прочности по

результатам СРТ. То есть использование единого значения N_{kt} для всех типов грунтов является неоправданным, поскольку это приведет к приемлемым результатам для одних грунтовых условий и к неприемлемым для других. **и**

Список литературы, использованной авторами статьи [2], можно посмотреть по адресу: [researchgate.net/publication/260228707_Reliability_Analysis_of_CPT_Measurements_for_Calculating_Undrained_Shear_Strength](https://www.researchgate.net/publication/260228707_Reliability_Analysis_of_CPT_Measurements_for_Calculating_Undrained_Shear_Strength).

Источники ▶

1. Alshibli Kh.A., Okeil A.M., Alramahi B. Update of correlations between cone penetration and boring log data. Louisiana, USA: Louisiana Transportation Research Center, 2008. 147 p.
2. Alshibli Kh.A., Okeil A.M., Alramahi B., Zhang Z.J. Reliability analysis of CPT measurements for calculating undrained shear strength // Geotechnical Testing Journal. 2011. Vol. 34. № 6. P. 721–729. DOI:10.1520/GTJ103771. URL: [researchgate.net/publication/260228707_Reliability_Analysis_of_CPT_Measurements_for_Calculating_Undrained_Shear_Strength](https://www.researchgate.net/publication/260228707_Reliability_Analysis_of_CPT_Measurements_for_Calculating_Undrained_Shear_Strength).
3. Alshibli Kh.A., Okeil A.M., Alramahi B., Zhang Z.J. Statistical assessment of repeatability of CPT measurements // Contemporary Topics in In Situ Testing, Analysis, and Reliability of Foundations / M. Iskander, D. Laefer, M. Hussein (eds.). USA: ASCE, 2009. GSP № 186. P. 87–94.

Независимый электронный журнал ГеоИнфо

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



WWW.GEOINFO.RU



Заглавное фото: [3]

В ПРОГРАММЕ ROCSCIENCE SPILLAR ПОЯВИЛАСЬ ВОЗМОЖНОСТЬ РАБОТАТЬ С РАЗРЕЗАМИ ЦЕЛИКОВ

АНАЛИТИЧЕСКАЯ СЛУЖБА
«ГЕОИНФО»
info@geoinfo.ru

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

Компания Rocscience, основанная в 1996 году на базе Университета Торонто в Канаде, является одним из мировых лидеров по разработке, усовершенствованию и распространению 2D и 3D программного обеспечения для инженеров-строителей, горных инженеров, инженеров-геологов и геотехников. На сайте данной компании недавно появилась заметка Анжелы Ли (Angela Li) «Введение в программу Rocscience SPillar возможности работать с разрезами целиков» [5]. Предлагаем вниманию читателей ее адаптированный перевод с привлечением дополнительных материалов.

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

Введение ►

SPillar представляет собой быстрый и простой в использовании интерактивный программный инструмент от компании Rocscience для анализа поведения и оценки устойчивости потолочных (поверхностных) или междуэтажных (подземных) целиков, то есть не извлекаемых частей грунтовых массивов, предназначенных для обеспечения устойчивости и герметичности выработок и предотвращения прорыва в них подземных вод (рис. 1). Эта программа основана на методах предельного равновесия и конечных элементов и поддерживает три различных подхода – анализа жесткой, упругой и сводчатой (в условиях отсутствия напряжений) поверхности. Также существует возможность выбора детерминированного или вероятностного анализа [2, 5, 8].

Ранее в программу SPillar была введена возможность создания и анализа жестких полигональных целиков, что позволило задавать любую форму целика с помощью таблицы координат. Это отнимало много времени и затрудняло визуализацию геометрии, поскольку отсутствовало специализированное 2D представление с интерактивными графическими компонентами.

Последние версии SPillar дают возможность создавать, просматривать и редактировать 2D разрезы целиков, для которых необходим анализ, а также включают несколько инструментов импорта и аннотирования для упрощения определения геометрии полигональных целиков и назначения материала несущих структур.

Новые возможности для работы с разрезами целиков и их преимущества ►

Используя опцию Add Stope Section («Добавить разрез целика»), пользователь может легко определить геометрию нужного двумерного сечения целика одним из нескольких способов:

- графически, используя клик левой кнопкой мыши, чтобы начертить многоугольник;
- введя координаты вершин многоугольника x и y в командную строку;
- введя или импортировав из CSV-файла список координат вершин многоугольника x и y в таблицу координат.

Геометрию сечения целика также можно напрямую импортировать из DXF-файла [5].

Помимо возможности легко определять геометрию целика в последней версии программы SPillar также име-

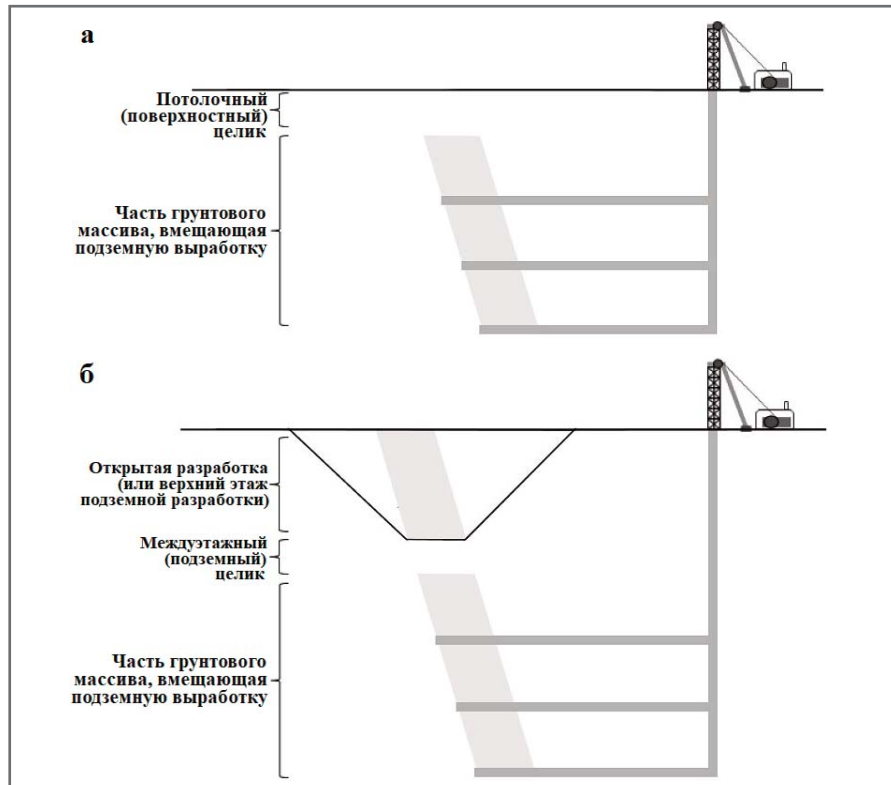


Рис. 1. Схематическое пояснение термина «целик» (по [6])

ется несколько полезных аннотативных инструментов для работы с текстами, формами, изображениями и размерами для маркировки и разметки разрезов.

Если пользователь в качестве ориентира для выбора линии разреза хочет использовать спутниковый снимок или схематический план, он может легко импортировать, правильно расположить и масштабировать изображение с помощью опции Import Image Wizard («Мастер импорта изображений»). После того как будет добавлено это изображение, для определения геометрии сечения целика можно использовать опцию Add Stope Section («Добавить разрез целика»).

Также новой для SPillar является возможность определять и назначать различные сдвиговые свойства для каждой несущей структуры. Если определено более одной характеристики материала, его свойства можно графически присвоить каждой такой структуре, используя опцию Assign Materials («Назначить материалы») и кликнуть по нужному сегменту левой кнопкой мыши [5].

Как строить и редактировать разрез целика в SPillar? ►

Выберите из выпадающего меню на панели инструментов пункт Stope Section («Разрез целика») либо перейдите к пункту Stope Section через главное меню, затем меню View («Вид») и субменю Select View («Выбрать вид»). На экране мо-

нитора по умолчанию отобразится квадратный целик с размерами 10x10. Чтобы создать его многоугольный разрез, убедитесь, что в меню Project Settings («Настройка проекта») выбраны пункты Pillar Shape («Форма целика») и затем Polygonal Pillar («Полигональный целик»). Это ограничит выбор метода анализа (из пункта Analysis Method) только методом Rigid («Жесткий»).

- Чтобы определить геометрию целика, выберите опцию Add Stope Section («Добавить разрез целика») в меню Boundaries («Границы») или из контекстного меню, выводимого при нажатии правой кнопки мыши. Или импортируйте эту геометрию из DXF-файла с помощью выбора пунктов File («Файл»), затем Import («Импорт») и потом Import DXF («Импорт DXF»). Вершины создаваемого многоугольника можно перемещать или удалять либо графически, либо путем редактирования таблицы координат.
- Чтобы добавить изображение, выберите пункты File («Файл»), потом Import («Импорт») и затем Image Import Wizard («Мастер импорта изображений») или опции Tools «Инструменты» и потом Image («Изображение»). Обратите внимание, что в меню Tools («Инструменты») также доступны некоторые другие аннотативные инструменты.
- Чтобы назначить несущим структурам определенные свойства материала, выберите пункт Assign Materials («Назна-

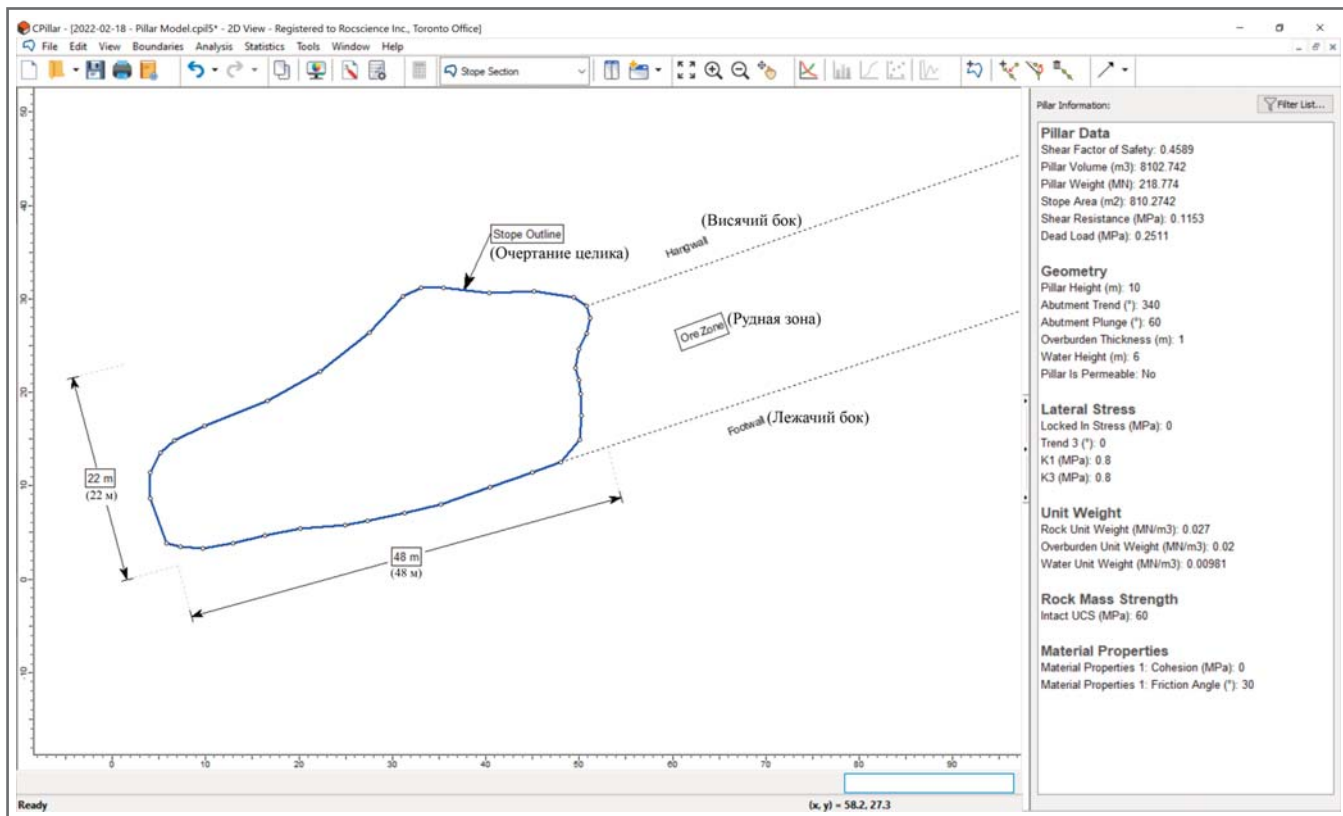


Рис. 2. Пример разреза (геометрии) целика в программе CPillar (по [5])

читать материалы») из меню Boundaries («Границы») или из контекстного меню, выводимого с помощью правой кнопки мыши. Наведите указатель мыши (курсор) на любой участок (точку), чтобы увидеть подсказки по данным для назначенного свойства материала [5].

Более подробную информацию о последовательности работы в разных случаях можно получить на сайте компании Rocscience [8].

Как можно получить доступ к работе с разрезами целиков в последней версии программы CPillar? ►

Как уже отмечалось, в последней версии программы CPillar теперь име-

ется возможность получения, анализа и редактирования разрезов целиков, а также добавлены новые функции. Вы можете получить доступ ко всему этому, если у вас есть бессрочная лицензия на CPillar с активной подпиской на техническую поддержку и техническое обслуживание Maintenance+ или лицензия на аренду CPillar. Но если вы хотите для начала только попытаться поработать в последней версии CPillar и проверить, подходит ли она вам, то запросите в компании Rocscience бесплатное пробное предложение на 15 дней [5].

Заключение ►

Команда компании Rocscience постоянно работает над усовершенствовани-

ем разрабатываемого в ней программного обеспечения, регулярно добавляя в него новые функции для решения самых сложных геотехнических задач. Это дает возможность пользователям всегда быть в авангарде работы в области геотехнических инноваций, в том числе при использовании программы CPillar для построения, редактирования и анализа разрезов целиков при строительстве шахт, тоннелей, котлованов, систем подпорные стенок, водосливов земляных плотин, подземных инженерных сетей, а также для оценки устойчивости природных подземных полостей и провалов (суффозионных, карстовых и др.), скальных склонов, грунтовых откосов и для других целей [1–11].

Источники ►

1. bg.nmu.org.ua/ua/4stud/files-to-download/mgp/geomech/15_%D0%93%D0%BB%D0%B0%D0%B2%D0%B011_%202015.pdf.
2. coalguide.ru/osnovnie-ponyatiya/8-gornye-vyrabotki/.
3. geoast.pro/cpillar.
4. gufo.me/dict/bse/%D0%A6%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%BA.
5. Li A. Introducing stope section view in CPillar // Rocscience. Feb. 17, 2022. URL: rocscience.com/learning/stope-section-view-in-cpillar?utm_medium=email&utm_source=rocnews&utm_campaign=February2022.
6. minewiki.engineering.queensu.ca/mediawiki/index.php/Crown_pillars.
7. rocscience.com/help/cpillar/documentation/pillar-geometry/defining-the-geometry/stope-section-view.
8. rocscience.com/help/cpillar/documentation/pillar-geometry/defining-the-geometry/stope-section-view.
9. rocscience.com/help/cpillar/documentation/pillar-geometry/stope-section.
10. rocscience.com/plans-pricing/maintenance-plus.
11. vk.com/wall-205554477_25.



АО «МОСТДОРГЕОТРЕСТ»

ГЕОТЕХНИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ

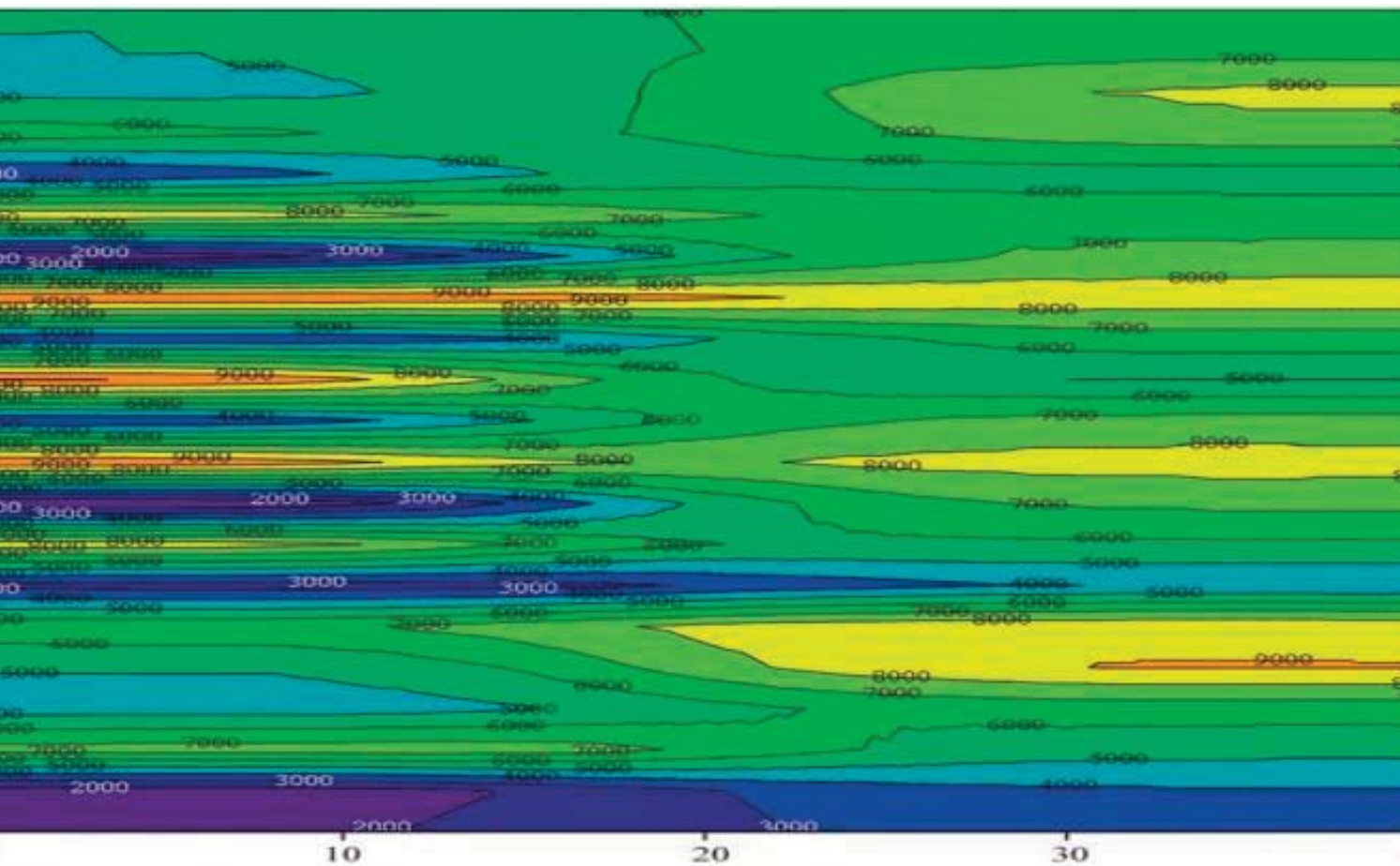
Лаборатория оснащена отечественным и зарубежным оборудованием последнего поколения по всем направлениям деятельности лаборатории: испытания дисперсных, скальных, мерзлых грунтов и геокомпозитов.

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

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



MDGT.RU



КОГДА МОЖНО СЧИТАТЬ РЕАЛИСТИЧНОЙ СТРАТИГРАФИЧЕСКУЮ МОДЕЛЬ ПЛОЩАДКИ ИЗЫСКАНИЙ?

БОЛДЫРЕВ

ГЕННАДИЙ ГРИГОРЬЕВИЧ

Директор по научной работе и инновациям ООО «НПП Геотек», г. Пенза, Россия
g-boldyrev@geotek.ru

Представляем вниманию читателей обзор материалов начальной части статьи «Количественная оценка неопределенностей в предполагаемом стратиграфическом разрезе и уменьшение работы по его описанию при использовании ограниченных данных инженерно-геологических исследований» [2], написанной сотрудником факультета гражданского строительства, охраны окружающей среды и теоретической механики Университета Дейтона Сянжуном Ваном (Xiangong Wang, г. Дейтон, шт. Огайо, США) и опубликованной в 2020 году в журнале Underground Space («Подземное пространство»). Для обзора выбрана наиболее интересная общая часть этой статьи. В обзоре рассмотрен разработанный авторами метод моделирования для количественной оценки неопределенности.

Введение ▶

Как указывает Сянжун Ван в самом начале своей статьи [2], в отличие от строительных материалов, которые выпускают с заданными свойствами, грунты обладают природной изменчивостью и неоднородностью вследствие длительности их формирования и изменчивости внешних (как силовых, так и климатических) условий. Определение свойств грунтов при инженерных изысканиях выполняется в ограниченном объеме и составляет тысячные доли от общего объема исследуемого массива грунта. Ограниченность лабораторных и полевых исследований, включая геофизические, обусловленная нормативными требованиями (в России – СП 47.13330. – *Ред.*), приводит к тому, что невозможно проводить прямые и непрерывные наблюдения по всей площадке строительства. Поэтому заключение (отчет) о стратиграфии и свойствах грунтов, выдаваемое заказчику, неизбежно связано с неопределенностями различной степени.

Более того, геологам известно, что существует компромисс между затратами на инженерно-геологические исследования участка и дополнительными выгодами от получения геотехнической информации, которая может быть использована на последующих этапах проектирования и строительства. Поэтому инженеры-геологи, геотехники и проектировщики сталкиваются с проблемой точного описания стратиграфии участка при минимальных затратах. Для решения этой проблемы, с точки зрения С. Вана [2], необходимы новые подходы к методам проведения и интерпретации результатов исследований, которые помогут не только отразить возможные (вероятностные) инженерно-геологические условия, но и обеспечить получение количественной оценки их неопределенности в соответствии с лабораторными и полевыми исследованиями, а также предложить места дополнительных выработок и отбора образцов грунта, изучение которых способствует максимально возможному снижению неопределенности инженерно-геологических и геотехнических исследований.

Для интерпретации стратиграфии площадки строительства при редком расположении точек наблюдений были разработаны некоторые подходы, основанные на методах интерполяции. Однако большинство из этих методов, как отмечает Ван [2], могут обеспечить получение только точечных оценок мак-

симального правдоподобия (MLE) без учета неопределенности моделирования. Другими словами, если и определяется наиболее вероятная стратиграфическая конфигурация, ее вероятность и изменчивость не оцениваются. Поэтому нет уверенности в точности полученной оценки инженерно-геологических условий.

Далее Ван [2] указывает, что существует несколько стохастических методов моделирования (в том числе с использованием цепей Маркова, условного гауссовского случайного поля, многооточечной геостатистики), применяя которые можно получить несколько возможных геологических моделей. Но с помощью лишь немногих из этих методов удастся количественно оценить неопределенность, связанную с природной неоднородностью геологических условий. По сравнению с получением модели геологического строения площадки количественная оценка неопределенностей моделирования предъявляет более высокие требования к принятым методам создания моделей. Ведь такое количественное определение изменчивости имеет смысл, только если каждая из стохастических моделей генерируется в соответствии с присущими исследуемому участку характеристиками геологического строения. Однако некоторые неявные предположения, используемые в существующих методах моделирования (например, фиксированные корреляционные структуры в гауссовских случайных полях, стационарная вероятность перехода матриц в моделях цепей Маркова, предопределенные шаблоны данных в методах нейронных сетей), могут накладывать определенные ограничения на способность воспроизводить врожденный анизотропный и нестационарный характер геологической среды.

В последнее время для построения моделей сложных геологических структур стал применяться метод моделирования на основе случайного поля Маркова (MRF). В частности, в основе моделирования с помощью метода MRF и цепей Маркова лежит предположение о том, что геостратиграфические структуры включают случайные свойства и могут быть описаны с применением указанного метода. Это предположение, как отмечает Ван [2], получило широкое признание и постоянно используется для моделирования стратиграфии и свойств осадочных отложений. Разница лишь в том, что структура MRF-модели обеспечивает более гибкий и ин-

туитивно понятный способ представления пространственной корреляции Маркова, которая позволяет отражать и воспроизводить неоднородные и нестационарные характеристики геологических структур.

Далее будет кратко рассмотрен разработанный метод моделирования для количественной оценки неопределенности.

Стохастическое геологическое моделирование ▶

В отличие от обычных проблем сегментации или распознавания, которые сосредоточены на извлечении скрытого поля из полного набора результатов наблюдений во всех пространственных точках (например, для всех пикселей изображения) в случайном поле, при геотехническом исследовании площадки (в испытательном поле) точки, для которых имеется точная информация, расположены довольно редко. Поэтому, как подчеркивает Ван [2], моделирование стратиграфии, по сути, должно приводить к разумным выводам о подповерхностных характеристиках для не исследованных непосредственно участков в соответствии с доступными данными для редко расположенных точек исследований и с имеющимися знаниями о геологическом строении местности.

Далее Ван [2] указывает, что предполагаемая стратиграфия может считаться реалистичной только в том случае, если и тренды, и крупномасштабные характеристики (общий вид анизотропной модели и нестационарный стратиграфический профиль), и локальные особенности (например, небольшие линзы и локальные колебания границ между разными типами грунтов) отражены разумно. В частности, нужно использовать результаты наблюдений, полученные при бурении и изучении выходов грунтов на поверхность, а также уже известную (или полученную с помощью геофизических методов) информацию о стратиграфии местности. При этом надо исходить из предположения, что осадочные процессы и соответствующие стратиграфические особенности характеризуются материальными переходами в пространстве и могут быть вероятностно описаны моделью MRF.

По сравнению с результатами использования других методов интерполяции случайные модели интуитивно более понятны в физическом смысле. Поскольку локальные и глобальные характеристики тесно взаимодействуют друг с другом, сложно выполнить моделирование, в котором оба аспекта учи-

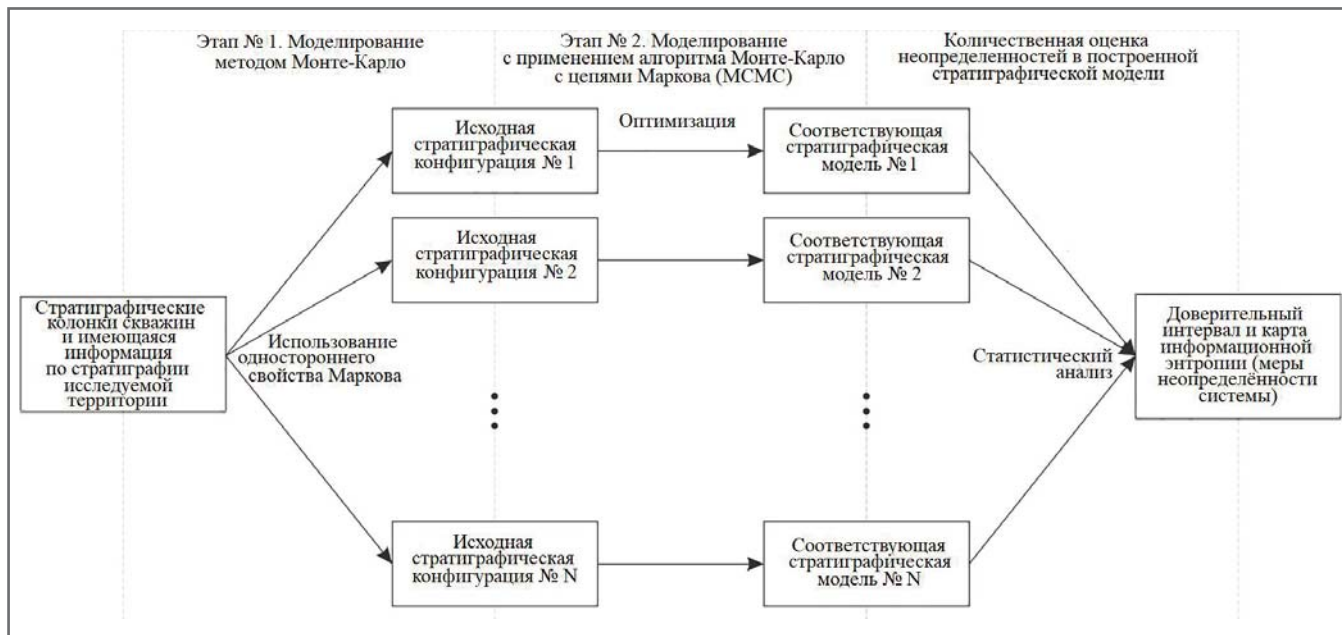


Рис. Блок-схема подхода к моделированию и количественной оценке неопределенности (по [2])

тывались бы одновременно. Поэтому стохастический процесс моделирования разбивается на два этапа, которые Ван [2] рассматривает далее.

1. На первом этапе применяется многократное имитационное моделирование вероятностей (моделирование методом Монте-Карло – MCS) с использованием одностороннего свойства Маркова для генерации начальных стратиграфических конфигураций на основе результатов полевых испытаний (например, статического зондирования), а также информации по стратиграфической ориентации, полученной с помощью геофизических исследований. Ход этого моделирования очень похож на общий процесс интерпретации, когда границы между слоями для начала формируются на основе последовательного случайного отбора проб грунтов из одной скважины, а затем распространяются на скважины, расположенные в других местах, которые выбираются на основе предварительных знаний о стратиграфической ориентации. Единственное отличие состоит в том, что при моделировании Монте-Карло спонтанно рассматривается стратиграфическая неопределенность из-за стохастического характера этого мето-

да. На данном этапе полностью учитываются масштабные характеристики (то есть анизотропные слоистые структуры в соответствии с профилем, полученным на основе статического зондирования методом СРТ, и нестационарная стратиграфическая ориентация, выявленная с помощью геофизических изысканий или уже имеющихся знаний по геологическому строению исследуемой территории), а локальные особенности определенные ранее методом MRF, рассматриваются лишь частично, поскольку предварительные результаты, выраженные в виде исходной стратиграфической конфигурации, еще не оптимизированы.

2. На втором этапе пространственные точки в сгенерированной исходной стратиграфической конфигурации, отличные от мест расположения скважин, оптимизируются с использованием алгоритма Монте-Карло с цепями Маркова (MCMC) для соответствия локальным характеристикам, ранее определенным с помощью метода MRF. Здесь Ван [2] отмечает, что чрезмерная коррекция модели MRF может исказить крупномасштабные характеристики в начальной конфигурации, так как крупномасштабные тренды обусловлены

сложными физическими процессами и, следовательно, не будут идеально следовать случайной математической модели (например, одним из известных негативных последствий здесь является чрезмерное сглаживание). Чтобы избежать такой избыточной коррекции, исходную стратиграфическую конфигурацию на этапе № 1 следует рассматривать как ограничение во время последующего процесса оптимизации на этапе № 2. Поэтому используется функция правдоподобия как мера сходства между начальной и оптимизированной конфигурациями.

На рисунке представлена блок-схема, отражающая вышеупомянутые процедуры моделирования.

Заключение ►

При объединении двух вышеупомянутых этапов моделирования полученные стратиграфические модели могут разумно отражать как крупномасштабные, так и локальные характеристики участка изысканий в соответствии с результатами наблюдений и известной ранее информацией по геологическому строению местности. Поэтому они могут рассматриваться как отражающие реальную стратиграфию. ▣

Источники ►

1. atomsro.ru/wp-content/uploads/file/0PORTAL/AtomStroyStandart_2016/Barvashov_2016_AS.pdf
2. Wang X. Uncertainty quantification and reduction in the characterization of subsurface stratigraphy using limited geotechnical investigation data // Underground Space. 2020. Vol. 5. P. 125–143. URL: [sciencedirect.com/science/article/pii/S2467967418300837?via%3Dihub](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2467967418300837?via%3Dihub).

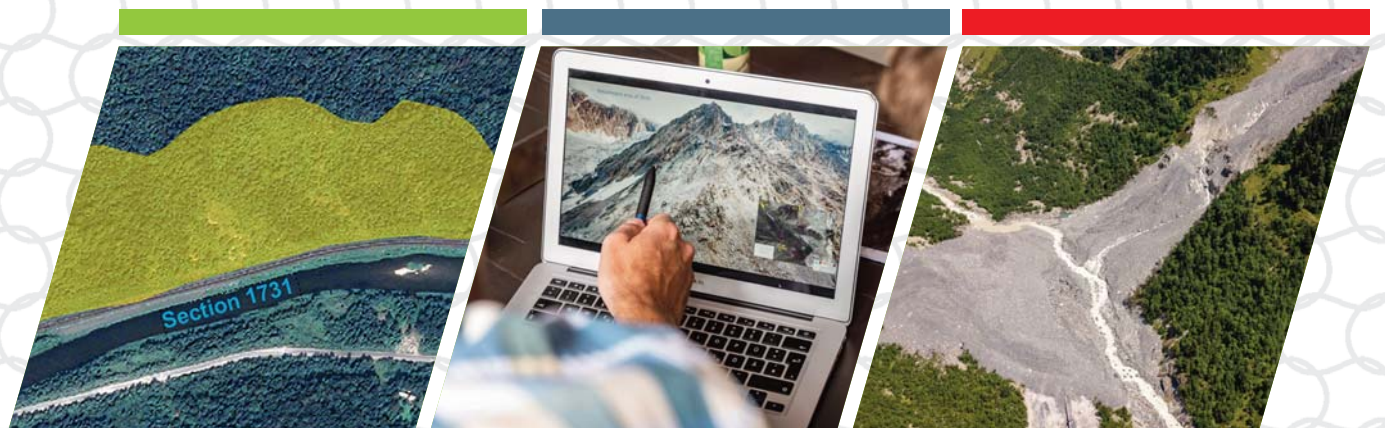


Mountain
Risk
Consultancy

ЗАЩИТА ОТ ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ И СНИЖЕНИЕ РИСКОВ ПОСЛЕДСТВИЙ КАТАСТРОФ



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



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





Заглавное фото: Википедия. Отвалы Нерюнгринского угольного разреза

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ОБЪЕКТОВ РАЗМЕЩЕНИЯ ОТХОДОВ. ОТВЕТЫ НА АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

АНАЛИТИЧЕСКАЯ СЛУЖБА



В последнее время у заказчиков, да и у самих изыскателей и проектировщиков часто возникают вопросы по составлению программ производственного экологического мониторинга (ПЭМ) на объектах размещения отходов (ОРО) и осуществлению исследовательских работ в рамках реализации данных программ. Редакция «ГеоИнфо» попросила ответить на наиболее задаваемые вопросы технического директора ООО «Искра.Эксперт» СЕРГЕЯ КАРТАМЫША.

Сергей является специалистом-биоэкологом. Более 17 лет он профессионально занимается экологией. Главные направления его специализации – это производственный экологический мониторинг (ПЭМ), инженерно-экологические изыскания и экологический аудит предприятий.

Вопрос 1. *Что такое объект размещения отходов и почему к ним относится внешний отвал вскрышных пород? Ведь они природного происхождения, не загрязнены химическими веществами и являются инертными.*

Ответ. В соответствии со ст. 1 ФЗ от 24.06.1998 №89 «Об отходах производства и потребления», объекты размещения отходов (ОРО) – специально оборудованные сооружения, предназначенные для размещения отходов (полигон, шламохранилище, в том числе шламовый амбар, хвостохранилище, отвал горных пород и другое) и включающие в себя объекты хранения и захоронения отходов.

Внешний отвал горных пород является ОРО, если горные, в том числе вскрышные породы хранятся в нем более 11 месяцев. Если в течение 11 месяцев горные породы из внешнего отвала используются для рекультивации отработанных горных выработок, внешний отвал не является ОРО. Инертность горных пород, даже если они отнесены к 5-му классу опасности, не является существенным аргументом. Горные породы при их пересыпке или в отвале пылят и загрязняют атмосферный воздух. Дождевые и талые воды с площади отвалов являются неочищенными сточными водами и содержат в себе взвешенные вещества и различные примеси, такие как фосфаты, карбонаты, сульфаты и другие. Они попадают в природные водные объекты и почвы, поэтому говорить о том, что внешний отвал не влияет на окружающую среду – нельзя.

Вопрос 2. *Для чего объектам размещения отходов, в том числе полигонам твердых бытовых отходов (ТБО), осуществлять производственный экологический мониторинг?*

Ответ. В соответствии с ч. 2 ст. 11 и ч. 3 ст. 12 ФЗ от 24.06.1998 №89 «Об отходах производства и потребления» на территориях объектов размещения отходов и в пределах их воздействия на окружающую среду собственники объектов размещения отходов, а также лица, во владении или в пользовании которых находятся объекты размещения отходов, обязаны проводить мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды в порядке, установленном федеральными органами исполнительной власти в области обращения с отходами в соответствии со своей компетенцией (см. приказ Минприроды России от 08.12.2020 № 1030 «О порядке проведения мониторинга ОРО»).

Результаты мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды на территориях объектов размещения отходов и в пределах их воздействия на окружающую среду оформляются в виде отчетов, которые составляются лицами, эксплуатирующими эти объекты размещения отходов. В уведомительном порядке они предоставляются в территориальный орган Росприроднадзора по месту расположения объекта размещения отходов ежегодно до 15 января года, следующего за отчетным (п. 4 Приказа Минприроды России от 08.12.2020 №1030).

При размещении отходов на объектах размещения отходов, которые не оказывают негативное воздействие на окружающую среду, плата за негативное воздействие на окружающую среду не взимается (ч. 6 ст. 23 ФЗ от 24.06.1998 №89 «Об отходах производства и потребления»).

В соответствии с ч. 7 ст. 23 ФЗ от 24.06.1998 №89 «Об отходах производства и потребления» исключение негативного воздействия на окружающую среду объектов размещения отходов достигается за счет осуществления природоохранных мероприятий, наличия технических решений и сооружений, которые обеспечивают защиту окружающей среды, а также подтверждается результатами мониторинга состояния окружающей среды, в том числе соблюдением нормативов предельно допустимых концентраций химических веществ. Порядок подтверждения исключения негативного воздействия на окружающую среду объектов размещения отходов устанавливается Правительством

Российской Федерации (см. Постановление Правительства РФ от 26 мая 2016 г. № 467 «Об утверждении Положения о подтверждении исключения негативного воздействия на окружающую среду объектов размещения отходов»).

Вопрос 3. *Какова ответственность за невыполнение ПЭМ на ОРО?*

Ответ. Отсутствие мониторинга состояния окружающей среды трактуется как нарушение:

- ст. 8.1. КоАП РФ – предусмотрена ответственность за несоблюдение экологических требований при осуществлении градостроительной деятельности и эксплуатации предприятий, сооружений или иных объектов. Влечет предупреждение или наложение административного штрафа на должностных лиц – от 2 до 5 тыс. руб., для юридических лиц – от 20 до 100 тыс. руб.

- ст. 8.5. КоАП РФ – устанавливает административную ответственность за сокрытие или искажение экологической информации: для должностных лиц – от 3 до 6 тыс. руб., для юридических лиц – от 20 до 80 тыс. руб.

Кроме того, проектная документация по строительству, реконструкции или рекультивации ОРО является объектом государственной экологической экспертизы (ГЭЭ). В заключении ГЭЭ прописывается необходимость выполнения ПЭМ. Осуществление деятельности, не соответствующей документации, которая получила положительное заключение государственной экологической экспертизы, влечет наложение административного штрафа на должностных лиц. Кроме того, про-

Наиболее значимые проекты, в которых принимал участие наш консультант Сергей Каргамыш, технический директор ООО «Искра.Эксперт»:

- ПЭМ при строительстве газопровода «Сахалин-Хабаровск-Владивосток» (2010-2011 гг.);
- ПЭМ при строительстве «Техническое перевооружение порта Посыет» (2012–2021 гг.);
- ПЭМ при строительстве объекта «Создание судостроительного комплекса «Звезда»;
- «Дноуглубление акватории бухты Большого Камня» (2019-2020 гг.);
- Проведение мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды на территориях объектов размещения отходов и в пределах их воздействия на окружающую среду для полигона твердых бытовых отходов (ТБО) г. Большой Камень (2018-2019 гг.);
- Разработка программы мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды на территориях объектов размещения отходов и в пределах их воздействия на окружающую среду для полигона твердых бытовых отходов (ТБО) г. Фокино.

ектная документация по строительству, реконструкции или рекультивации ОРО – от 10 тысяч до 20 тысяч руб.; на юридических лиц – от 100 тысяч до 250 тысяч руб. (часть 2 ст. 8.4. КоАП РФ).

Выводы ▶

Подводя итог всему вышесказанному, хочется выделить основные моменты:

- Объектами размещения отходов являются не только полигоны ТБО, но и шламохранилища, хвостохранилища, золоотвалы, отвалы горных пород, в том числе внешние отвалы вскрышных пород.

- Собственники объектов размещения отходов, а также лица, во владении или в пользовании которых находятся объекты размещения отходов, обязаны

проводить мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды и предоставлять в Росприроднадзор годовые отчеты.

- При размещении отходов на объектах размещения отходов, которые не оказывают негативное воздействие на окружающую среду, плата за негативное воздействие на окружающую среду не взимается. **и**

Telegram-канал журнала

Независимый электронный журнал
ГеоИнфо

- Новости
- Статьи
- Обсуждения



TRUMER
Schutzbauten

www.trumer.cc

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

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

ЗАЩИТА ОТ ПРИРОДНЫХ ОПАСНОСТЕЙ

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

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



Следуя девизу

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

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



ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ АРХЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЛИДАРА, ПРИКРЕПЛЕННОГО К ДРОНУ

БАЛЬСИ МАРКО (BALSÌ MARCO)

Римский университет Ла Сапиенца,
г. Рим, Италия
marco.balsi@uniroma1.it

ЭСПОЗИТО САЛЬВАТОРЕ (ESPOSITO SALVATORE)

Компания Oben, г. Сассари, Италия
esposito@oben.it

ФАЛЛАВОЛЛИТА ПАОЛО (FALLAVOLLITA PAOLO)

Компания Oben, г. Сассари, Италия
fallavollita@oben.it

МЕЛИС МАРИЯ-ГРАЦИЯ (MELIS MARIA GRAZIA)

Университет Сассари,
г. Сассари, Италия
mgmelis@uniss.it

МИЛАНЕЗЕ МАРКО (MILANESE MARCO)

Университет Сассари,
г. Сассари, Италия
milanese@uniss.it

Предлагаем вниманию читателей немного сокращенный адаптированный перевод статьи «Предварительные археологические изыскания с помощью лидара, прикрепленного к дрону». Эта работа была написана итальянскими исследователями Марко Бальси, Сальваторе Эспозито, Паоло Фаллаволлита, Марией-Грацией Мелис и Марко Миланезе и опубликована в 2021 году в журнале Remote Sensing («Дистанционное зондирование»). Она находится в открытом доступе на сайте издательства MDPI (Multidisciplinary Digital Publishing Institute – «Многопрофильный институт цифровых публикаций») и распространяется по лицензии Creative Commons Attribution (CC BY), которая разрешает ее неограниченное использование (даже в коммерческих целях), воспроизведение, распространение, перевод и адаптацию при условии указания ссылки на первоисточник. В нашем случае ссылка имеется в конце статьи.

Предварительный анализ мест возможного расположения археологических памятников требует получения информации с помощью нескольких разных диагностических методов. В том числе важную роль играет дистанционное зондирование, особенно при обследовании больших территорий и труднодоступных мест, в целях сохранения археологических объектов, их пространственного анализа, реконструкции ландшафтов, в которых ранее обитал человек, определения его взаимосвязей с окружающей средой, а также для планирования тех или иных мероприятий (прежде всего строительства) в исследуемых районах. В переведенной статье представлен конкретный пример детальной

топографической съемки с помощью лидара, установленного на беспилотном летательном аппарате. Полученная в результате цифровая модель рельефа с высоким разрешением была тщательно изучена опытным специалистом в поисках входов в доисторические подземные помещения. Выполненное исследование демонстрирует полезность указанного метода для выявления антропогенных объектов, скрытых под растительным покровом, и для быстрого топографического обследования поверхности земли.

Введение ►

До начала научных раскопок или земляных работ при строительстве на территории, которая не является изученной в отношении присутствия археологических объектов или изучена лишь частично, сначала необходим предварительный анализ на основе данных, полученных с помощью комплексного использования различных неинвазивных методов [5, 10]. Это значительно экономит время и деньги и не нанесет вреда возможным памятникам археологии [2, 9, 13], а также поможет их пространственному анализу, реконструкции ландшафтов, в которых ранее обитал человек, определению его взаимосвязей с окружающей средой, а также планированию тех или иных мероприятий в исследуемых районах [3, 4].

Важную роль в таких предварительных исследованиях играет дистанционное зондирование, особенно на больших площадях. Оно может проводиться в различных масштабах, в частности со спутников, самолетов и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА, дронов).

Цели такого дистанционного зондирования – это получение информации по топографии (морфологии, альтиметрии, гидрографии), растительному покрову, землепользованию, а также обнаружение и описание искусственных сооружений и результатов других антропогенных вмешательств в окружающую среду (дорог, террас, канав, карьеров и пр.), находящихся на поверхности земли или под ней.

В основном используются изображения в видимом свете, но все более важную роль играет и инфракрасный спектр, а также мультиспектральные и гиперспектральные данные [7]. В том числе используется радиолокационный метод с помощью радаров (систем для обнаружения и определения расстояний с помощью волн радиодиапазона – Radio Detection and Ranging, RADAR) со спутников, самолетов и даже с низкореляющих БПЛА [1, 6, 18, 21].

Точную топографическую и морфологическую информацию можно получить и с помощью лидаров (систем для обнаружения и определения расстояний с помощью волн ультрафиолетового, видимого или инфракрасного диапазона – Light Identification, Detection and

Ranging, LIDAR), также известных как сканирующие лазерные дальномеры. 3D-лидары наземного базирования хорошо зарекомендовали себя при получении подробной 3D-информации. А лидары бортового базирования имеют дополнительные преимущества, особенно для предотвращения помех из-за препятствий или недостижимости удаленных объектов, а также для получения ценной информации, частично или даже полностью скрытой под растительным покровом. Последнее оказалось особенно важным для предварительных археологических обследований на больших территориях [8], а также весьма полезным при исследованиях среднего и мелкого масштаба [19, 21].

Например, Мойес и Монтгомери [17] использовали данные лидара воздушного базирования специально для поиска входов в пещеры, в том числе скрытых под растительным покровом, и смогли доказать, что такой метод особенно полезен и экономически выгоден для обнаружения признаков возможного присутствия интересующих объектов. Он фактически сводится к довольно быстрому виртуальному исследованию поверхности даже в труднодоступных районах. К тому же некоторые интересные особенности, которые можно распознать сверху, могут быть незаметны на уровне земли.

Такая предварительная съемка не может полностью заменить прямое наблюдение, но она играет важную роль для выбора потенциально интересных мест, методов и приоритетов при последующих наземных исследованиях.

В этой статье представлен практический пример использования данных лидара на БПЛА при предварительном обследовании территории со скрытыми растительностью искусственными полостями, интересными с точки зрения археологии.

Материалы и методы ►

Чтобы оценить возможности лидара на БПЛА для обнаружения и регистрации скрытой под растительным покровом морфологии, связанной с археологическими объектами, был обследован участок, который уже несколько лет является местом раскопок и наземных исследований, но до сих пор информация

по нему не задокументирована полностью. Преимущество работы на такой территории для экспериментального проекта заключается в том, что некоторые представляющие интерес объекты (в данном случае входы в подземные помещения) все еще скрыты от глаз и не затронуты никаким археологическим вмешательством. Но результаты изысканий с помощью лидара воздушного базирования можно было потом проверить при непосредственном обследовании поверхности земли.

Рассматриваемый участок (С'Элиге Энтосу) расположен в районе Усини провинции Сассари на севере итальянского острова Сардиния. Там находится некрополь периода неолита, созданный в 4000–3500 гг. до н. э. и включающий три небольшие группы высеченных в скальных породах гробниц, повторно использовавшихся в разные доисторические и протоисторические периоды, во времена Древнего Рима и даже в недавнее время. Археологические исследования также выявили наличие некрополя времен Римской республики и Римской империи и обнаружили постромскую каменоломню в 80 м к западу от гробниц III и IV [15, 16].

Была обследована определенная область на краю скалистого плато, который образует уступ с видом на неглубокую долину (рис. 1). Вдоль известняковой стены, измененной за долгое время эрозией и обвалами, присутствуют неолитические гробницы, а также полости, использовавшиеся в более поздние времена, в том числе сравнительно недавно созданный резервуар для воды. Поверхность скальных пород частично обнажена, а частично покрыта растительностью – в основном низким густым кустарником и небольшими деревьями. Такие характеристики исследуемого участка подчеркивают его труднодоступность и сложность съемки с поверхности земли. Более того, они делают достаточно сложным и применение дистанционного зондирования, поскольку тип присутствующей растительности, особенно невысокие густые кустарники, типичные для прибрежной средиземноморской дикой природы, не просвечиваются с помощью лидара или других инструментов дистанционного зондирования. С другой стороны,

представляющая интерес территория довольно мала, поэтому для нее можно получить детальные данные и вручную.

Представляющими интерес объектами, как и в примере из работы [17], являются полости под землей (пещеры или небольшие помещения, частично или полностью искусственно вырытые). Их наличие выявляется снаружи по входам в них, которые представляют собой либо короткие горизонтальные тоннели, открывающиеся на вертикальных или почти вертикальных скальных поверхностях, либо коридоры (дромосы) которые выглядят как прямые траншеи с вертикальными стенками, которые утратили (или никогда не имели) свои кровли. Поэтому полезными индикаторами в данном случае являются вертикальные стенки (чаще всего естественные и/или неотличимые от естественных) и отверстия, которые выглядят искусственными из-за их формы и характеристик (с учетом того, что выветривание и эрозии за многие столетия видоизменили их).

Съемка выполнялась с помощью лидара Yellowscan Mapper (производства французской компании Yellowscan), установленного на октокоптере (дроне с 8-ю пропеллерами) диаметром 1,8 м производства китайской фирмы Foxtech (рис. 2). Датчик интегрирован с точным инерциальным блоком и блоком глобальной навигационной спутниковой системы GNSS, который принимает сигналы глобальных навигационных систем GPS и ГЛОНАСС и имеет улучшенное позиционирование на основе кинематики в реальном времени (RTK) или кинематики с постобработкой (РРК). Точность позиционирования каждой точки – лучше 10 см, при этом разброс (точность) в случае нормальных условий работы составляет около 40 см. Выбранный профиль полета позволил получить в среднем 63 точки/кв. м, что соответствует среднему расстоянию между точками 13 см. Датчик лидара обнаруживает до трех отраженных сигналов на излученный импульс, что позволяет даже при наличии растительности получать в том числе и сигналы, отраженные от точек на поверхности земли, причем достаточно плотно расположенных, даже если эта поверхность не видна на фотографиях и не может быть смоделирована с помощью фотограмметрии.

Компания Yellowscan предоставляет независимо компилируемый программный модуль, динамически подключаемый к свободной (бесплатной, с откры-

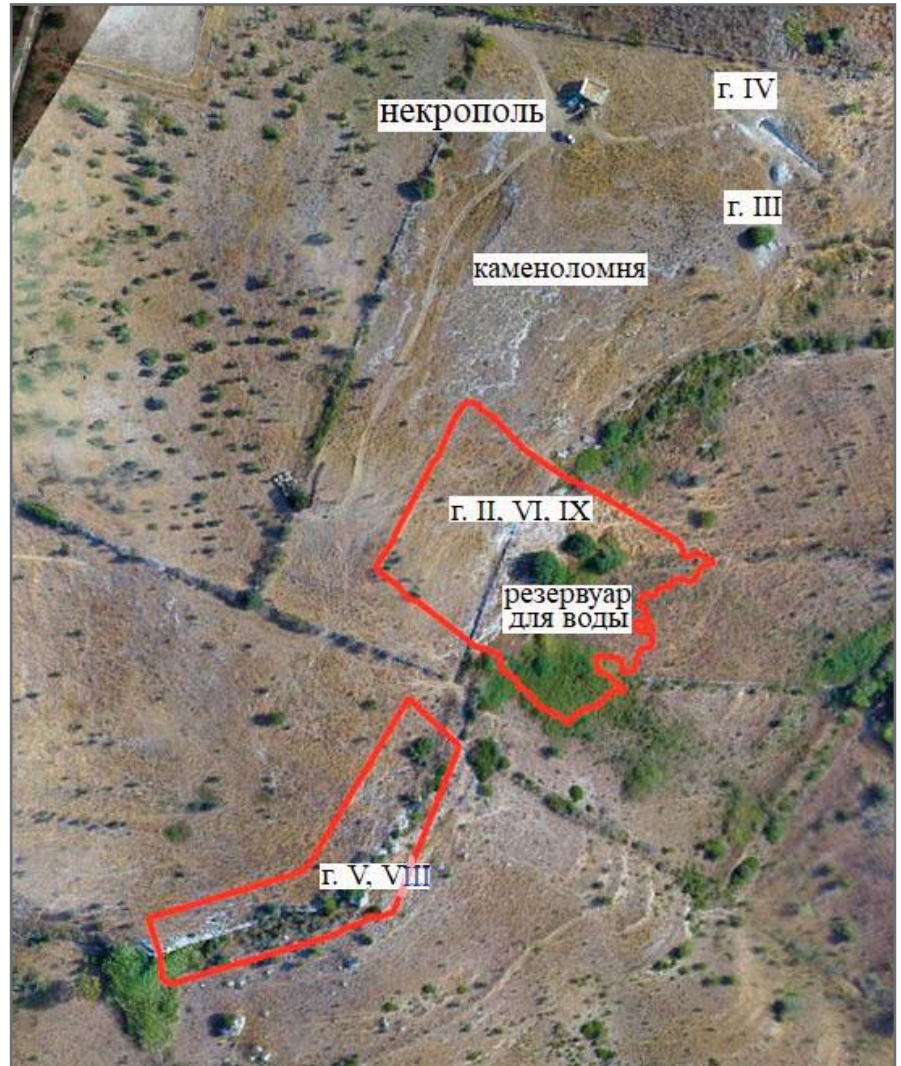


Рис. 1. Ортофотоснимок обследованной территории. Расположение неолитических гробниц обозначено буквой «г» с точкой и римской цифрой. Также указаны места римского некрополя, постримской каменоломни и современного резервуара для воды. Области, обследованные с помощью лидара на БПЛА, обведены контурами красного цвета



Рис. 2. Лидар Yellowscan Mapper, прикрепленный снизу к летящему октокоптеру

тым исходным кодом) кроссплатформенной геоинформационной системе QGIS для предварительной обработки

записанных датчиком данных и получения облака точек, то есть плотного набора точек с точной географической

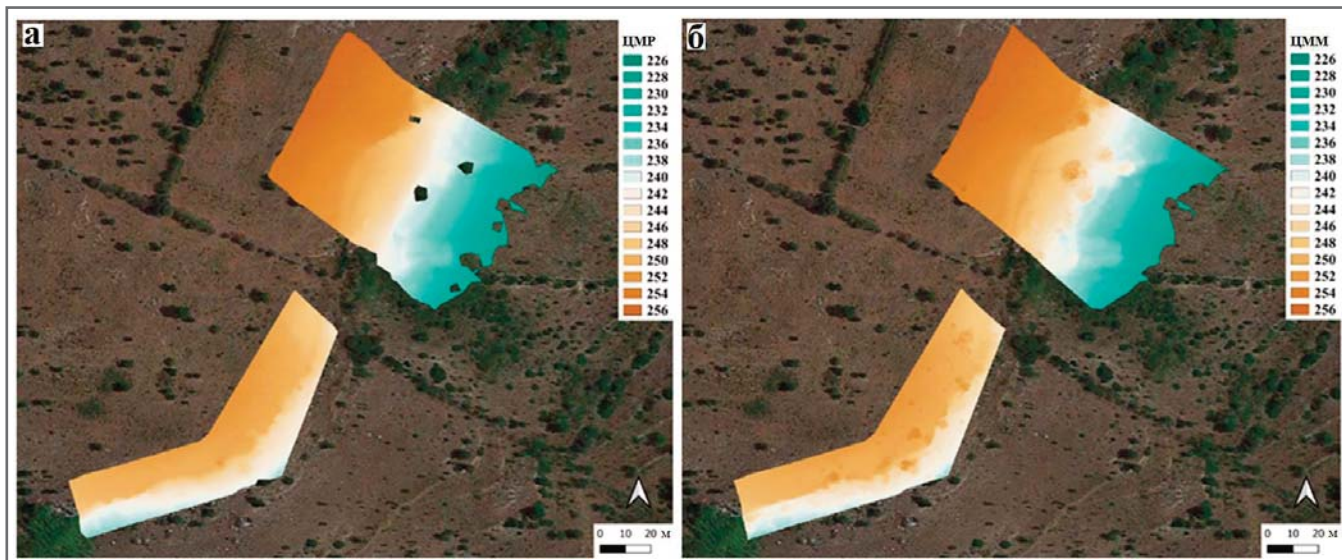


Рис. 3. Локальные цифровые модели рельефа, полученные с использованием наземных точек (а), и локальные цифровые модели местности для тех же участков, полученные с использованием всех точек облака (б), наложенные на один и тот же фотоснимок с воздуха

привязкой, составляющих 3D-модель обследуемой поверхности. Облака точек можно наблюдать и анализировать с помощью подходящего программного обеспечения, в частности CloudCompare, а также используя бесплатные (например, FugroViewer) или коммерческие (например, LAsTools, Terrasolid) программы.

Полеты БПЛА с лидаром происходили над еще недостаточно изученными участками, на которых, возможно, имелись входы в подземные помещения, а также над труднодоступными местами. На рисунке 1 показаны две области, выделенные на основе необработанных лидарных данных для последующего всестороннего детального анализа.

Полученные результаты ►

Полученное облако точек (внесенное в общедоступную базу данных [11]) было проанализировано путем тщательного поиска входов в подземные помещения или пещеры, древних построек или других артефактов. Чтобы сосредоточиться на поверхностях, скрытых под растительным покровом, было, как обычно в таких случаях, выполнено разделение точек отражений лазерных импульсов на наземные и наземные с использованием стандартных автоматических методов, например в программных пакетах LAsTools или Terrasolid. По точкам на поверхности земли можно получить карту рельефа поверхности на регулярной сетке (растровую). Это цифровая модель рельефа (ЦМР). На рисунке 3, а представлены плотные ЦМР, полученные при размере ячеек сетки 0,2 м. Сравне-

ние этих моделей с цифровыми моделями местности (ЦММ), полученными с использованием всех точек облака, показывает, что большая часть растительности была правильно распознана и отфильтрована для выделения наземных точек.

Мойес и Монтгомери [17] предложили использовать индикатор, позволяющий автоматически выделить те области, которые, возможно, интересны для дальнейшего исследования (локальное моделирование рельефа, ЛМР – Local Relief Modeling, LRM). Это в основном получается путем вычитания сглаженной версии ЦМР из исходной ЦМР, чтобы выделить более резкие неоднородности, которые являются типичными признаками, описывающими искусственные структуры. Этот метод не сводится к автоматическому распознаванию интересующих объектов, но полезен для привлечения внимания опытного специалиста по анализу данных, который в любом случае должен работать с ними вручную.

Авторы настоящей работы вместе с зонами ЛМР извлекли из полученной ЦМР несколько индикаторов, в том числе индекс топографического положения [12] и индекс неровности рельефа [20]. Ни один из этих индикаторов не оказался особо эффективным в этом конкретном исследовании на уровне детализации полученных данных, потому что представляющие интерес особенности были слишком похожи друг на друга и на более очевидные природные объекты (в частности, на естественный скальный уступ), поэтому было неизбежным большое количество ложных

ожиданий. Тем не менее локальное моделирование рельефа действительно могло выделить интересные места, которые показаны на рисунке 4.

Изучив детали соответствующего места, выделенного при ЛМР, авторы данного исследования смогли увидеть по точкам отражений импульсов лидара, что под небольшим деревом имеется углубление в земле (рис. 5).

Поскольку артефакты, подобные этим, имеют довольно неопределенные форму (особенно после столетий эрозии), метод, использовавшийся для изучения данных, был основан на получении скользящих вертикальных сечений облака точек примерно вдоль или поперек склона и на поиске видимых аномалий.

На рисунках 6 и 7 показаны разрезы облака точек для участков 1 и 2 (см. рис. 4), полученные в приложении FugroViewer. Наземные точки окрашены в фиолетовый цвет, а наземные – в желтый. В обоих случаях явно видно присутствие резкой неоднородности (соответствующей вертикальной стенке, которая не дает отражений импульсов, поданных сверху) и полости под кустами. Отметим, что на вставках справа на рисунках 6 и 7 показаны линии разрезов, идущие по поверхности грунта. Эти разрезы были сделаны достаточно небольшими, чтобы улучшить изображения для демонстрации в данной статье. Однако поиск археологических объектов выполнялся путем тщательного исследования разрезов, взятых в нескольких направлениях через весь объем облака точек с использованием удобной функции FugroViewer, которая позволяет

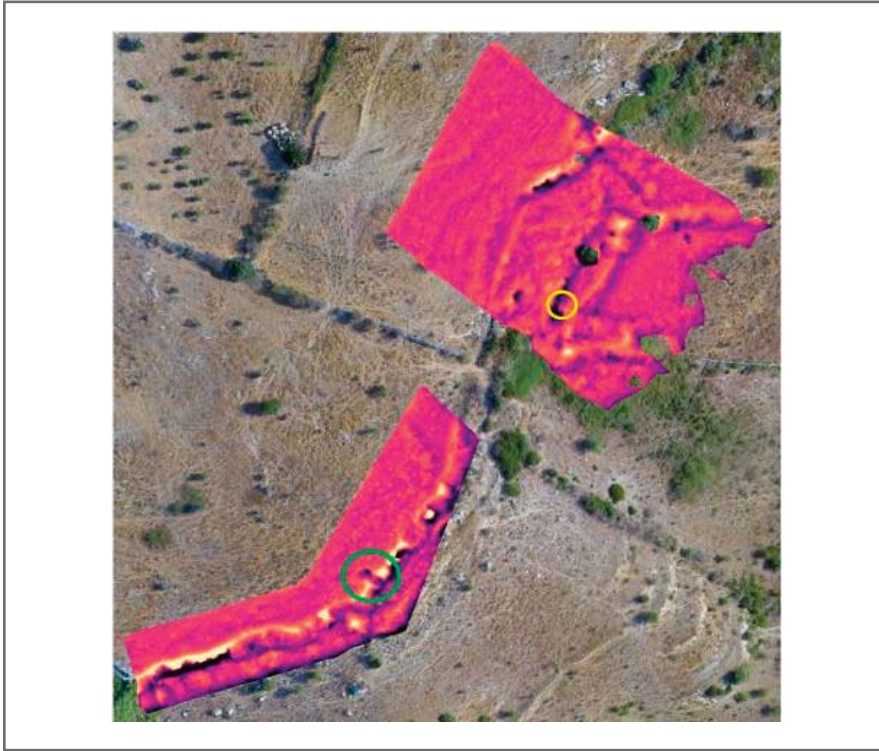


Рис. 4. Важным этапом локального моделирования рельефа (ЛМР) является определение разницы между исходной цифровой моделью рельефа (ЦМР) и ее сглаженной версией для выделения резких переходов (неоднородностей). Здесь показан результат такой операции, где ложные цвета переходят от черного/синего для отрицательных разностей (когда исходная ЦМР ниже, чем ее сглаженная версия) до желтого/красного для положительных разностей (когда исходная ЦМР выше, чем сглаженная версия). Наиболее значительные аномалии появляются на естественной скальном уступе, причем одно конкретное место (*участок № 1, обведенный зеленой окружностью*) действительно указывает на наличие объекта, представляющего интерес. Но другое представляющее интерес место, которое было обнаружено с помощью анализа облака точек (*участок № 2, обведенный желтой окружностью*), не выделяется явно, поскольку его легко спутать со скальным уступом (краем скалистого плато)

очень легко перемещать положение сечения с помощью колесика мыши.

Следует отметить, что некоторые точки были ошибочно автоматически распознаны как наземные или наземные. Однако цвет точек был предназначен лишь для помощи аналитику данных,

который в любом случае должен был вручную провести всесторонний поиск форм и признаков, которые не могут быть достаточно стандартизированы для автоматического распознавания.

Места расположения полостей, выявленные в результате такого анализа,

были затем использованы для наземных обследований. Участок № 1 действительно является известным входом в гробницу VIII и расположен в месте, вызвавшем интерес при воздушном лазерном сканировании и выделенном на рисунке 4 (и хорошо видно на рисунке 5, в). На рисунке 8 показаны две фотографии этого участка, сделанные с земли. Видно, что искомая полость почти незаметна даже вблизи, поскольку в основном покрыта густым кустарником и более низкими растениями, выглядывающими также изнутри полости.

На участке № 2 имеется относительно недавно созданный резервуар для воды рядом с небольшой пещерой, частично закрытой стенкой из каменной кладки, построенной без раствора, двумя бочками и панелью. Даже если он не представляет археологического интереса, он является искусственным сооружением и, соответственно, кандидатом на исследование. Отметим, что этот резервуар расположен в левом нижнем углу рисунка 9 и почти полностью скрыт под растительностью.

Другой способ изучения данных заключается в создании ячеистой структуры из точек облака, помеченных как наземные. Таким образом также можно исследовать поверхность под растительным покровом, чтобы найти вызывающие интерес участки. Конечно, полученное таким образом изображение поверхности является неполным, а некоторые точки отнесены к наземным ошибочно (особенно там, где густой кустарник простирается до самой земли, что частично вводит алгоритм в заблуждение, заставляя его считать землю единственной поверхностью, которая фактически присутствует в этом облаке точек.

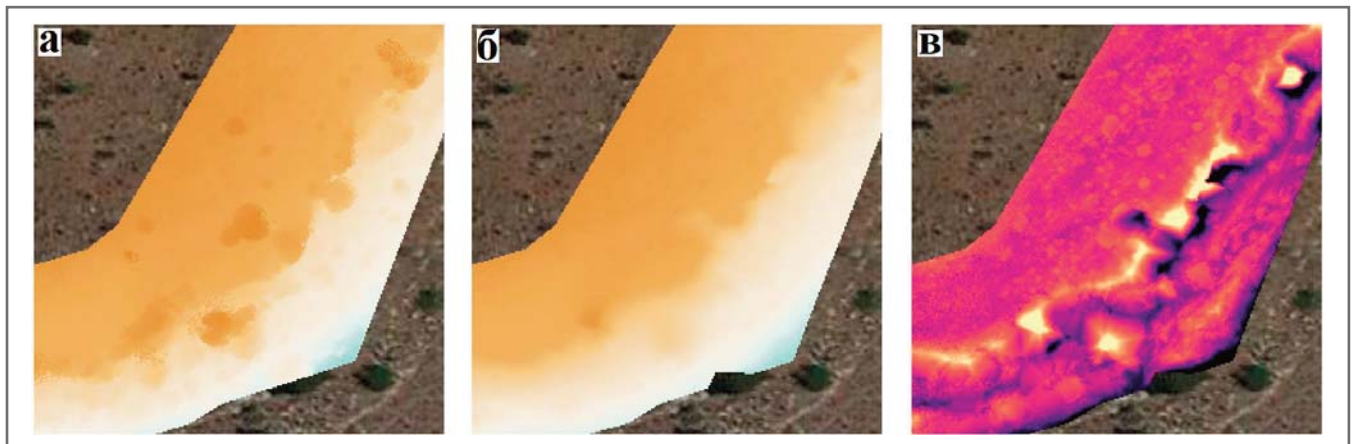


Рис. 5. Один и тот же участок на: а – цифровой модели местности (ЦММ); б – цифровой модели рельефа, то есть поверхности грунта (ЦМР); в – изображении, являющемся разностью между исходной ЦМР и ее сглаженной версией (примерно в центре видно присутствие относительно узкого углубления под небольшим деревом – на рисунке 4 это место обведено зеленой окружностью)

Тем не менее такие изображения в некоторых случаях могут сделать поверхностные аномалии более очевидными по сравнению с разрезами. Это относится, например, к участку № 1, как видно из рисунка 10.

Обсуждение результатов ►

Представленный в статье пример – это экспериментальная съемка с помощью лидара, установленного на дроне, для предварительного археологического обследования в относительно сложных условиях, когда небольшие и геометрически неправильные артефакты покрыты густым кустарником.

Анализ полученных облаков точек выполнялся вручную путем тщательного исследования разрезов этих облаков. Даже если не было возможности использовать алгоритм автоматического обнаружения, изучение лидарных данных было значительно проще и быстрее, чем наземное обследование территории. Конечно, результаты анализа данных воздушного лазерного сканирования требуют проверки путем непосредственного осмотра, но, как подтвердило выполненное исследование, этот осмотр становится более эффективным после такого анализа.

Однако в рассмотренных в данной статье условиях интересные особенности оказались едва уловимыми, их было трудно однозначно охарактеризовать и было легко спутать с природными объектами. По этой причине авторы статьи прибегли к экспертному изучению топографических деталей, но обобщение стадии выявления интересных объектов в данном конкретном случае оказалось труднодостижимым.

Дальнейшее развитие этого исследования будет направлено на такое улучшение методологии, чтобы сделать ее более автоматической и применимой к различным ситуациям (например, обеспечить выбор объективных характеристик, связанных с искусственными структурами, и использовать машинное обучение).

В тех случаях, когда целью изысканий является обнаружение объектов более четкой формы (дорог, троп, следов стен, более крупных углублений и т. д.), анализ сетки наземных точек может частично или полностью проводиться автоматически, а не вручную, например путем изучения карт градиентов, полученных по сетке (то есть по цифровой модели рельефа на ее основе). С другой стороны, для использования методов глубокого структурированного машин-

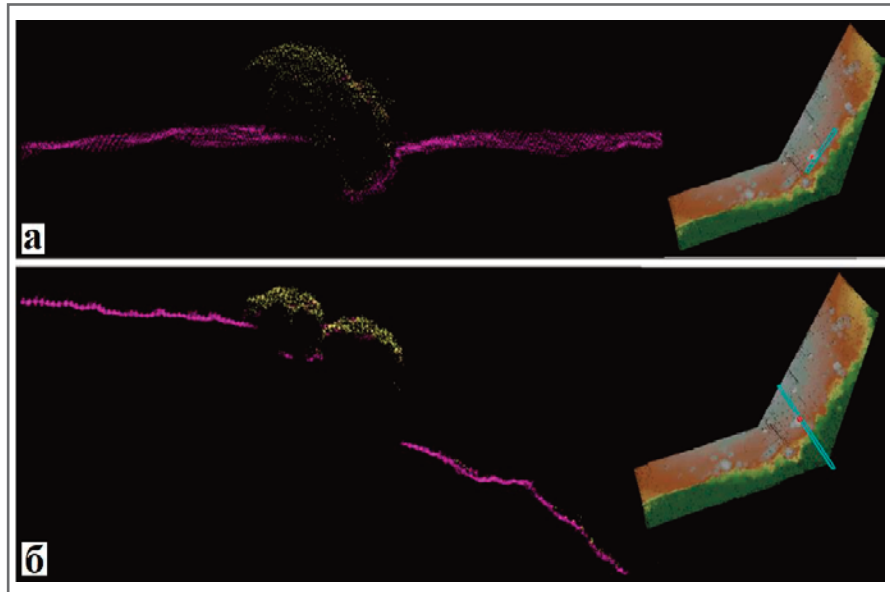


Рис. 6. Разрезы облака точек (где наземные точки окрашены в фиолетовый цвет, а неназемные – в желтый), соответствующие участку № 1 (обведенному на рисунке 4 зеленой окружностью): а – разрез примерно вдоль края плато; б – разрез, примерно перпендикулярный краю плато. На видах сверху, представленных в правых частях рисунков «а» и «б», голубым цветом показаны линии разрезов, а красными точками – примерное расположение интересующего места. Изображения получены с помощью программ FugroViewer и LAStools

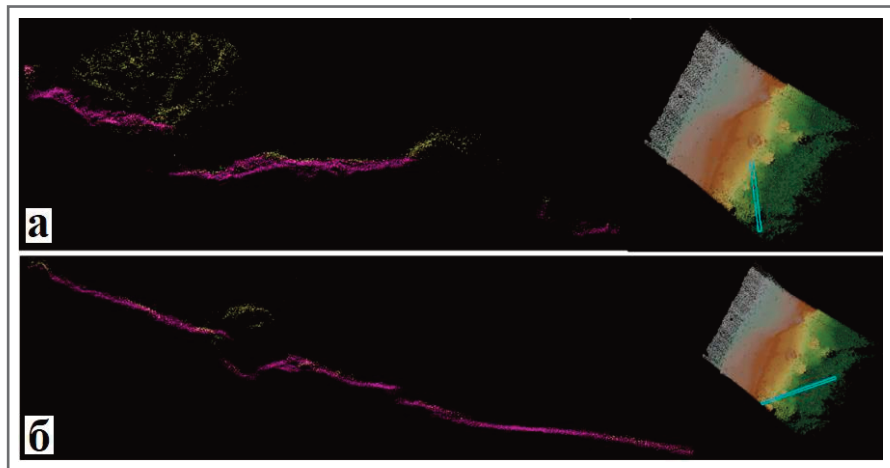


Рис. 7. Разрезы облака точек (где наземные точки окрашены в фиолетовый цвет, а неназемные – в желтый), соответствующие участку № 2 (обведенному на рисунке 4 желтой окружностью), сделанные вдоль двух ортогональных направлений, не ориентированных непосредственно относительно края плато: а – разрез, протягивающийся приблизительно с севера на юг; б – разрез, протягивающийся приблизительно с востока на запад. На видах сверху, представленных на вставках в правых частях рисунков «а» и «б», голубым цветом показаны линии разрезов. Изображения получены с помощью программ FugroViewer и LAStools

ного обучения требуется большая база данных для относящихся к делу случаев, которая не была доступна на данном этапе.

Поверхность земли, «извлеченная» из данных лидарной съемки, представляет собой наилучшие исходные топографические данные для поддержки получения информации с помощью других инструментов дистанционного зондирования, наземных съемок или непосредственных измерений, которые так-

же направлены на создание BIM-модели исследуемой площадки. Цифровая модель рельефа, полученная с помощью лидара воздушного базирования, очень точна (ошибка позиционирования составляет порядка 0,1 м) и описывает местность более точно, чем фотограмметрическая 3D-модель, в то время как было бы очень полезно интегрировать последнюю в ЦМР для обеспечения более высокого разрешения визуализированных данных.



Рис. 8. Две фотографии участка № 1 (см. рис. 4 и 5, в)



Рис. 9. Фотография участка № 2 (см. рис. 4)

Заключение ►

В данной статье был описан пример предварительного экспериментального обследования территории, частично изученной в археологическом отношении (но рассматривавшейся как неизученная), с помощью лидара, установленного на БПЛА. Эта съемка охватила несколько гектаров менее чем за полчаса. После этого в течение нескольких часов выполнялись предварительная обработка и анализ данных.

Проведенное исследование доказало, что лидар на дроне может быстро и довольно легко предоставить очень полезную исходную информацию для обнаружения скрытых искусственных структур. При этом повысить качество анализа и достоверность интерпретации может интеграция лидарных данных с информацией, полученной с помощью других методов дистанционного зондирования, наземных съемок и непосредственных обследований. ■

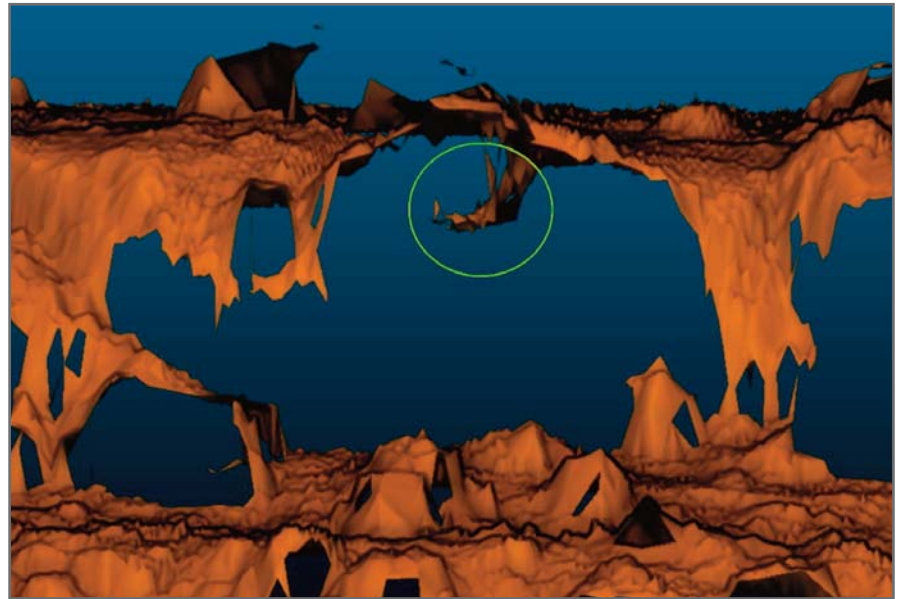


Рис. 10. Изображение ячеистой структуры для участка № 1 (см. рис. 4), сделанное в горизонтальном направлении с позиции перед краем плато. Изображение вертикального уступа здесь отсутствует, потому что этих результатов не дало лазерное сканирование сверху. Но такой просвет позволяет еще легче различить вход в гробницу по ступени перед ним, обведенной зеленым цветом

Источник для сокращенного адаптированного перевода ►

Balsi M., Esposito S., Fallavollita P., Melis M.G., Milanese M. Preliminary archaeological site survey by UAV-Borne Lidar: a case study // *Remote Sensing*. 2021. Vol. 13. P. 332. DOI: doi.org/10.3390/rs13030332. URL: mdpi.com/2072-4292/13/3/332.

Источник для сокращенного адаптированного перевода ►

1. Benner S.M., Brodkey R.S. Underground heat detection using differential heat analysis // *Archaeometry*. 1984. Vol. 26. P. 21–36.
2. Bozoki-Ernyey K. *European preventive archaeology*. Budapest, Hungary: National Office of Cultural Heritage, 2007.
3. Burgers G.L.M., Kluiving S.J., Hermans R.A.E. (eds.). *Multi-inter- and transdisciplinary research in landscape archaeology // Proceedings of the 3rd International Landscape Archaeology Conference in Rome, Rome, Italy, 17–20 September 2014*. Amsterdam, The Netherlands: University Library, Vrije Universiteit, 2016.
4. Cambi F. *Archeologia dei paesaggi antichi: fonti e diagnostica*. Roma, Italy: Carocci, 2003.
5. Campana S., Piro S. *Seeing the unseen*. London, UK: Taylor and Francis, 2009.
6. Casana J., Kantner J., Wiewel A., Cothren J. Archaeological aerial thermography: a case study at the Chaco-era Blue J community, New Mexico // *J. Archaeol. Sci.* 2014. Vol. 45. P. 207–219.
7. Cavalli R.M. Integrated approach for archaeological prospection exploiting airborne hyperspectral remote sensing // *Good Practice in Archaeological Diagnostics*. Cham, Switzerland: Springer, 2013. P. 87–112.
8. Chase A.F., Chase D.Z., Weishampel J.F., Drake J.B., Shrestha R.L., Slatton K.C., Awe J.J., Carter W.E. Airborne LiDAR, archaeology, and the ancient Maya landscape at Caracol, Belize // *J. Archaeol. Sci.* 2011. Vol. 38. P. 387–398.
9. Citter C., Arnold-Huyzenveeld A. New approaches to old issues. The application of predictive maps in archaeology. A case study: modelling the location the Grosseto salt work from 700 BC to AD 1200 // *Mediev. Settl. Res.* 2012. Vol. 27. P. 1–11.

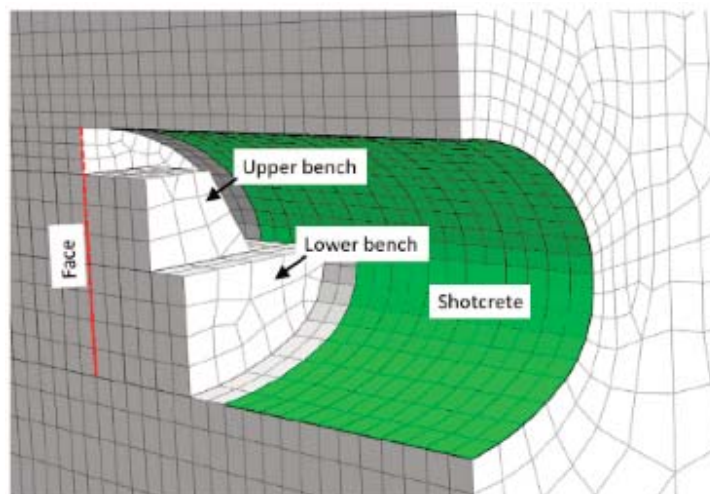
10. Corsi C., Slapsak B., Vermeulen F. (eds.). Good practice in archaeological diagnostics: non-invasive survey of complex archaeological sites. Cham, Switzerland; Heidelberg, Germany; New York, NY, USA; Dordrecht, The Netherlands; London, UK: Springer, 2013.
11. Data for paper "Preliminary archeological site survey by UAV-Borne LiDAR" // Mendeley Data. V1. The last accessed date: 18 January 2021. URL: <https://data.mendeley.com/datasets/wbkky67dvc/2>.
12. De Reu J., Bourgeois J., Bats M., Zwertvaegher A., Gelorini V., De Smedt P.; Chu W., Antrop M., De Maeyer P., Finke P. et al. Application of the topographic position index to heterogeneous landscapes // *Geomorphology*. 2013. Vol. 186. P. 39–49.
13. Gull P. *Archeologia preventiva*. Palermo, Italy: Dario Flaccovio Editore, 2015.
14. Lopez F.J., Leronés P.M., Llamas J., Gomez-García-Bermejo J., Zalama E. A review of heritage building information modeling (H-BIM) // *Multimodal Technol. Interact*. 2018. Vol. 2. P. 21.
15. Melis M.G. (ed.). Usini. Nuove ricerche a S'Elighe Entosu // *Quaderni del LaPARS 2*. Sassari, Italy: Università di Sassari, LaPARS, 2016.
16. Melis M.G. (ed.). Usini. Ricostruire il passato. Una ricerca internazionale a S'Elighe Entosu. Sassari, Italy: Carlo Delfino Editore, 2010.
17. Moyes H.; Montgomery S. Locating cave entrances using lidar-derived local relief modeling // *Geosciences*. 2019. Vol. 9. P. 98.
18. Piga C., Piroddi L., Pompianu E., Ranieri G., Stocco S., Trogu A. Integrated geophysical and aerial sensing methods for archaeology: a case history in the punic site of Villamar (Sardinia, Italy) // *Remote Sens*. 2014. Vol. 6. P. 10986–11012.
19. Poscetti V., Malatesta S.G., Cirilli V., Lella F., Rondinelli V., Esposito S., Balsi M. Preliminary results of the Castelmonardo project // *Archeologia Calcolatori*. 2017. Vol. 28. P. 391–402.
20. Riley S.J., DeGloria S.D., Elliot R. A terrain ruggedness index that quantifies topographic heterogeneity // *Intermt. J. Sci*. 1999. Vol. 5. P. 23–27.
21. Rowlands A., Sarris A. Detection of exposed and subsurface archaeological remains using multi-sensor remote sensing // *J. Archaeol. Sci*. 2007. Vol. 34. P. 795–803.

Независимый электронный журнал **ГеоИнфо**

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



WWW.GEOINFO.RU



Источник изображения: [1]
(The image source: [1])

СТРАТЕГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ТОННЕЛЯ МЕТОДОМ НАМТ В ЭЛЮВИАЛЬНЫХ ГРУНТАХ В г. САН-ПАУЛУ (БРАЗИЛИЯ). Часть 1

Переводная статья

ВИТАЛИ О.П.М.

Университет Сан-Паулу (USP),
г. Сан-Паулу, Бразилия,
orpmvitali@gmail.com
Адрес: Бразилия, 05508-220,
шт. Сан-Паулу, г. Сан-Паулу, район
Бутанта, ул. Реитория, д. 374,
Университетский городок

СЕЛЕСТИНО Т.Б.

Инженерный институт Сан-Карлоса
Университета Сан-Паулу (EESC/USP),
г. Сан-Карлос, Бразилия
Адрес: Бразилия, 13566-590, шт. Сан-
Паулу; г. Сан-Карлос;
ул. Трабаладор-сан-карленси, д. 400

БОБЕТ А.

Университет Пердью, г. Уэст-Лафейетт,
США
Адрес: США, 47907, штат Индиана,
г. Уэст-Лафейетт, Университет Пердью

АННОТАЦИЯ

Предлагаем вниманию читателей немного сокращенный адаптированный перевод статьи «Стратегии строительства тоннеля методом НАМТ в коре выветривания в г. Сан-Паулу (Бразилия)» [1], опубликованной на английском языке в журнале *Underground Space* в 2022 году. Ее авторами являются специалисты из Бразилии и США Освальдо Витали, Тарсизио Селестино и Антонио Бобет. Перевод выполнен Константином Скоробогатько – руководителем технического отдела ООО «МИДАС» (российского представительства южнокорейской компании MIDAS IT) и публикуется в журнале «Геоинфо» с разрешения авторов оригинальной статьи, ссылка на которую приведена в конце.

Тоннели в городских условиях часто приходится прокладывать в слабых грунтах на небольшой глубине под наземными или заглубленными зданиями и сооружениями. При этом выемка бывает ограничена минимально допустимыми деформациями грунта. Все это усложняет проектирование и строительство. В подобных ситуациях широко и успешно применяется новый австрийский метод тоннелестроения (НАМТ).

В переведенной статье проанализированы данные по строительству тоннеля «Параисо» системы метро бразильского города Сан-Паулу. Численное моделирование для этого тоннеля выполнялось в 3D постановке с использованием такой комплексной геомеханической (конститутивной) модели, как модель упрочняющегося грунта (Hardening Soil Model), в конечноэлементном программном комплексе midas GTS NX от компании MIDAS IT.

Полученные результаты предоставили качественную и количественную информацию о деформировании грунта, вызванном проходкой тоннеля методом НАМТ в пористых грунтах коры выветривания, и могут помочь проектировщикам и подрядчикам в выборе оптимальных методов создания подобных сооружений в похожих условиях для минимизации деформаций грунта.

Сегодня публикуем первую часть перевода, в которой будут рассмотрены ключевые характеристики нового австрийского метода тоннелестроения (НАМТ), особенности его применения в тропических регионах, общая

информация о проекте строительства тоннеля «Параисо» в г. Сан-Паулу, данные о калибровке модели окружающего его грунта и численное моделирование строительства тоннеля и поведения вмещающего его грунтового массива.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

тоннель; новый австрийский метод тоннелестроения (НАМТ); грунты коры выветривания; элювиальные грунты; метод конечных элементов (МКЭ); трехмерные воздействия забоя; деформации грунта; устойчивость забоя

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Витали О.П.М., Селестино Т.Б., Бобет А. Стратегии строительства тоннеля методом НАМТ в элювиальных грунтах в г. Сан-Паулу (Бразилия). Часть 1 (пер. с англ.) // ГеоИнфо. 2022. № 5 С. 36–47

CONSTRUCTION STRATEGIES FOR A NATM TUNNEL IN SAO PAULO, BRAZIL, IN RESIDUAL SOIL. Part 1

Translated paper

OSVALDO P. M. VITALI

University of Sao Paulo (USP), Sao Paulo, Brazil, opmvitali@gmail.com
Address: 374 R. da Reitoria, Cidade Universitaria, Butanta, Sao Paulo, SP, 05508-220, Brazil

TARCISIO B. CELESTINO

Sao Carlos Engineering School, University of Sao Paulo (EESC/USP), Sao Carlos, Brazil, diretoria@eesc.usp.br
Address: 400 Avenida Trabalhador sao-carlense, Sao Carlos, SP, EdifTcio E-1, 13566-590, Brazil

ANTONIO BOBET

Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA
Address: Purdue University, West Lafayette, IN, 47907, USA

ABSTRACT

We bring to the attention of our readers a slightly abridged and adapted translation of the article "Construction strategies for a NATM tunnel in Sao Paulo, Brazil, in residual soil" [1], published in English in the *Underground Space journal* in 2022. The authors of it are specialists from Brazil and from the USA. They are Osvaldo Vitali, Tarcisio Celestino, and Antonio Bobet. The abridged and adapted translation was made by Konstantin Skoroboga'tko who is the head of the Technical Department of MIDAS LLC (the Russian agency of MIDAS IT, which is a South Korean company). It is published in the *Geoinfo journal* with the permission of the authors of the original paper, the reference to which is given at the end.

Tunnels in urban areas often have to be constructed in soft soils at shallow depths under above-ground buildings and structures or buried ones. At that, the excavation is limited by the minimum permissible soil deformations. All those conditions complicate the design and construction in urban territories. In such situations, the New Austrian Tunneling Method (NAMT) is widely and successfully used.

The translated article analyzes the data on the construction of the Paraiso tunnel of the subway system of the Brazilian city of Sao Paulo. Numerical modeling for this tunnel was performed in 3D using such a complex geomechanical (constitutive) model as the Hardening Soil Model in the midas GTS NX finite element program from MIDAS IT company.

The obtained results have provided qualitative and quantitative information about the soil deformations caused by tunneling in porous residual soils with the use of the NAMT method. And they can help designers and contractors choose the best methods for creating similar structures in similar conditions to minimize soil deformations.

Today, we are publishing the first part of the translation, which will consider the key characteristics of the New Austrian Tunneling Method (NAMT), the features of its application in tropical regions, general information about the construction project of the Paraiso tunnel in Sao Paulo, data on the calibration of the model of the surrounding soil, and numerical modeling of the tunnel and enclosing soil mass.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

tunnel; New Austrian Tunneling Method (NAMT); residual soil; finite element method (FEM); 3D face effects; soil deformation; face stability

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Vitali O.P.M., Celestino T.B., Bobet A. Strategii stroitel'stva tonnel'nykh metodom NAMT v eluvial'nykh gruntah v g. San-Paulu (Braziliya). Part 1 (per. s angl.) [Construction strategies for a NATM tunnel in Sao Paulo, Brazil, in residual soil. Part 1 (translated from English)]. *GeoInfo*. 2022. №5: 36–47

ВВЕДЕНИЕ ►

Массовый рост городов создает большой спрос на надежную подземную инфраструктуру. Тоннели в городских условиях часто приходится строить на небольшой глубине в слабых грунтах под наземными или заглубленными зданиями или сооружениями. Выемка при этом ограничена минимально допустимыми деформациями грунта. Все это усложняет проектирование и строительство.

Новый австрийский метод тоннелестроения (НАМТ) (от англ. New Austrian Tunneling Method – NATM) широко и успешно применяется для проходки неглубоких тоннелей в городских районах со сложными условиями. Например, этот метод в комплексе с укреплением (первичной обделкой) внутренних поверхностей тоннелей с помощью набрызг-бетона, или торкрет-бетона (от англ. Sprayed Concrete Lining – SCL), то есть методом торкретирования, широко используется в крупных городах тропических регионов. К сожалению, к настоящему моменту проведено мало исследований для оценки деформаций в элювиальных грунтах, распространенных в тропиках.

В данной статье собрана информация по строительству тоннеля «Параисо» системы метро города Сан-Паулу (Бразилия). В программном комплексе *midas GTS NX* (от компании MIDAS IT), предназначенном для решения геотехнических задач любого уровня, был выполнен трехмерный анализ с тщательным моделированием всей последовательности строительства рассматриваемого тоннеля.

Данные по неглубокому тоннелю «Параисо», проложенному в глинистых грунтах с широким диапазоном прочности и деформируемости, были хорошо задокументированы бразильскими специалистами в ряде исследований (список тех из них, которые использовались для написания переведенной статьи, приведен в конце). Результаты, полученные авторами данной работы, предоставили качественную и количественную информацию о деформировании грунта, вызванном проходкой тоннеля методом НАМТ в пористых грунтах коры выветривания, и могут помочь проектировщикам и подрядчикам в выборе оптимальных методов создания подобных сооружений в похожих условиях для минимизации деформаций грунта.

Ключевые преимущества метода НАМТ включают относительно простое исполнение, большую гибкость на этапе

строительства и снижение затрат на реализацию проекта.

Процесс создания тоннелей с использованием этого метода может оказывать значительное влияние на деформации вмещающих их грунтовых массивов. Он основан на последовательной выемке грунта в зоне забоя по частям и в соответствующем последовательном выполнении обделки (почти сразу после выемки) для уменьшения деформаций. В городских районах все это обычно производится небольшими шагами. Как правило, выемка начинается у свода, а затем последовательно (например, по ступеням или уступам) продвигается к обратному своду. Первичная обделка тоннеля обычно производится торкрет-бетоном в сочетании с арматурой из фибры или сварной проволочной сетки, стальными ребрами жесткости (арками), анкерными болтами и пр.

Во время строительства тоннеля выполняется мониторинг деформаций его обделки и вмещающего его грунтового массива, а полученные результаты измерений сравниваются с показателями деформаций, спрогнозированными при проектировании. Поэтому выемку грунта и создание обделки можно оптимизировать по мере появления новых данных прямо во время строительства.

В тропических регионах распространены латеритные (красные) элювиальные грунты. Они могут быть сильно выветрелыми и обильно выщелоченными, поэтому коэффициент их пористости может оказаться высоким, а структура – неустойчивой и слабосвязной. Прокладка тоннелей в таких грунтах может приводить к сильным деформациям грунтовых массивов, что, в свою очередь, оказывает воздействие на близлежащие наземные и заглубленные здания и сооружения.

Например, Ортигао и др. (Ortigaо et al., 1996) и Маркес (Marques, 2006) сообщали, что во время выемки нескольких километров грунтов для строительства участка метро в городе Бразилия в элювиальных пористых грунтах произошли большие деформации и осадки дневной поверхности вплоть до 500 мм. Они также отмечали необычное поведение вмещающих тоннель грунтов: вертикальные смещения уменьшались с глубиной (осадки на поверхности грунта были больше, чем у свода тоннеля), что противоречило ожидаемому поведению. Соотношение осадок на поверхности и у свода тоннеля находилось в диапазоне 1,2–1,3. Такое поведение, например, Ортигао и Ма-

седо (Ortigaо, Macedo, 1993) посчитали связанным со склонностью выветрелого пористого грунта к сжатию (к «схлопыванию»).

Большие деформации грунта наблюдались и во время строительства в г. Сан-Паулу тоннеля «Параисо», проходка которого велась в элювиальном пористом грунте. Азеведо и др. (Azevedo et al., 2002) выполнили для этого тоннеля двумерный анализ методом конечных элементов (МКЭ) при помощи усовершенствованной комплексной геомеханической модели Ладе (Lade), чтобы описать поведение элювиального пористого грунта, вмещающего тоннель. Параметры этой модели были откалиброваны по результатам лабораторных испытаний ненарушенных образцов, которые провел Паррейра (Parreira, 1991). Азеведо и др. (Azevedo et al., 2002) отметили, что деформации грунта вокруг тоннеля лучше прогнозируются при помощи модели упрочняющегося грунта (Hardening Soil model), а не модели Мора – Кулона (Mohr-Coulomb model).

Альмейда-э-Соуза и др. (Almeida e Souza et al., 2011) отметили, что мулда оседания для этого тоннеля не была хорошо отражена эмпирической кривой Гаусса, тогда как кривая «текучесть – плотность» предложенная в работах Селестино и Руиса (Celestino, Ruiz, 1998) и Селестино и др. (Celestino et al., 2000), точно соответствует результатам реальных измерений.

Альмейда-э-Соуза и др. (Almeida e Souza et al., 2011) провели трехмерный конечноэлементный анализ для рассматриваемого тоннеля с использованием модели грунта Ладе с параметрами, которые откалибровали Паррейра (Parreira, 1991) и Азеведо и др. (Azevedo et al., 2002), и получили убедительное совпадение численных результатов с данными реальных измерений. Таким образом, было показано, что для правильного воспроизведения деформаций вокруг тоннеля следует использовать нелинейную геомеханическую модель. Альмейда-э-Соуза и др. (Almeida e Souza et al., 2011) также показали, что при 2D-анализе невозможно зафиксировать сложные траектории напряжений вблизи забоя. По данным Кантиени и Анагносту (Cantieni, Anagnostou, 2009), радиальные напряжения в грунте по периметру тоннеля увеличиваются перед забоем, уменьшаются до нуля на незакрепленном участке тоннеля и далее увеличиваются за обделкой тоннеля. Кроме того, как доказали Энджи и Ли (Ng, Lee, 2005), вблизи забоя мобилизуются

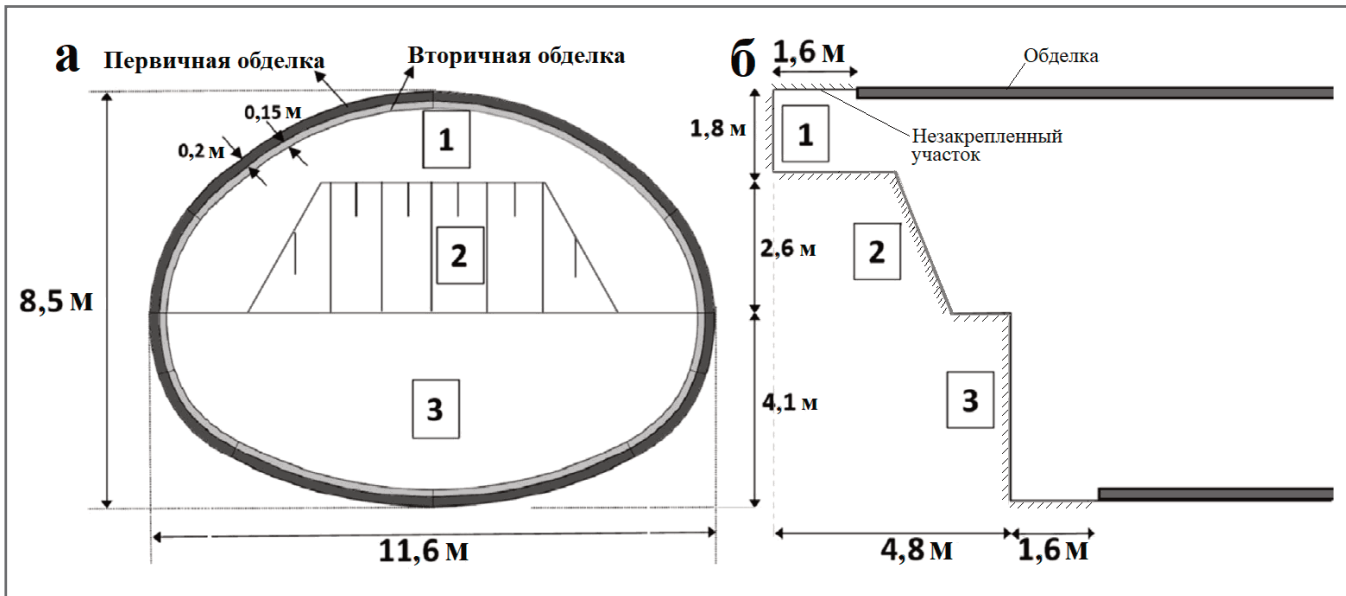


Рис. 1. Поперечное (а) и продольное (б) сечение тоннеля «Параисо» в зоне забоя. Выемка выполнялась в последовательности «1 – 2 – 3» от свода по двум уступам к обратному своду [1]

осевые (продольные) напряжения сдвига, которые могут оставаться мобилизованными (то есть не уменьшаются до нуля) далеко позади забоя. Как показал Эберхардт (Eberhardt, 2001), мобилизация осевых (продольных) напряжений сдвига вблизи забоя, обусловленная свойствами грунта, приводит к повороту основных направлений напряжений. Как отметил Моллер (Moller, 2006), попытки сопоставить методики 2D- и 3D-анализа показали, что так называемый коэффициент снижения напряжений (stress relief factor) существенно меняется в зависимости от рассматриваемых характеристик (то есть осадок на поверхности, на глубине или внутренних усилий в обделке) и от последовательности этапов строительства тоннеля.

Несмотря на большой спрос на тоннели мелкого заложения в пористых грунтах коры выветривания, подверженных сильным деформациям, на данный момент проведено недостаточное количество исследований, посвященных изучению деформаций грунта, вызванных созданием тоннелей.

Авторами данной статьи [1] был выполнен трехмерный конечноэлементный анализ тоннеля «Параисо» с использованием модели упрочняющегося грунта. Было получено убедительное совпадение численных результатов с данными полевых исследований. Затем эта модель использовалась для изучения влияния разных стратегий строительства на деформации грунта и устойчивость забоя. Несмотря на то что количественные результаты зависят от конкретных случаев, качественные вы-

воды (влияние выемки грунта в забое по частям или одновременно, длина незакрепленного участка, жесткость обделки и т.д.) являются общими и могут быть экстраполированы для разных сценариев.

ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ПРОЕКТЕ ►

Строительство тоннеля «Параисо» было завершено в 1991 году. Подробная информация об этом тоннеле представлена в работе Паррейры (Parreira, 1991).

На рисунке 1 показаны поперечное сечение тоннеля и последовательность выемки грунта. Поперечное сечение имело эллипсоидальную форму (ширину 11,6 м и высоту 8,5 м). Выемка выполнялась в последовательности «1 – 2 – 3» от свода по двум уступам к обратному своду (см. рис. 1). Выемка проводилась шагами по 1,6 м. Для повышения устойчивости забоя сохранялось два уступа. Сразу после выемки в зоне свода устанавливалось два комплекта стальных ребер, расположенных с шагом 0,8 м, и на внутреннюю поверхность тоннеля наносили слой набрызг-бетона толщиной 0,2 м. Выемку в зоне обратного свода проводили в 4,8 м от верхней части забоя, также продвигаясь шагами по 1,6 м. На обратный свод тоннеля также наносили слой набрызг-бетона толщиной 0,2 м, но армированного провололочной сеткой. Позже создавали вторичную обделку тоннеля из монолитного бетона (железобетона) толщиной 0,15 м.

Геотехническое исследование рассматриваемой территории выявило на-

личие (сверху вниз) тонкого слоя техногенного грунта, оставшегося от полигона твердых отходов, слоя элювиальной красной пористой глины, слоя элювиальной полутвердой пестроцветной глины и слоя очень плотной супеси. На границе между красной и пестроцветной глинами был обнаружен водоносный горизонт. Красная глина оказалась неводонасыщенной, и при возведении тоннеля водопритока из нее не наблюдалось. По этой причине при выемке из этого слоя понижение уровня грунтовых вод не проводилось.

Для рассмотренного поперечного сечения слой красной глины имел толщину 12 м, слой пестроцветной глины – 10,6 м.

Описанные грунтовые условия были такими же, как и принятые для анализа в работах Азеведо и др. (Azevedo et al., 2002) и Альмейда-э-Соуза и др. (Almeida e Souza et al., 2011). Верх свода тоннеля располагался на глубине 7,6 м от дневной поверхности. Выемка в зоне свода велась в красной глине, а в зоне обратного свода – в пестроцветной глине.

Как уже отмечалось, во время земляных работ велся мониторинг деформаций обделки тоннеля и вмещающего его грунтового массива. Осадки дневной поверхности грунта измерялись с использованием нивелирных марок. Вертикальные смещения над сводом тоннеля измеряли с помощью вертикальных экстензометров, а горизонтальные смещения вблизи пят свода тоннеля (его боков) – при помощи инклинометра. Деформации в первичной обделке из торкрет-бетона измеряли на своде

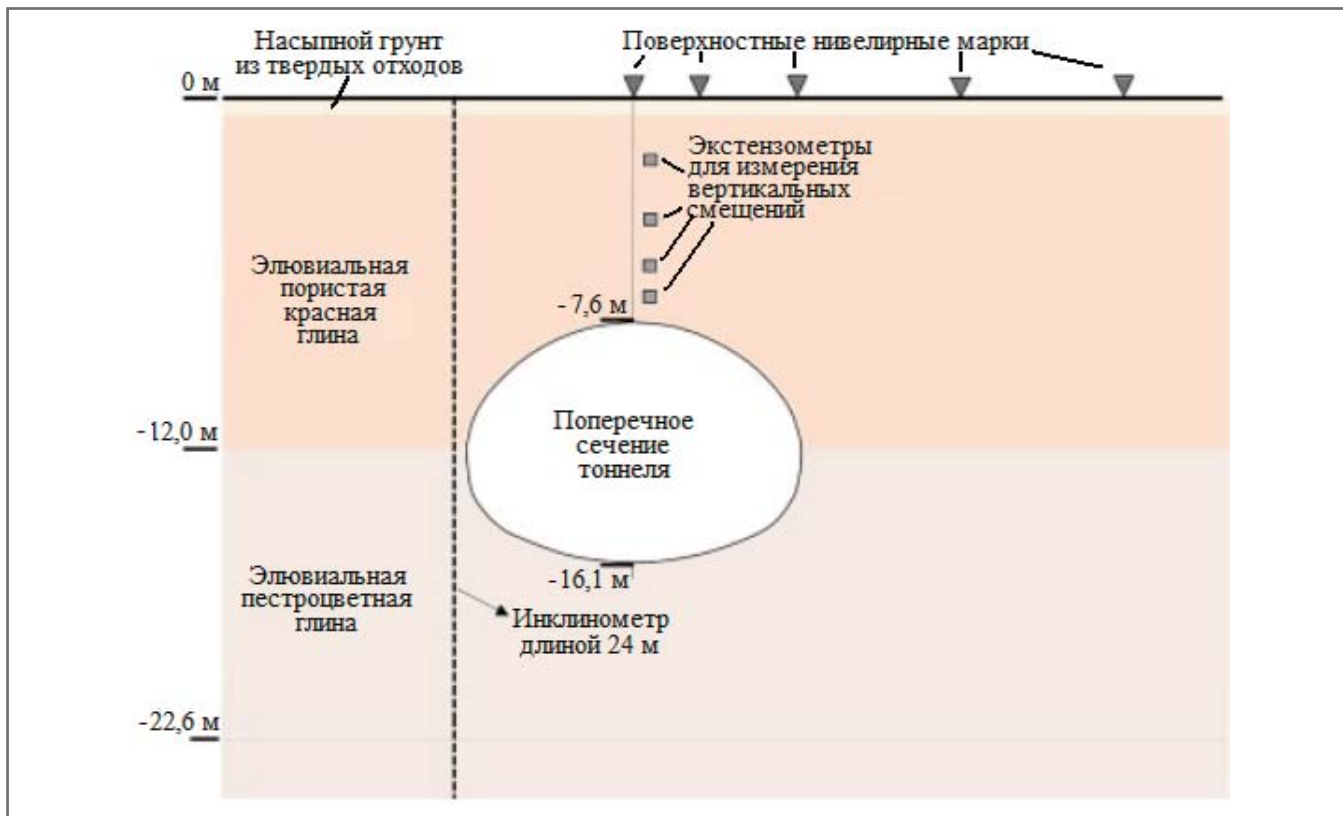


Рис. 2. Инженерно-геологические условия и контрольно-измерительная аппаратура для мониторинга поведения тоннеля и вмещающего его грунтового массива [1]

Таблица 1. Показатели свойств элювиальной красной пористой глины Сан-Паулу [1]

Показатель свойств	Из работы Массад и др. (Massad et al., 1992)		По результатам испытаний ненарушенных образцов (Parreira, 1991)			
			с глубины 3,5 м		с глубины 6,5 м	
	диапазон	среднее	диапазон	среднее	диапазон	среднее
Коеф. пористости e	1,38–1,85	1,54	1,49–1,77	1,62	1,47–1,57	1,52
Влажность w , %	33–47	41	40–44	41,5	40–43	41
Природный удельный вес γ_n , кН/м ³	13,5–16,5	15,2	13,6–15,1	14,4	14,1–15,1	14,7
Степень водонасыщения S_r , %	62–88	74	64–75	70	68–77	72,4

и по периметру тоннеля. На рисунке 2 схематично показаны инженерно-геологические условия и расположение контрольно-измерительной аппаратуры для мониторинга поведения обделки и вмещающих тоннель грунтов.

КАЛИБРОВКА МОДЕЛИ ПОВЕДЕНИЯ ЭЛЮВИАЛЬНОЙ КРАСНОЙ ПОРИСТОЙ ГЛИНЫ ►

Инженерно-геологические свойства элювиальной красной пористой глины широко изучены. Этот грунт классифицируется как латеритный. Его характеризуют сильная степень выветрелости и

выщелачивания, высокий коэффициент пористости и нестабильный состав. В 1990 году была обнаружена зависимость поведения таких грунтов от их состава (Leroueil, Vaughan, 1990), а годом позже Паррейра (Parreira, 1991) провел комплексные лабораторные испытания ненарушенных образцов этой глины, взятых в местах выемки с глубины 3,5 и 6,5 м. В таблице 1 приведены ее характеристики, определенные по результатам указанных испытаний, а также показатели свойств элювиальной пористой глины Сан-Паулу, взятые из работы Массад и др. (Massad et al., 1992).

Свойства образцов с глубины 3,5 и 6,5 м оказались схожими и попали в диапазон ожидаемых значений для элювиальной красной пористой глины Сан-Паулу. Следует обратить внимание на то, что эти грунты не являются водонасыщенными. Как отмечает Паррейра (Parreira, 1991), если содержание воды увеличивается, структура такого грунта разрушается, приводя к большим объемным деформациям.

На рисунке 3 представлены зависимости максимальных напряжений сдвига $q = (\sigma_1 - \sigma_3)/2$ и относительных объемных деформаций в зависимости от

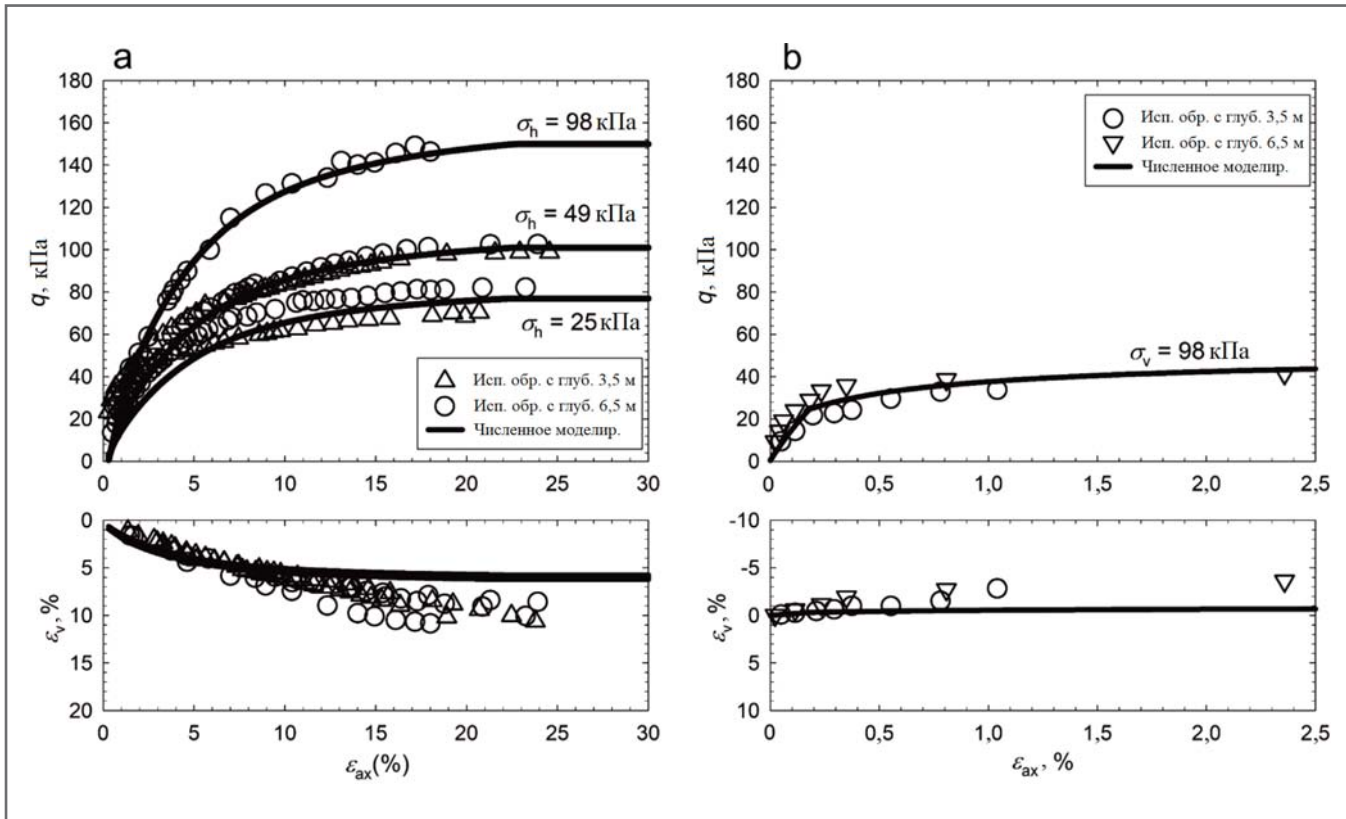


Рис. 3. Экспериментальные данные и результаты численного моделирования трехосных испытаний: а – трехосное сжимающее нагружение при всестороннем давлении 25, 49 и 98 кПа; б – разгрузка на ступени вертикального напряжения 98 кПа. Буквенные обозначения: σ_h – горизонтальное напряжение, σ_v – вертикальное напряжение, ϵ_v – относительная объемная деформация; ϵ_{ax} – относительная осевая деформация [1]

относительной осевой деформации, полученные по данным трехосных испытаний при нагружении (см. рис. 3, а) и разгрузке (см. рис. 3, б). Также показаны результаты численного моделирования трехосных испытаний – откалиброванные кривые на основе модели упрочняющегося грунта (Schanz et al., 1999). Последние, как видно из рисунка 3, неплохо соответствуют экспериментальным данным.

При сжимающем нагружении во время трехосных испытаний (см. рис. 3, а) грунт деформируется по гиперболической кривой приблизительно при 20%-ной осевой деформации. Примечательно, что начальная жесткость элювиальной красной пористой глины уменьшается по мере увеличения всестороннего давления с 25 до 98 кПа (Parreira, 1991). Такое поведение было бы неожиданным для обычных грунтов, но в данном случае это посчитали связанным со структурой грунта. Модель упрочняющегося грунта смогла неплохо отразить экспериментальные объемные деформации, поскольку они слабо зависели от всестороннего сжатия. Объемные деформации при трехосных испытаниях оказались значительными (до 12%), что было ожидаемо для элювиальных пористых грун-

тов из-за высокого коэффициента пористости и нестабильной структуры. Используемая комплексная геомеханическая модель грунта хорошо соответствовала объемным деформациям вплоть до осевой деформации около 10%, после чего она стала слегка занижать значения объемных деформаций.

Измерения на стадии разгрузки во время трехосных испытаний (см. рис. 3, б) показали начальное квазилинейное увеличение максимального напряжения сдвига с ростом осевой деформации до 0,2%. После этого максимальное напряжение сдвига увеличивалось совсем немного с ростом осевой деформации. Модель упрочняющегося грунта смогла воспроизвести это поведение. Но в отношении объемных деформаций модель спрогнозировала гораздо меньшее их увеличение при росте осевых деформаций, чем показали реальные испытания.

Воан и Кван (Vaughan, Kwan, 1984) показали, что по мере выветривания и выщелачивания природные горизонтальные напряжения в массиве грунтов уменьшаются. Они заметили, что, когда жесткость выветрелого грунта снизилась до 1% от первоначальной, естественное горизонтальное напря-

жение приблизилось к следующему пределу:

$$\frac{\sigma'_h}{\sigma'_v} = K_0 = \frac{\nu}{1-\nu},$$

где σ'_h – эффективное горизонтальное напряжение; σ'_v – эффективное вертикальное напряжение; K_0 – коэффициент бокового (горизонтального) давления грунта в состоянии покоя; ν – коэффициент Пуассона.

То же верно и для выветрелого пористого грунта. Согласно данным исследования Воана и Квана (Vaughan, Kwan, 1984) традиционные лабораторные испытания для определения K_0 разрушили структуру грунта, поэтому возникла тенденция к завышению величин K_0 . Ортигао и др. (Ortiga et al., 1995) выполнили измерения этого коэффициента *in situ* при помощи прессиометра Менара (в публикациях на русском языке часто пишут «Менарда», но это неправильно для этой фамилии французского происхождения. – *Ред.*) и получили значения K_0 , примерно равные 0,5.

В таблице 2 представлены откалиброванные параметры для модели упрочняющегося грунта. При определении наиболее подходящих значений параметров учитывались численные резуль-

Таблица 2. Откалиброванные параметры для модели упрочняющегося грунта, использованные при моделировании поведения элювиальной красной пористой глины Сан-Паулу [1]

$E_{50.ref}^*$ кПа	$E_{oed.ref}^*$ кПа	$E_{ur.ref}^*$ кПа	R_f	p_{ref} , кПа	n	Φ , град.	$K_{0,NC}$	ψ , град.	c , кПа	γ_n^* , кН/м ³	ν	OCR
6000	2000	12 000	0,9	50	1	30	0,5	0	30	15	0,27	1

(Буквенные обозначения параметров в таблице 2: $E_{50.ref}$ – эталонный модуль деформации (жесткость), соответствующий эталонному всестороннему давлению p_{ref} , равному бытовому давлению (наименьшему главному напряжению в условиях естественного залегания), кПа; $E_{oed.ref}$ – эталонный компрессионный (одометрический) модуль деформации, соответствующий эталонному всестороннему давлению p_{ref} , кПа (эталонная жесткость для первичной нагрузки в одометре); $E_{ur.ref}$ – эталонный модуль разгрузки и повторного нагружения при эталонном всестороннем давлении p_{ref} , кПа (эталонная жесткость при разгрузке/повторном нагружении); R_f – коэффициент разрушения (критерий разрушения – соотношение q_t/q_a , характеризующее интенсивность разрушения, которое должно быть меньше единицы, где: q_t – предельное девиаторное напряжение, являющееся пределом деформирования, рассчитанное по закону Кулона, кПа; q_a – асимптотический уровень прочности, к которому стремится зависимость между напряжениями и деформациями, кПа); n – показатель степени в степенном законе зависимости жесткости от уровня напряжений, задающий кривизну этой зависимости; φ – угол внутреннего трения; $K_{0,NC}$ – коэффициент K_0 , для нормальной консолидации; ψ – угол дилатансии, c – удельное сцепление, γ_n – удельный вес в условиях естественного залегания (природный); OCR – коэффициент переуплотнения. – Ped.).

таты трехмерного конечноэлементного моделирования тоннеля Параисо и вмещающего его грунтового массива. Другими словами, в таблице 2 представлены наилучшие прогнозы для выбранных лабораторных трехосных испытаний и для данных полевых исследований.

В таблице 3 приведены показатели свойств грунта, принятые для элювиальной пестроцветной глины, подстилающей элювиальную красную пористую глину (см. рис. 2). Те же показатели использовали в своей работе Альмейда-э-Соуза и др. (Almeida e Souza et al., 2011). Для описания поведения пестроцветной глины была принята модель Мора – Кулона, поскольку деформации в слое грунта были небольшими.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОННЕЛЯ ПАРАИСО И ВМЕЩАЮЩЕГО ЕГО ГРУНТОВОГО МАССИВА ▶

Для анализа поведения тоннеля Параисо и вмещающего его грунтового массива было выполнено трехмерное конечноэлементное моделирование в программном комплексе midas GTS NX, разработанном южнокорейской компанией MIDAS IT (MIDAS, 2019). Сетка конечных элементов была построена с использованием гексаэдрических элементов второго порядка и была достаточно мелкой для обеспечения точности численных результатов (Vitali et al., 2018; Vitali et al., 2021).

Размеры модели были выбраны таким образом, чтобы избежать влияния на результаты со стороны ее границ. Поскольку выемка грунта проводилась симметрично относительно вертикальной оси тоннеля, рассматривалась лишь половина тоннеля (рис. 4). Нижняя граница модели проходила между слоями пестроцветной глины и очень

Таблица 3. Параметры модели Мора – Кулона, использованные при моделировании поведения элювиальной пестроцветной глины [1]

E , МПа	Φ , град.	K_0	c , кПа	γ_n^* , кН/м ³	ν
120	25	0,84	66	18	0,17

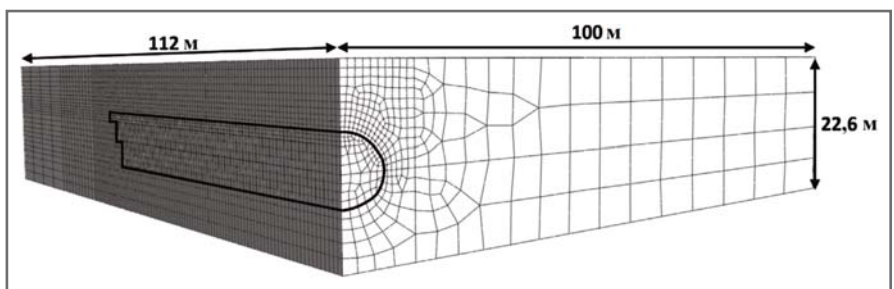


Рис. 4. Сетка конечных элементов и размеры модели в программе midas GTS NX [1]

плотной супеси (на 6,5 м ниже обратного свода). Взвешивающие гидростатические воздействия на тоннель были пренебрежимо малы, потому что нижняя граница сетки располагалась близко к тоннелю. Нижняя и боковые границы были зафиксированы так, чтобы не было их смещений в нормальных к ним направлениях. Горизонтальные смещения поверхности грунта были ограничены, чтобы учесть эффект дорожного покрытия, как рекомендовали Азеведо и др. (Azevedo et al., 2002) и Альмейда-э-Соуза и др. (Almeida e Sousa et al., 2011).

Элювиальная красная пористая глина оставалась в неводонасыщенном состоянии, в то время как элювиальная пестроцветная глина была полутвердой, трещиноватой и сильно переуплотненной. Поэтому для обоих этих слоев ожидалось дренированное поведение и при конечноэлементном анализе рассматривались дренированные условия. На уровне

обратного свода тоннеля был обнаружен водоносный горизонт, но в ходе строительства тоннеля Параисо ни разу не сообщалось о водопитоке, а деформации элювиальной пестроцветной глины были маленькими. Таким образом, влияние уровня грунтовых вод в данном конкретном случае не имело значения и поэтому не учитывалось при трехмерном конечноэлементном анализе.

На рисунке 5 представлен поперечный разрез рассматриваемой модели. Сетка была сделана более мелкой над сводом тоннеля и вблизи него по бокам, где деформации грунта были больше. При трехмерном анализе методом конечных элементов учитывалась описанная ранее последовательность создания тоннеля, как показано на рисунке 6.

Длина шагов выемки грунта составляла 1,6 м. А длина гексаэдрических элементов второго порядка была равна 0,8 м. Поэтому продольная густота сетки конечных элементов была доста-

точной для получения точных результатов (Vitali et al., 2018).

Работа модели предусматривала 37 этапов производства работ. На первом этапе было сгенерировано поле геостатических напряжений, в котором коэффициент бокового давления грунта в состоянии покоя K_0 был равен 0,5 для элювиальной красной пористой глины и 0,84 для элювиальной пестроцветной глины. На последующих этапах моделировались процессы выемки грунта и создания обделки (соответственно путем деактивации элементов, соответствующих определенной последовательности выемок, и активации элементов, представляющих обделку тоннеля). Первичная обделка тоннеля из торкрет-бетона и стальных ребер жесткости была представлена оболочечными конечными элементами толщиной 0,2 м с линейно-упругим поведением. Проскальзывание между грунтом и обделкой не допускалось. Эта обделка имела следующие показатели свойств: модуль Юнга $E = 5$ ГПа; коэффициент Пуассона $\nu = 0,2$. Величины жесткости, принятые для обделки, были довольно малы по сравнению с типичными ее значениями. Они были приняты для моделирования торкрет-бетона на ранней стадии твердения и уменьшенной конечной жесткости из-за нагрузки на торкрет-бетон на ранней стадии твердения (Golser, 2001).

На рисунке 7 показаны осадки дневной поверхности в зависимости от продольного расстояния от забоя тоннеля (см. рис. 7, а) и от поперечного горизонтального расстояния от вертикальной оси тоннеля (см. рис. 7, б), то есть продольный профиль и муфта осадок соответственно, полученные при мониторинге и при численном моделировании. Численные результаты и измеренные деформации грунта показали убедительное соответствие друг другу.

Продольный профиль осадок (см. рис. 7, а) имеет сигмоидальную форму. Осадки начинают увеличиваться в 20 м перед забоем (примерно на расстоянии двух диаметров тоннеля) и стабилизируются примерно в 20 м позади забоя. Измеренная осадка непосредственно над забоем тоннеля составила 41 мм, а по результатам численного моделирования – 45 мм. Далеко позади забоя измеренная осадка над сводом составила 85 мм, а модельная – 89 мм.

Как видно из рисунка 7, б, модельные осадки были близки к результатам измерений, за исключением участка примерно в 10 м вбок от вертикальной



Рис. 5. Поперечный разрез конечноэлементной модели тоннеля Параисо и вмещающего его грунтового массива в программе midas GTS NX [1]

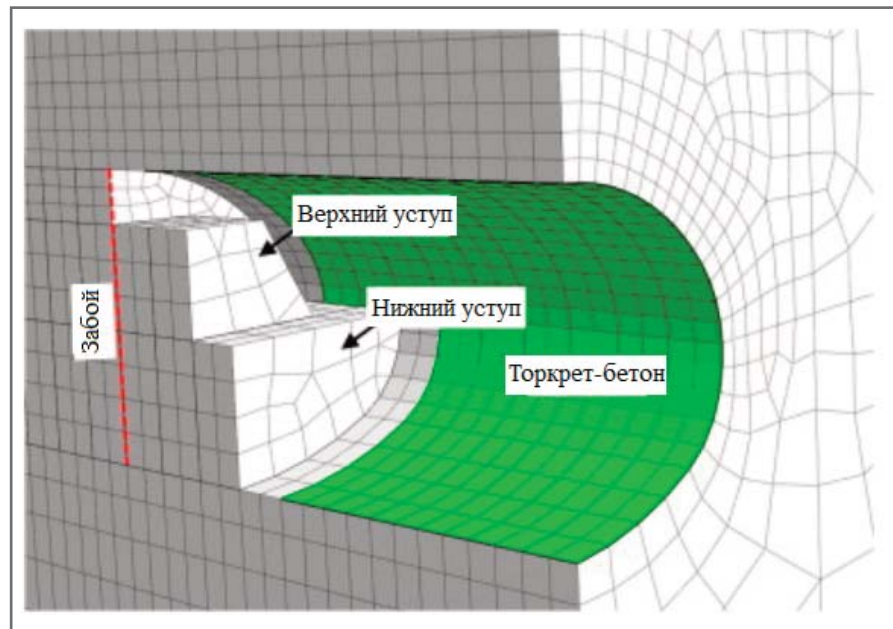


Рис. 6. Численное моделирование последовательности выемки грунта в забое тоннеля Параисо [1]

оси тоннеля, где модельная осадка оказалась равной 39 мм, а измеренная – 20 мм. Точная причина этого несоответствия неизвестна. Появлению такой разницы может способствовать ряд причин: неоднородность грунта, сложности в месте измерения и, безусловно, численные ошибки. Тем не менее эта модель достаточно точно спрогнозировала деформации грунта в других точках и размер муфты оседания, что свидетельствует о ее достоверности.

На рисунке 8 показаны вертикальные смещения грунта над сводом тоннеля на разной глубине и на разных расстояниях от забоя (расположение вертикального экстензометра показано на рисунке 2). Результаты численного моде-

лирования и данные мониторинга и здесь убедительно совпали. Вертикальные смещения оказались практически одинаковыми на разной глубине. Далеко позади забоя численная модель показала резкое уменьшение вертикальных смещений вблизи свода, что связано с трехмерными эффектами забоя. Подобное поведение отличалось от ожидаемого (Mair et al., 1993), при котором вертикальные смещения над сводом тоннеля увеличивались с глубиной. Возможно, это является результатом больших объемных деформаций, возникающих из-за повышенной сжимаемости элювиальных пористых грунтов (Ortígo, Macedo, 1993; Ortígo et al., 1996; Marques, 2006; Nakai et al., 1997).

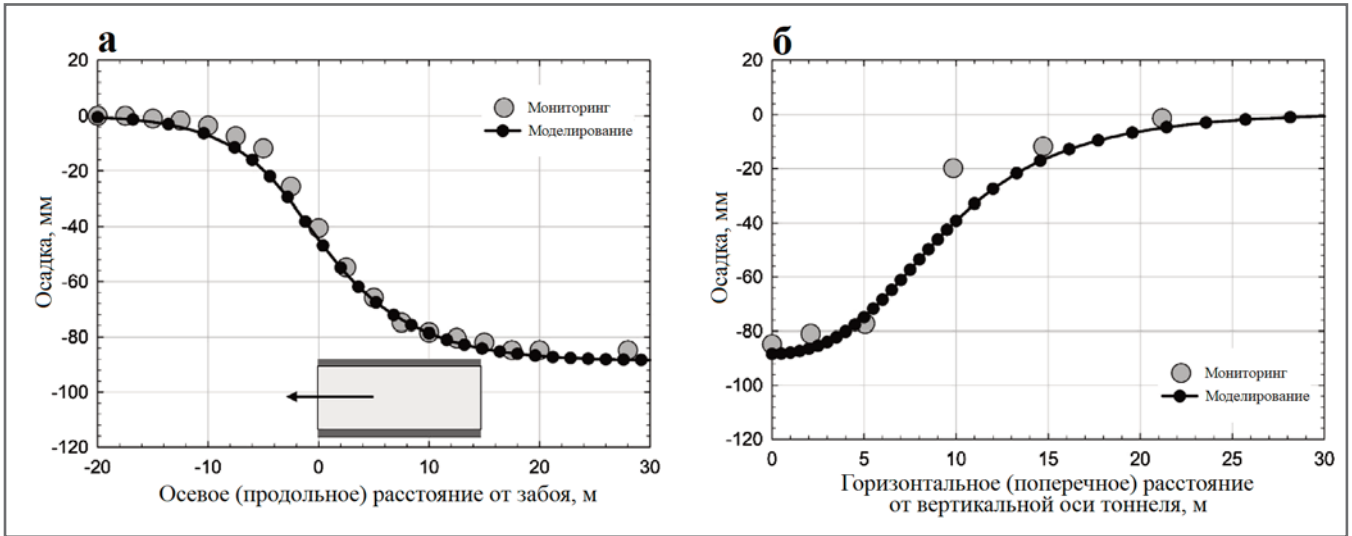


Рис. 7. Осадки поверхности грунта в зависимости от: а – осевого (продольного) расстояния от забоя тоннеля; б – горизонтального (поперечного) расстояния от вертикальной оси тоннеля

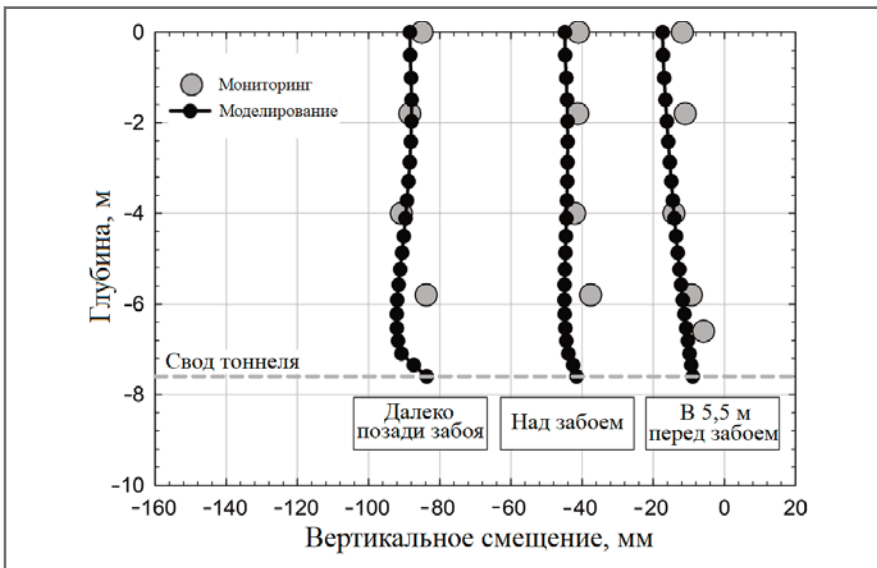


Рис. 8. Вертикальные смещения грунта над сводом тоннеля на разной глубине от дневной поверхности на разных расстояниях от забоя

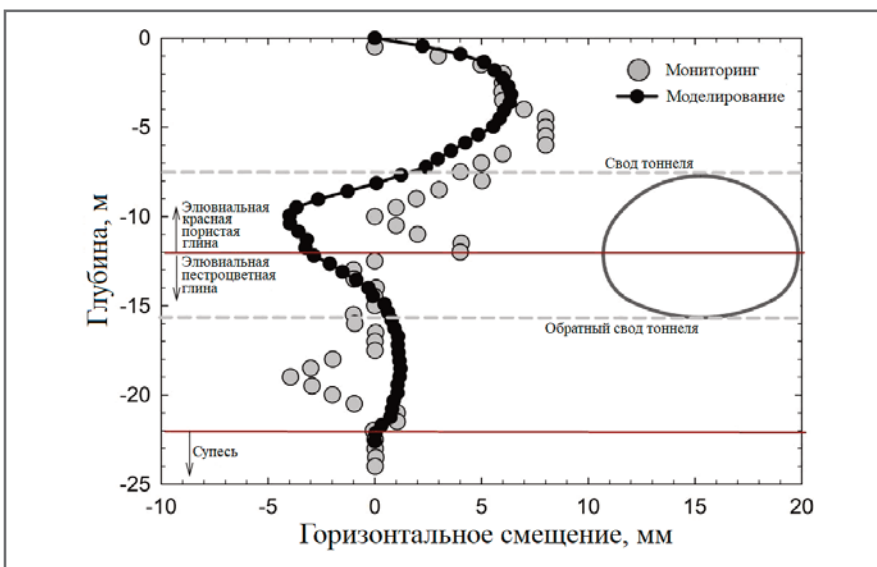


Рис. 9. Горизонтальные смещения вблизи боков (пят свода) тоннеля

На рисунке 9 изображены горизонтальные смещения вблизи боков (пят свода) тоннеля (расположение инклинометра представлено на рисунке 2). На дневной поверхности они оказались нулевыми, так как их сдерживала мостовая. Горизонтальные смещения увеличивались до достижения глубины около 6 м от поверхности (1,6 м над сводом тоннеля), а затем снижались до нуля на глубине 10 м. Затем они снова увеличивались, достигнув пика при переходе от элювиальной красной пористой глины к элювиальной пестроцветной глине. Ниже этой границы, на глубине 12 м, наблюдались очень незначительные смещения пестроцветной глины вплоть до глубины 18 м. На глубине от 18 до 20 м (на 2–4 м ниже обратного свода тоннеля) инклинометр зарегистрировал неожиданное увеличение горизонтальных смещений. На еще большей глубине деформации грунта, представляющего собой полутвердую глину, должны быть малы.

Относительно большие смещения, полученные при измерениях инклинометром, могут быть вызваны рядом причин: ошибками в измерениях или неоднородностью грунта в определенных местах, где он может быть более слабым. Численные результаты показали увеличение горизонтальных смещений до глубины 5 м, что совпало с данными мониторинга. Ниже этого уровня модельные горизонтальные смещения снизились, что также совпало с результатами измерений, однако первые превышали вторые. В пестроцветной глине модельные горизонтальные смещения оказались небольшими, как и ожидалось для этого полутвердого грунта.

На рисунке 10 показаны вертикальные смещения первичной обделки свода (торкрет-бетона со стальной арматурой) и относительные горизонтальные смещения боков тоннеля в зависимости от осевого (продольного) расстояния от забоя тоннеля. Смещения увеличивались с расстоянием от забоя до приблизительно 10 м позади него (примерно на один диаметр тоннеля), где деформации обделки стали постоянными. Большие деформации (вплоть до 46 мм) наблюдались в своде тоннеля, в то время как в обратном своде они были пренебрежимо малы. Смещения в двух местах по периметру тоннеля, рассчитанные с помощью численной модели, хорошо совпали с измеренными.

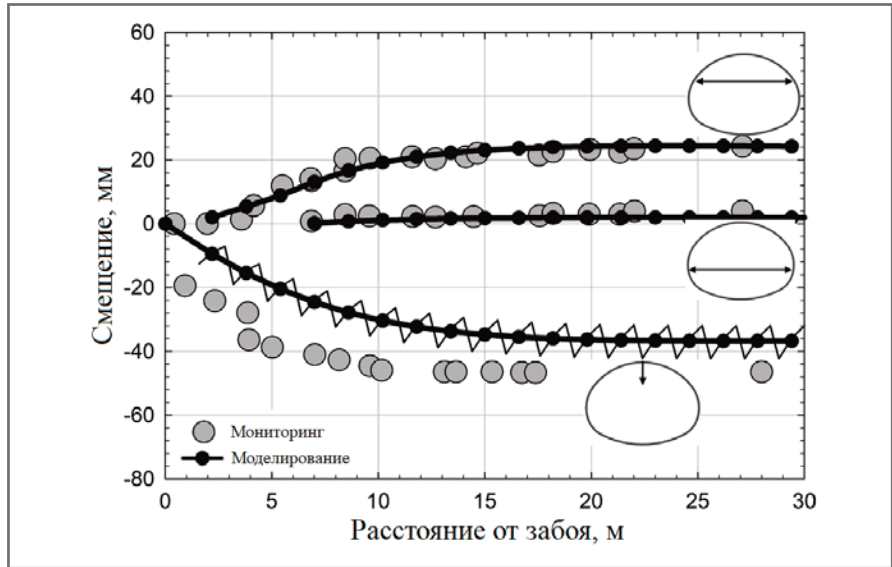


Рис. 10. Горизонтальные смещения первичной обделки (торкрет-бетона)

Изменения модельных вертикальных смещений свода имели пилообразную форму с колебаниями в диапазоне 33–43 мм. Среднее модельное смещение составило 38 мм, что на 8 мм ниже измеренных деформаций. Пилообразная форма проявилась и в других численных моделях тоннелей (Moller, 2006; Vitali et al., 2018) и была связана с резкой разницей в жесткости обделки и грунта на конце обделки рядом с забоем. Кроме того, период этого пилообразного графика соответствовал длине шага выемки/крепления грунта в численной модели.

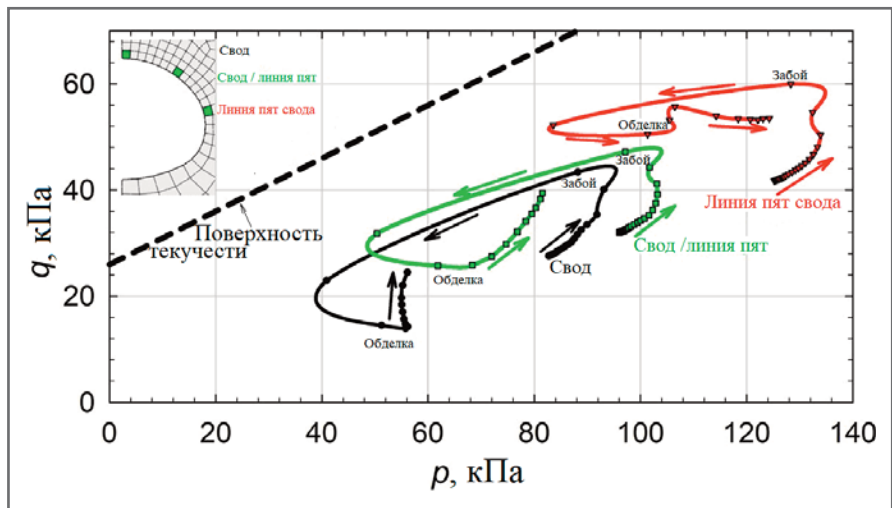


Рис. 11. Траектории напряжений для точек в грунте по периметру тоннеля [1]. Обозначения: q – максимальное напряжение сдвига, $q = (\sigma_1 - \sigma_3)/2$; p – среднее напряжение, $p = (\sigma_1 + \sigma_3)/2$ (Lambe and Whitman, 1969)

На рисунке 11 показаны траектории напряжений для точек в грунте по периметру на расстоянии 0,25 м от его контура (что позволило избежать сингулярности в остром углу забоя в месте, где забой пересекал периметр).

Были исследованы три точки: рядом с верхней частью свода, рядом с пятой

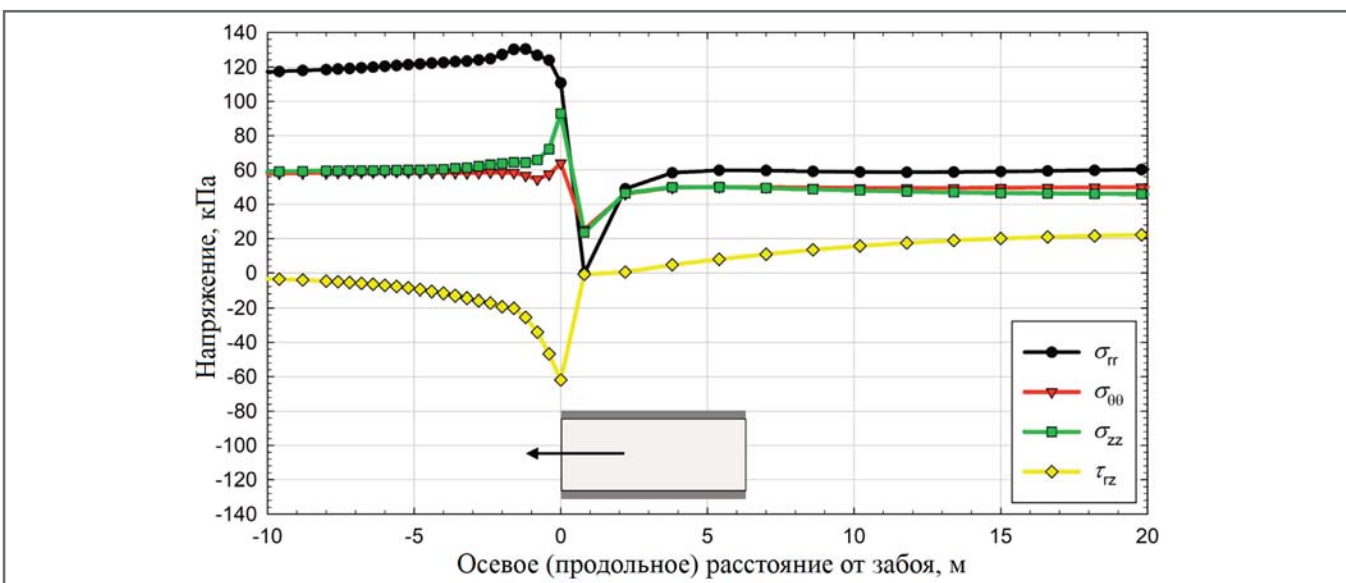


Рис. 12. Напряжения в грунте у свода тоннеля в зависимости от осевого (продольного) расстояния от забоя. Буквенные обозначения: σ_{rr} – радиальное напряжение; $\sigma_{\theta\theta}$ – тангенциальное напряжение; σ_{zz} – осевое напряжение; τ_{rz} – осевое напряжение сдвига

свода и в точке у периметра тоннеля между ними (см. рис. 11). Все эти точки находились в элювиальной красной пористой глине, в которой и происходило большинство деформаций грунта. Перед забоем и среднее, и максимальное напряжение сдвига увеличивалось по направлению к выемке. В грунте у незакрепленного участка происходила разгрузка (снижение и среднего, и максимального напряжения сдвига), а за обделкой напряжения с увеличением расстояния от забоя увеличивались до тех пор, пока не становились постоянными далеко позади забоя.

На рисунке 12 представлены напряжения в грунте у свода тоннеля по его периметру. Напряжения начали изменяться на расстоянии около 10 м перед забоем. Радиальное напряжение в грунте (σ_r) увеличилось перед забоем, снизилось до нуля на незакрепленном участке и далее увеличилось за обделкой, пока не достигло постоянной величины. Тангенциальное ($\sigma_{\theta\theta}$) и осевое (σ_z) напряжения совсем немного выросли перед забоем, уменьшились на незакрепленном участке и далее увеличились за обделкой. Осевое напряжение сдвига (τ_{rz}) было нулевым далеко перед за-

боем и увеличивалось по мере приближения к забою. У забоя значение τ_{rz} было максимальным, а затем уменьшалось до тех пор, пока не достигало постоянной величины далеко позади забоя. **И**

(Во второй части статьи, которая будет опубликована в следующем номере журнала «ГеоИнфо», на примере тоннеля «Параисо» будет рассмотрена оценка воздействия различных стратегий строительства тоннелей новым австрийским методом на деформации грунта и устойчивость забоя. – Ред.).

ИСТОЧНИК ДЛЯ ПЕРЕВОДА ►

- Vitali O.P.M., Celestino T.B., Bobet A. Construction strategies for a NATM tunnel in Sao Paulo, Brazil, in residual soil // Underground Space. 2022. Vol. 7. № 1. P. 1–18. doi:10.1016/j.undsp.2021.04.002. URL: doi.org/10.1016/j.undsp.2021.04.002; researchgate.net/publication/351236639_Construction_strategies_for_a_NATM_tunnel_in_Sao_Paulo_Brazil_in_residual_soil.

REFERENCE FOR THE TRANSLATION ►

- Vitali O.P.M., Celestino T.B., Bobet A. Construction strategies for a NATM tunnel in Sao Paulo, Brazil, in residual soil. Underground Space. 2022. 7 (1): 1–18. doi:10.1016/j.undsp.2021.04.002. URL: doi.org/10.1016/j.undsp.2021.04.002; researchgate.net/publication/351236639_Construction_strategies_for_a_NATM_tunnel_in_Sao_Paulo_Brazil_in_residual_soil.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ, ИСПОЛЬЗОВАННОЙ АВТОРАМИ ПЕРЕВЕДЕННОЙ СТАТЬИ

[REFERENCES USED BY THE AUTHORS OF THE TRANSLATED PAPER] ►

- Almeida e Sousa, J., Negro, A., Matos Fernandes, M., & Cardoso, A. S. (2011). Three-Dimensional Nonlinear Analysis of a Metro Tunnel in Sao Paulo Porous Clay, Brazil. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 137(4), 376–384.
- Azevedo, R. F., Parreira, A., & Zornberg, J. G. (2002). Numerical analysis of a tunnel in residual soils. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 128(3), 227–236.
- Broere, W. (2016). Urban underground space: Solving the problems of today's cities. Tunnelling and Underground Space Technology, 55, 245–248.
- Cantieni, L., & Anagnostou, G. (2009). The effect of the stress path on squeezing behavior in tunneling. Rock Mechanics and Rock Engineering, 42(2), 289–318.
- Celestino, T. B., & Ruiz, A. P. T. (1998). Shape of settlement throughs due to tunneling through different types of soft ground. Felsbau, 16, 118–121.
- Celestino, T. B., Gomes, R. A. M., & Bortuluci, A. A. (2000). Errors in ground distortions due to settlement through adjustment. Tunnelling and Underground Space Technology, 15(1), 97–100.
- Deane, A. P., & Bassett, R.H. (1995). The Heathrow Express trial tunnel. Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Geotechnical Engineering, 113(3), 144–156.
- Eberhardt, E. (2001). Numerical modelling of three-dimension stress rotation ahead of an advancing tunnel face. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 38(4), 499–518.
- Farrell, R., Mair, R., Sciottic, A., & Pigorinic, A. (2014). Building response to tunneling. Soils and Foundation, 54(3), 269–279.
- Farias, M. M., Moraes Junior, A. H., & Assis, A. P. (2004). Displacement control in tunnels excavated by the NATM: 3-D numerical simulations. Tunnelling and Underground Space Technology, 19, 283–293.
- Golser, J. (2001). Behavior of early-age shotcrete. Proceedings of Shotcrete for Underground Support VIII, 83–93.
- HSE (Health and Safety Executive) (1996). Safety of New Austrian Tunneling Method (NATM) Tunnels – A review of sprayed concrete lined tunnels with particular reference to London clay. <https://www.hse.gov.uk/pubns/natm.pdf>
- Lambe, T. W., & Whitman, R. V. (1969). Soil Mechanics. New York, N. Y.: John Wiley and Sons.
- Leroueil, S., & Vaughan, P. R. (1990). The general and congruent effects of structure in natural soils and weak rocks. Geotechnique, 40(3), 467–488.
- Lunardi, P. (2008). Design and Construction of Tunnels – Analysis of Controlled Deformation in Rocks and Soils(ADECO-RS). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

16. Mair, R. J., Taylor, R. N., & Bracegirdle, A. (1993). Subsurface settlement profiles above tunnels in clays. *Geotechnique*, 43(2), 315–320.
17. Massad, F., Pinto, C. de S., & Nader, J. J. (1992). Strength and Deformability. Brazilian Society of Soil Mechanics Conference on Soils of São Paulo city, 141–179 (in Portuguese).
18. MIDAS Information Technology Co. (2019). Midas GTS NX manual.
19. Marques, F. E. R. (2006). Behavior of Shallow Tunnels in Porous Soils – the Brazilia Metro Case [Doctoral dissertation]. University of Coimbra (in Portuguese).
20. Moller, S. (2006). Tunnel Induced Settlements and Structural Forces in Linings [Doctoral dissertation]. Institute of Geotechnical Engineering, University of Stuttgart.
21. Nakai, T., Xu, L. M., & Yamazaki, H. (1997). 3D and 2D model tests and numerical analyses of settlements and earth pressures due to tunnel excavation. *Soils and Foundations*, 37(3), 31–42.
22. New, B. M., & Bowers, K. H. (1994). Ground movement model validation at the Heathrow Express trial tunnel. *Tunneling*, 94, 301–329.
23. Ng, C. W., & Lee, G. T. (2005). Three-dimensional ground settlements and stress-transfer mechanisms due to open-face tunnelling. *Canadian Geotechnical Journal*, 42(4), 1015–1029.
24. Ortigao, J. A. R., & Macedo, P. (1993). Large settlements due to tunneling in porous clay. In *Proceedings of International Conference on Underground Transportation Infrastructure, AFTES*, 119, Sept-Oct 93 (pp. 245–250).
25. Ortigao, J. A. R., Cunha, R. P., & Alves, L. S. (1995). In-situ tests in Brasilia porous clay. *Canadian Geotechnical Journal*, 33, 189–198.
26. Ortigao, J. A. R., Kochen, R., Farias, M. M., & Assis, A. P. (1996). Tunnelling in Brasília porous clay. *Canadian Geotechnical Journal*, 33 (4), 565–573.
27. Parreira, A. B. (1991). Analysis of shallow tunnels in soil. The NATM Paraíso Tunnel at Paulista Avenue in São Paulo City [Doctoral dissertation]. Catholic University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil (in Portuguese).
28. Panet, M., & Guenot, A. (1982). Analysis of convergence behind the face of a tunnel. In *Tunnelling 82, Proceedings of the 3rd International Symposium, Brighton* (pp. 197–204).
29. Peck, R. B. (1969). Deep excavation and tunnelling in soft ground. In *Proceedings of 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico City, State of the Art Volume* (pp. 225–290).
30. Rabcewicz, L. V. (1964). The new Austrian Tunnelling Method. *Water Power*, Part 1: November 1964, 571–515.
31. Rabcewicz, L. V. (1965). The new Austrian Tunnelling Method. *Water Power*, Part 2: January 1965, 19–24.
32. Schanz, T., Vermeer, P. A., & Bonnier, P. G. (1999). The hardening soil model: Formulation and verification. In Ronald B. J. Brinkgreve (Eds.), *Beyond 2000 in Computational Geotechnics* (pp. 281–296). Routledge.
33. Schmidt, B. (1969). Settlements and Ground Movements Associated with Tunneling in Soil [Doctoral dissertation]. University of Illinois.
34. Vaughan, P. R., & Kwan, C. W. (1984). Weathering, structure and in situ stress in residual soils. *Geotechnique*, 34(1), 43–59.
35. Vitali, O. P. M., Celestino, T. B., & Bobet, A. (2019). Buoyancy effect on shallow tunnels. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 114(2), 1–6.
36. Vitali, O. P. M., Celestino, T. B., & Bobet, A. (2018). 3D finite element modelling optimization for deep tunnels with material nonlinearity. *Underground Space*, 3(2), 125–139.
37. Vitali, O. P. M., Celestino, T. B., & Bobet, A. (2021). New modeling approach for tunnels under complex ground and loading conditions. *Soils and Rocks*, 44(1) e2021052120.
38. Volkmann, G. M., & Schubert, W. (2007). Geotechnical Model for Pipe Roof Supports in Tunneling. In *Proceedings of the 33rd ITA-AITES World Tunneling Congress* (pp. 755–760).

Информация об авторах

ВИТАЛИ ОСВАЛЬДО П. М.

Доктор наук, старший научный сотрудник
Университета Сан-Паулу, специалист по геомеханике в
компании Braskem S.A., г. Сан-Паулу, Бразилия

СЕЛЕСТИНО ТАРСИЗИО Б.

Профессор (механика грунтов и подземное
строительство) кафедры геотехники Инженерного
института Сан-Карлоса Университета Сан-Паулу,
г. Сан-Карлос, штат Сан-Паулу, Бразилия

БОБЕТ АНТОНИО

Профессор (гражданское строительство) факультета
гражданского строительства Университета Пердью,
г. Уэст-Лафайетт, штат Индиана, США

Information about the authors

OSVALDO P.M. VITALI

PhD, post doctoral associate, University of Sao Paulo
(USP); geomechanics specialist, Braskem S.A., Sao Paulo,
Brazil

TARCISIO B. CELESTINO

Professor of Rock Mechanics and Underground Works,
Department of Geotechnical Engineering, Sao Carlos
Engineering School, University of Sao Paulo (EESC/USP),
Sao Carlos, SP, Brazil

ANTONIO BOBET

Professor of Civil Engineering, Civil Engineering
Department, Purdue University, West Lafayette, Indiana,
USA



СРАВНЕНИЕ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ **КРЕДО 3D СКАН** И **КРЕДО ФОТОГРАММЕТРИЯ**

СЕРАФИМОВИЧ ГЛЕБ ВИКТОРОВИЧ
Инженер-геодезист Компании «КРЕДО-ДИАЛОГ»

ГРОХОЛЬСКИЙ ДМИТРИЙ ВИКТОРОВИЧ
Ведущий аналитик геодезической платформы КРЕДО

КУКАРЕКО ИВАН СЕРГЕЕВИЧ
Руководитель топогеодезического и кадастрового направления отделения по работе с клиентами Компании «Кредо-Диалог»

Пользователи программных продуктов КРЕДО заметили, что начало 2022 года было отмечено появлением нового решения в геодезической линейке комплекса КРЕДО – КРЕДО ФОТОГРАММЕТРИЯ. Новый программный продукт дополнил и закрыл технологическую цепочку данного направления. Название программы соответствует большой науке, которая в последнее время активно развивается и занимает свободные ниши на рынке инженерных изысканий, а где-то и вытесняет устаревшие технологии.

Пользователи программных продуктов КРЕДО заметили, что начало 2022 года было отмечено появлением нового решения в геодезической линейке комплекса КРЕДО – КРЕДО ФОТОГРАММЕТРИЯ (рис. 1). Это событие крайне важно для нас и наших пользователей, так как новый программный продукт дополнил и закрыл технологическую цепочку данного направления. Название программы соответствует большой науке, которая в последнее время активно развивается и занимает свободные ниши на рынке инженерных изысканий, а где-то и вытесняет устаревшие технологии. Но давайте обо всём по порядку.

Фотограмметрия – это научно-техническая дисциплина, занимающаяся определением формы, размеров, положения и иных характеристик объектов по их фотоизображениям. Существует множество задач, которые решает данная наука, но нас, как геодезистов, интересует создание карт и планов Земли по снимкам – фототопография, ранее выполняемая только с использованием воздушных судов, а сейчас и из космоса.

Ещё недавно на получение результатов аэрофотосъёмки работали целые институты, в распоряжении которых были атмосферные летательные аппараты (самолёты, вертолёты, дирижабли), на которые устанавливали огромные аэрофотоаппараты. Но технологии не стоят на месте, и сейчас практически любой человек может приобрести любительский дрон и установить на него мобильный телефон, с помощью каме-

ры которого получают прекрасные снимки. Такой конфигурации, конечно, недостаточно для получения данных, используемых для создания топографических планов. Для производственных нужд существуют специальные летательные аппараты (беспилотники, дроны) и специальные аэрофотоаппараты, габариты и стоимость которых колоссально отличаются от тех, которые использовали ещё несколько десятков лет назад.

Итак, КРЕДО ФОТОГРАММЕТРИЯ – это программный продукт, обеспечивающий выполнение полной цепочки работ – от фотограмметрической обработки до создания цифровой модели местности.

Но в линейке программных продуктов КРЕДО есть ещё одна программа, которая очень близка по функциональным возможностям и решаемым задачам – это КРЕДО 3D СКАН. Программный продукт вышел в 2017 году и сейчас в нём работают и успешно решают свои текущие задачи более 300 пользователей. На данный момент разработчики КРЕДО работают над очередной версией программного продукта КРЕДО 3D СКАН 1.7, которая расширит функциональные возможности программы для решения задач геодезистов от индивидуальных предпринимателей и частных лиц до гигантов отрасли (Газпром, Роснефть, РЖД, Росдорнии, Алроса и т.д.), являющихся нашими клиентами и работающими в программных продуктах КРЕДО, в том числе и в КРЕДО 3D СКАН.

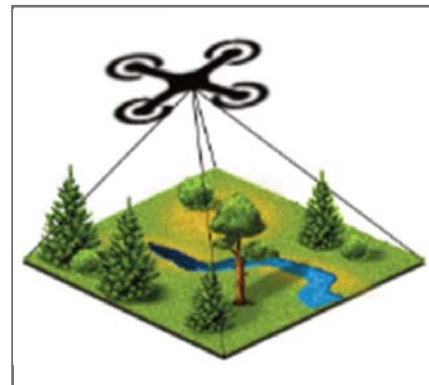


Рис. 1. Логотип КРЕДО ФОТОГРАММЕТРИЯ

Так в чём же разница между КРЕДО 3D СКАН и КРЕДО ФОТОГРАММЕТРИЯ и какой из них выбрать для решения своих производственных задач? Это и будет основной темой статьи.

Главные отличия программных продуктов ▶

Знакомство с функциональными особенностями программных продуктов начнём с первого этапа работы в программах – импорта данных. Программа КРЕДО ФОТОГРАММЕТРИЯ, как и КРЕДО 3D СКАН, универсальна и легко встраивается в любую технологическую цепочку по обработке геодезических материалов, если в качестве основных данных выступает облако точек. Перечень форматов импорта систем говорит об их гибкости в использовании и связке с другими программами. Форматы импорта программных продуктов КРЕДО 3D СКАН и КРЕДО

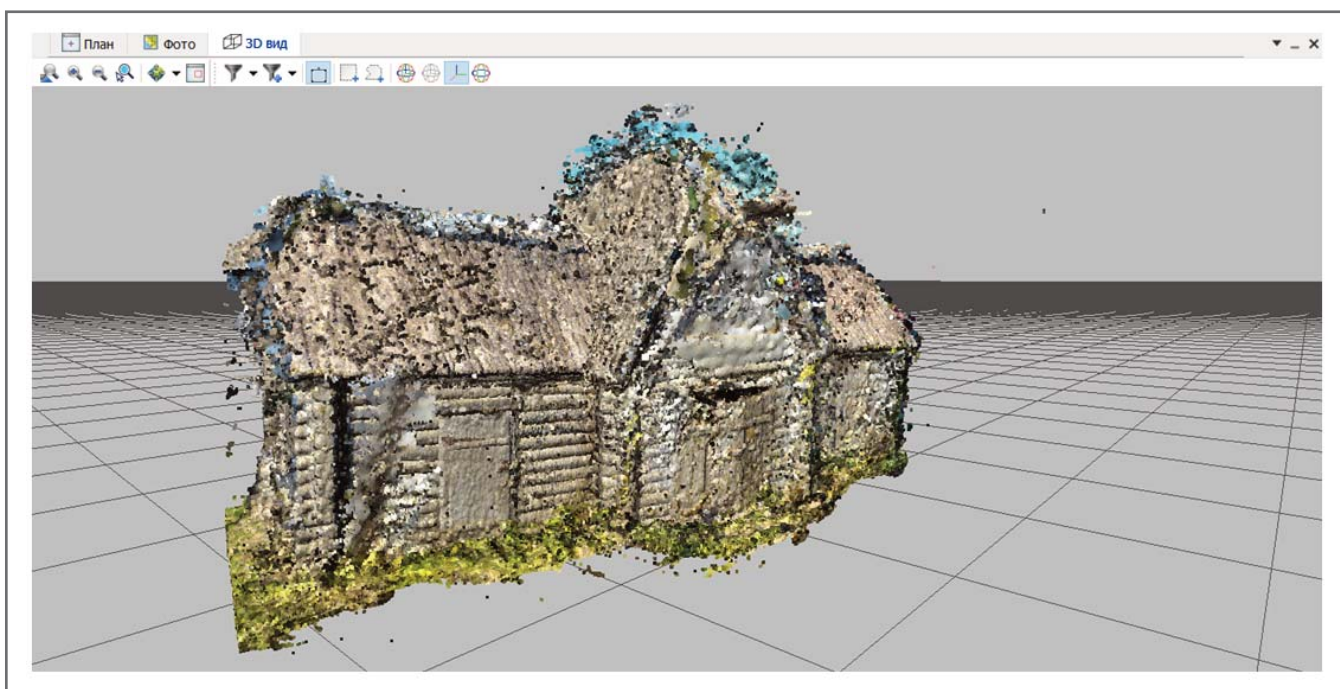


Рис. 2. Пример облака точек

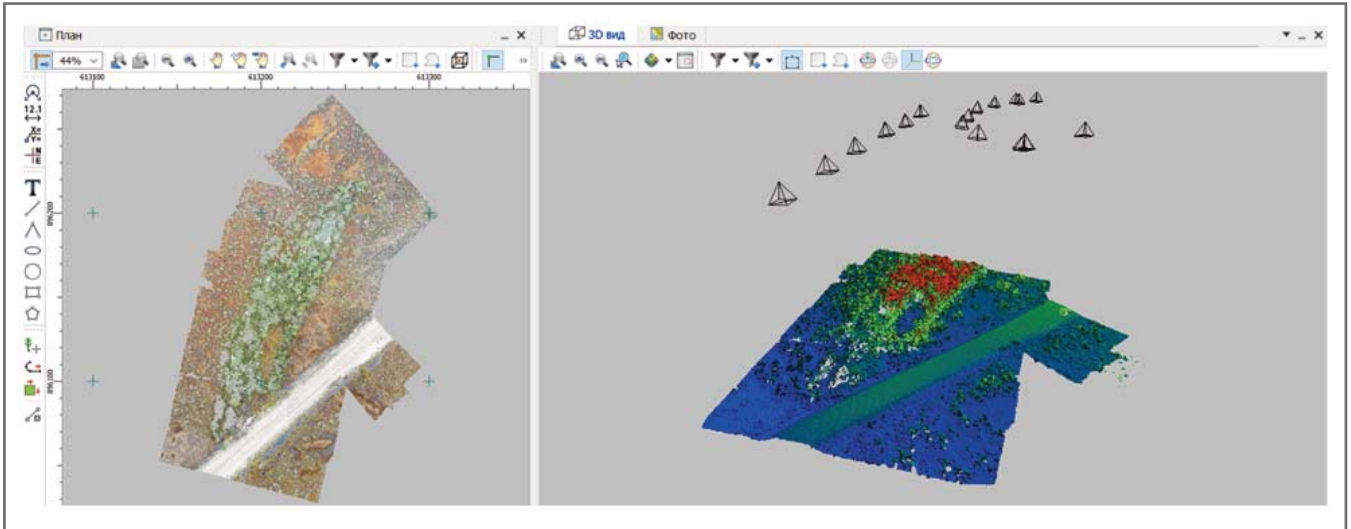


Рис. 3. Плотное облако точек

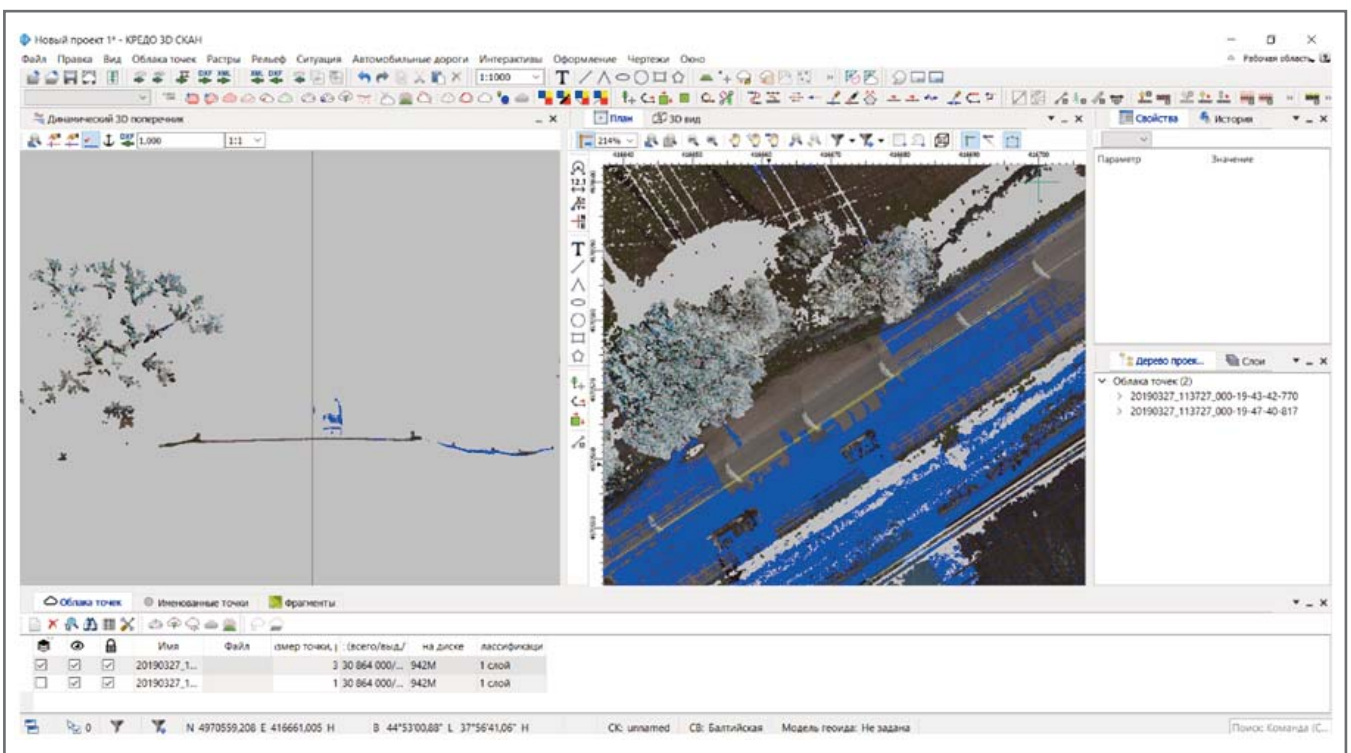


Рис. 4. Работа с автомобильной дорогой

ФОТОГРАММЕТРИЯ отличаются возможностью импорта репозиционных фотоизображений и траектории движения мобильных сканирующих систем в КРЕДО 3D СКАН и возможностью импортировать фотоизображения с параметрами их ориентирования, а также опорные точки в КРЕДО ФОТОГРАММЕТРИЯ. Это позволяет сделать вывод, что КРЕДО 3D СКАН в большей степени предназначен для работы с результатами лазерного сканирования, а КРЕДО ФОТОГРАММЕТРИЯ – для работы с результатами аэрофотосъёмки. В оба программных продукта можно импортировать готовые облака то-

чек (рис. 2), а также 3D-модели в формате IFC.

Рассмотрим основные задачи, решаемые этими системами. Не будем заострять внимание на том, что у обеих программ широкий общий перечень инструментов, решающих такие задачи как классификация облака точек, автоматическое распознавание точечных и линейных объектов, расчёт объёмов, создание цифровой модели местности и т.д. Но и в функциональных возможностях программных продуктов есть два больших блока, которыми они отличаются друг от друга, и за счёт этого имеют большую ценность для специалистов.

Первый блок, которым выделяется программный продукт КРЕДО ФОТОГРАММЕТРИЯ, – возможность формировать ортофотоплан (цифровое трансформированное изображение местности, созданное по перекрывающимся исходным фотоснимкам) и облака точек (набор вершин в трёхмерной системе координат). Технология решения этой задачи начинается с импорта фотоизображений, на которых выбираются опорные точки с известными координатами, распознаваемые на перекрытиях разных фотографий. Далее выполняется фотограмметрическое уравнивание (расчет внешних и внутренних

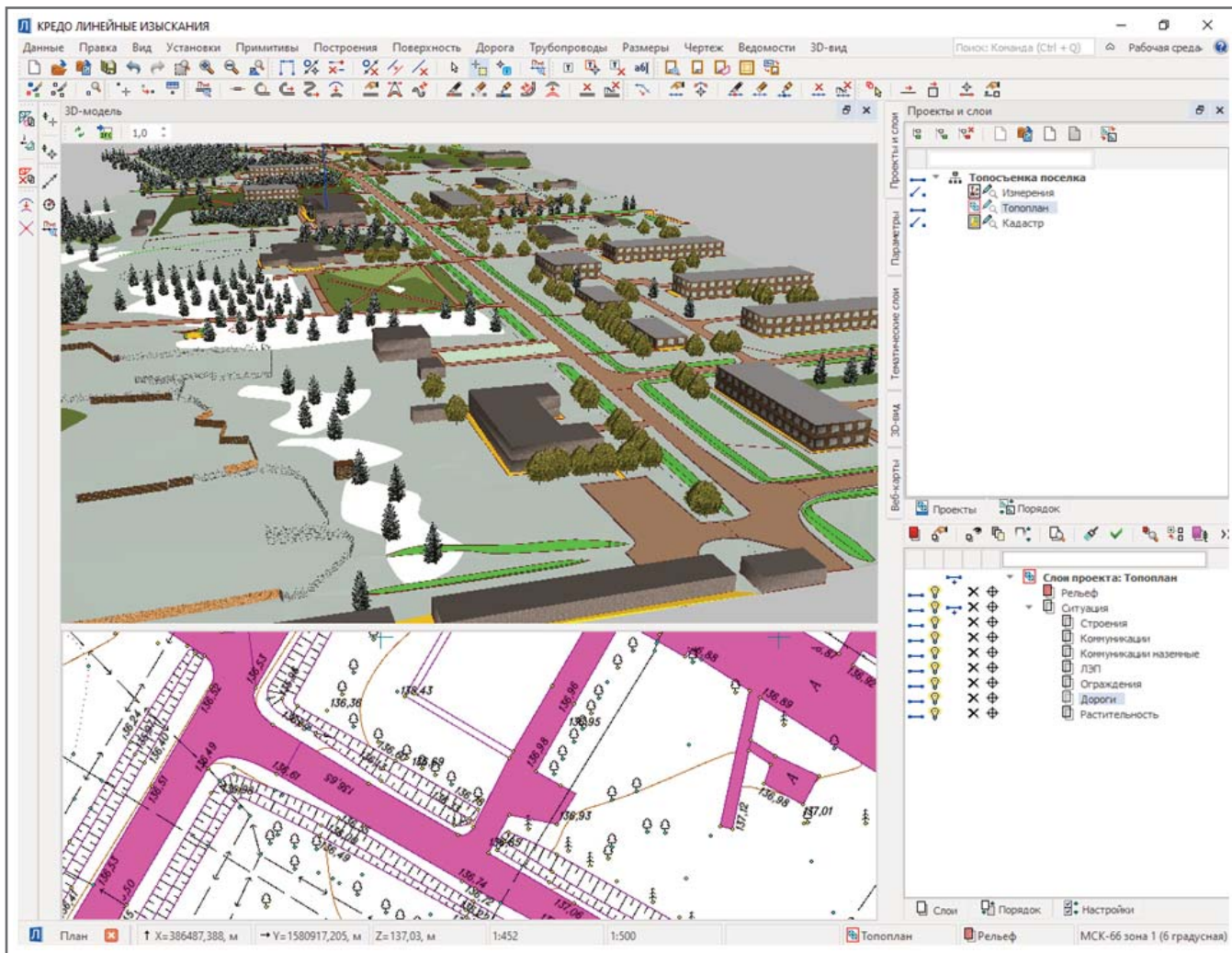


Рис. 5. Пример BIM-модели, выполненной на платформе КРЕДО III

параметров ориентирования) и формирование редкого облака точек как визуализации рассчитанной модели. После редактирования редкого облака и при необходимости удаления ошибочно определенных точек, формируется итоговое плотное облако точек (рис. 3). Также при необходимости есть возможность формирования качественного ортофотоплана.

На противоположной чаше весов стоят особенности программного продукта КРЕДО 3D СКАН – это большой блок инструментов по работе с данными лазерного сканирования, который и дальше будет развиваться в системе, в том числе для целей автомобильных дорог, горного, градостроительного и других направлений. Сейчас в программе КРЕДО 3D СКАН реализована возможность автоматического поиска дорожных знаков по фотоизображениям с геопространственной привязкой и последующей локализацией положения распознанных знаков по облаку точек. Существует возможность автоматического распознавания по облаку точек объ-

ектов дорожно-транспортной инфраструктуры: разметки, бровок и подошв земляного полотна, кромок покрытия, бордюров, столбов дорожных знаков, сигнальных столбиков, а также создания светофоров с динамическими свойствами (дополнительные секции и стрелки). Специалист, выполняющий автоматическое распознавание элементов, выступает в роли оператора. Он задает параметры для поиска, а программа затем сама предлагает подходящие элементы. Специалисту останется лишь подтвердить или опровергнуть полученный результат. Так же в программе КРЕДО 3D СКАН реализована возможность определения дефектовки автомобильной дороги. К этому блоку относятся команды по расчету индекса ровности IRI, колеечности, обочины и уклона автомобильной дороги (рис. 4). Есть и полезный функционал для геодезистов, работающих в подземных выработках, – команда по выделению границы замкнутого пространства, которая позволяет определить габариты подземного сооружения.

Заключительным этапом работы в любых программных продуктах является экспорт данных, который, как и импорт, крайне важен для взаимодействия с другими программами. Здесь выделим 2 направления – общий для обоих программных продуктов и специальные возможности экспорта системы КРЕДО 3D СКАН.

К общим форматам экспорта относятся:

- облака точек в форматах LAS, LAZ, текстовых файлов;
- растры и матрицы высот;
- цифровая модель местности в форматах DXF/DWG, ТороXML (LandXML), MIF/MID;
- точки в текстовом формате;
- создание и выпуск чертежа.

Особые форматы экспорта программного продукта КРЕДО 3D СКАН появились вследствие функциональных возможностей автоматического распознавания элементов автомобильной дороги по данным лазерного сканирования. К этим форматам относятся элементы организации до-

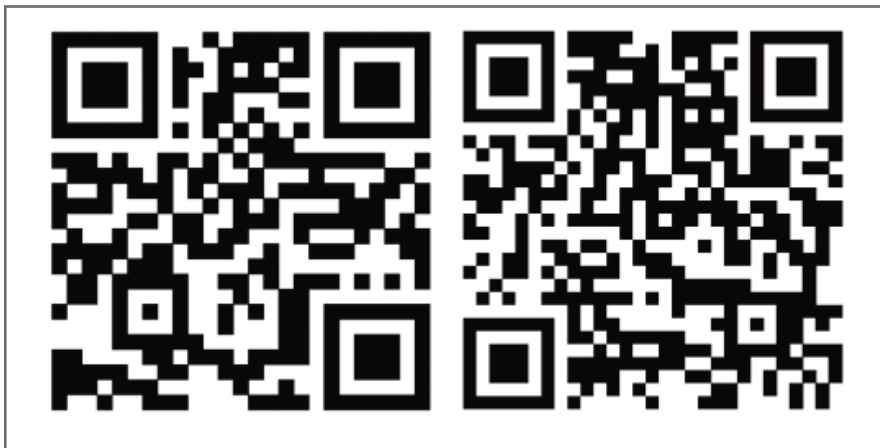


Рис. 6. QR-код на сайт и YouTube канал компании «КРЕДО-ДИАЛОГ»

рожного движения в формате To-роXML, дорожные знаки и траектории движения.

Программные продукты КРЕДО 3D СКАН и КРЕДО ФОТОГРАММЕТРИЯ – лишь один из этапов в работе с Технологиями КРЕДО, результатом ко-

торой является полноценная ВМ-модель, формируемая в комплексе КРЕДО Ш, в том числе в программах КРЕДО ТОПОПЛАН, КРЕДО ТОПОГРАФ, КРЕДО ЛИНЕЙНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ, КРЕДО ДОРОГИ, КРЕДО ГЕНПЛАН и т.д. (рис. 5).

Основные итоги сравнения ▶

Итак, подведём итог. КРЕДО ФОТОГРАММЕТРИЯ позволяет выполнить фотограмметрическую обработку результатов аэрофотосъёмки, сформировать по ним облако точек, произвести его фильтрацию и создать цифровую модель местности. КРЕДО 3D СКАН же в свою очередь имеет тот же функционал по работе с облаком точек и созданию цифровой модели местности, однако так же позволяет в автоматическом режиме распознавать объекты автомобильной дороги.

Надеемся, статья помогла вам понять разницу между программными продуктами КРЕДО ФОТОГРАММЕТРИЯ и КРЕДО 3D СКАН, ну а если нет – сайт (рис. 1.6) и YouTube канал компании «КРЕДО-ДИАЛОГ» (рис. 1.7) содержат много полезной обучающей информации, а сотрудники компании с удовольствием помогут вам решить этот и любой другой вопрос, касающийся Технологий КРЕДО. **И**

Программные продукты и технологии КРЕДО

market@credo-dialogue.com
Заказать ПП

+7 (499) 961-61-02

Техподдержка

[О КОМПАНИИ](#)
[ТЕХНОЛОГИИ](#)
[ПРОДУКТЫ](#)
[ВМ В КРЕДО](#)
[УСЛУГИ](#)
[ЦЕНЫ](#)
[ЦЕНТР ЗАГРУЗКИ](#)
[КАЛЕНДАРЬ](#)
[ПРЕСС-ЦЕНТР](#)
[КОНТАКТЫ](#)

[RU](#)
[EN](#)

Льготное импортозамещение

Закажите консультацию!

Обучение КРЕДО ДОРОГИ

С 14 июня приглашаем специалистов на on-line обучение по КРЕДО ДОРОГИ

[Подробнее](#)

Компания «Кредо-Диалог» создает программные продукты КРЕДО и входит в число ведущих разработчиков отечественного инженерного ПО для производства инженерных изысканий и проектирования объектов транспортного строительства и ПГС.

более 14 000

производственных организаций используют программы КРЕДО как основу технологических процессов

свыше 300

технических вузов и колледжей включили программы КРЕДО в образовательные программы

✓

Программные продукты КРЕДО внесены в единый реестр российских программ для ЭВМ и баз данных Минкомсвязи РФ.

Обучение КРЕДО ДОРОГИ

С 14 июня приглашаем специалистов на on-line обучение по КРЕДО ДОРОГИ

[Подробнее](#)

Новости

Завершен прием проектов на конкурс «ТИМ-ЛИДЕРЫ 2021/22»

20.05.2022 [Подробнее](#)

25 мая в МИИГАиК пройдет семинар по технологии воздушного лазерного сканирования и цифровой аэрофотосъёмки

19.05.2022 [Подробнее](#)

КОМПАНИЯ «КРЕДО-ДИАЛОГ»,

тел.: (499) 350-73-15,

e-mail: moscow@credo-dialogue.com

www.credo-dialogue.ru

52

«ГеоИнфо» | 05-2022

ТЕХНОЛОГИИ КРЕДО для работы с данными лазерного сканирования и фотограмметрии



Импорт:

- Репозиционированные фотоизображения в форматах Riegl, Leica Pegasus, АГМ-МС, CHC Alpha 3D, GreenValley, Teledyne Optech, kml
- Траектории движения

Импорт:

- Облака точек в форматах: LAS, LAZ, E57, текстовых файлов
- 3D модели в формате IFC
- DXF/DWG, TороXML (LandXML)
- Растровые подложки и матрицы высот

Импорт:

- Фотоизображения
- Параметры ориентирования фотоснимков
- Опорные точки

КРЕДО 3D СКАН

КРЕДО ФОТОГРАММЕТРИЯ

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ РАБОТЫ С ДАННЫМИ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

- Автоматическое распознавание сигнальных столбиков, столбов дорожных знаков
- Распознавание дорожных знаков, светофоров
- Автоматическое распознавание объектов дорожно-транспортной инфраструктуры
- Расчёт ровности IRI, колеиности, обочины и уклона дороги
- Выделение границы замкнутого пространства (подземной выработки)

ОБЩИЙ ФУНКЦИОНАЛ:

- Трансформация облаков точек по абсолютным и относительным опорным точкам
- Измерения по облакам точек в плане, в 3D, в поперечных разрезах
- Выделение (классификация) рельефа и создание матриц высот
- Фильтрация облака точек по порогу различных значений;
- Прореживание облака точек
- Создание цифровой модели местности
- Пакетный сценарий
- Распознавание точечных и линейных объектов ситуации
- Автоматический поиск линий электропередачи (столбы и провода)
- Создание растровых изображений по облакам точек
- Автоматическое распознавание уступов (бровок карьера)
- Расчёт объемов по облакам точек
- Работа с блоками видимости и слоями
- Работа с веб-картами
- Настройка классификатора топографических объектов и системы координат

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С ДАННЫМИ АЭРОФОТОСЪЕМКИ

- Фотограмметрическое уравнивание
- Нанесение и генерализация связующих и опорных точек
- Создание облака точек
- Создание ортофотоплана
- Выполнение расчёта с распараллеливанием задач между компьютерами MPI

Экспорт:

- Элементы организации дорожного движения в формате TороXML
- Дорожные знаки
- Траектории движения

Экспорт:

- Облака точек в форматах: LAS, LAZ, текстовых файлов
- Растры и матрицы высот
- Цифровая модель местности в форматах: DXF/DWG, TороXML (LandXML), MIF/MID
- Точки в текстовом формате
- Создание и выпуск чертежа

Дальнейшее использование результатов в целях BIM-моделирования в комплексе КРЕДО III

e-mail: market@credo-dialogue.com

www.credo-dialogue.ru

credo-диалог.рф

тел.: +7 (499) 961-61-02



Заглавное фото: <https://banki.loans/storage/posts/September2021/vZRUvXrI95OX89U72Q1V.jpeg>

СОВРЕМЕННЫЕ КРИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОСВОЕНИЯ РУДНОГО ЗОЛОТОСУРЬМЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КЮЧУС (СЕВЕРО-ВОСТОЧНАЯ ЯКУТИЯ)

ШАЦ МАРК МИХАЙЛОВИЧ

Ведущий научный сотрудник
ФГБУН «Институт мерзлотоведения
им. П.И. Мельникова» СО РАН, к.г.н.

В статье освещены современные криоэкологические условия освоения рудного золотосурьмяного месторождения Кючус в Северо-Восточной Якутии – одного из крупнейших в России. Показано, что природные условия района экстремально суровы, что в значительной степени сдерживает его освоение и развитие. Отмечено, что освоение месторождения серьезно усложняет также отсутствие в России технологий извлечения золота из концентрата и необходимо создания в стране специальных центров по его переработке. Подчеркнуто, что базе месторождения вполне реально создание единого центра переработки сложно-компонентных руд и концентратов упорных руд в Якутии.

Цель статьи – показать динамику геотехнических и криоэкологических условий на протяжении всего периода освоения. Статья предназначена для студентов и специалистов в области комплексной оценки и освоения месторождений.

Введение ►

Циркумарктический пояс России – одна из важнейших глобальных металлогенических структур, формировавшаяся на протяжении всей истории Земли – с архея до кайнозоя. Протяжённость внешней границы в Арктике свыше 12 тыс. км, а ширина варьирует от нескольких сотен до тысяч км. Вся территория Арктики, на основе международных соглашений, разделена на национальные сектора, принадлежащие России, США, Канаде, Дании (Гренландия), Исландии и Норвегии.

С начала XXI века из арктических недр добывается огромное количество разнообразных полезных ископаемых, главные из которых: алмазы, Au, Cu, Ag, Pb, Zn, Ni, Ti, Cr, металлы платиновой группы (МПГ), Co, редкоземельные металлы (РЗМ), фосфатное сырьё, железные руды, уголь и др. [3].

Перспективы освоения арктических минеральных месторождений, кроме масштаба и богатства запасов, во многом определяются близостью к Северному морскому пути и к судоходным рекам, что значительно повышает рентабельность работы рудников за счёт использования относительно дешевого водного транспорта.

Несмотря на вековую историю горнодобывающих работ, недра Арктики содержат ещё достаточное количество твёрдых полезных ископаемых. База

данных по Арктике Института Геологии Минерального сырья РАН, созданная в 2014-м году и постоянно пополняемая в ходе работы, к настоящему времени включает информацию о размещении более 26 тысяч объектов – рудных и россыпных месторождений, рудопроявлений, точек минерализации, в том числе в России – более 8 тысяч. Насчитывается около 400 месторождений благородных металлов, в том числе 33 крупных. В современной мировой добыче Au доля Арктики составляет 2.7%, а доля в мировых запасах – более 13.4% [3].

На территории Республики Саха (Якутия) расположены 832 месторождения золота с общими балансовыми запасами 1843,7 т. с преобладанием ресурсов рудного золота (72,2%). Между тем, масштабы добычи золота не отвечают нынешним требованиям развития золотодобывающей отрасли экономики не только в производственном, но и в экономическом плане, тем более в плане социально-экономического развития самого региона. При этом, если исходить из «Стратегии социально-экономического развития Дальнего Востока и Байкальского региона на период до 2025 г.», то предусматривается опережающее развитие горнодобывающих отраслей, в частности, золотодобывающей на территориях Магаданской области и Республики Саха (Якутия). Следовательно, для успешной реализации на-

циональной стратегии требуется углубленное и многоплановое изучение и исследование перспективных объектов.

К их числу относится одно из богатейших месторождений рудного золота «Кючус», являющееся вторым по величине в Якутии после «Нежданнинского», незначительно уступая ему по запасам.

Цель статьи заключается в том, чтобы показать динамику геотехнических и криоэкологических условий на протяжении всего периода освоения. Статья предназначена для студентов и специалистов в области комплексной оценки и освоения месторождений.

Природные условия месторождения «Кючус» ►

Кючусское месторождение находится за Полярным кругом, на границе Верхоянского и Усть-Янского районов Республики Саха (Якутия), в нижнем течении реки Кючус – левого притока реки Яна (рис. 1). Расстояние до речного порта Усть-Куйга на реке Яна составляет 50 километров, до районного центра – пос. Батагай, где находится речной порт и аэропорт – 340 километров по автотрассе.

Геологическая характеристика ►

Геолого-промышленный тип месторождения Кючус – минерализованные зоны дробления с золото-мышьяковистым оруденением. Оно расположено на юго-



Рис. 1. Обзорная карта района месторождения



Рис. 2. Разрез золотосодержащих пород [14]

восточном фланге Куларского складчатоглыбового поднятия в зоне его сочленения с Полоусненским синклиниорием в пределах Янского глубинного разлома.

Рудное поле располагается в области развития интенсивных линейных складок, наиболее крупная из которых – Ключуская антиклиналь прослеживается на 60 км при ширине 4-6 км. Поле сложено верхоянским комплексом верхнего и среднего триаса, представленным алевритами, песчаниками и реже аргиллитами (рис. 2). Вмещающие породы имеют моноклиальное восточное падение.

Месторождение представлено линейной минерализованной зоной с жильными рудными телами северо-восточного направления в березитизированных породах, приуроченной к разрывному нарушению сближенных зон смятия, интенсивной трещиноватости и дробления.

Жильные и линзовидные рудные тела невыдержанные, с пестрым вещественным составом: кварц, карбонат, каолинит и брекчии с обломками сульфидизированных пород, рудные минералы от единичных до 30-40% антимонит, арсенопирит, пирит, киноварь, тонкодисперсное золото.

Мощность жил от 0,03 до 2,5 м при средней 0,4 м, а у минерализованных зон – от 0,1 до 20 м и более [16].

Основные запасы месторождения заключены в минерализованных зонах с содержанием золота до 10-30 г/т и в отдельных пробах до 50-126 г/т. Протяженность рудных тел: общая – 2900 м по простиранию и 250-300 м по падению, но как по падению, так и по простиранию они пока не оконтурены. Условия залегания рудных тел – крутопадающие (70-80°) секущие зоны дробления. Ожидаемая глубина развития оруденения от поверхности – 1000 м и более. В пределах зон выделено 10 рудных тел, из которых на рудное тело №1 приходится 70% запасов.

На момент начала 2019 года прогнозные запасы золотоносной руды на месторождении Ключус составляли около 14 млн тонн, с содержанием золота около 8,5 грамм на тонну.

В рудах достаточно высокие содержания ртути, до 13% и арсенопирита до 5-7% при размере его выделений от 1 мм и менее. основное золото связано с арсенопиритом – 40-1000 г/т, пиритом – около 40 г/т и антимонитом – 20-25 г/т, а также реальгаром и аурипигментом – до 2 г/т. Киноварью обогащены верхние части разреза. Верхняя часть рудных тел на глубину 40-80 м представлена окисленными рудами, нижняя – смешанными и первичными [3,4].

В региональном плане исследуемая территория находится в пределах Верхояно-Чукотской мезозойской складчатой области. В геологическом строении принимают участие осадочные породы мезозоя и рыхлые отложения четвертичного возраста. Мезозойские терригенные отложения представлены толщей переслаивающихся алевролитов, песчаников и аргиллитов триасового возраста. Рыхлые отложения перекрывают большую часть территории и имеют мощность до 60 м и более.

При проведении поисковых работ на флангах месторождения Ключус и на южном продолжении Ключусского рудного поля применялся комплекс наземных геофизических и геохимических методов. При проведении геолого-разведочных работ на месторождении «Ключус» была принята горно-буровая система разведки путем проходки канав, уклонов с рассечками, 2-х горизонтов подземных горных выработок и бурения скважин. Глубина оценки оруденения месторождения достигает горизонта - 550 м на глубине 650 м от поверхности.

Главные рудные минералы – сульфиды (6-7%), представлены в основном арсенопиритом и пиритом, а также халькопиритом, антимонитом, киноварью. Золото субмикроскопическое высокопробное (960-970), образует тонкие включения в сульфидных минералах.

Наиболее изученной является «Главная рудная зона» протяженностью по простиранию более 3500 м, по падению прослежена на глубину около 700 м. Ширина зоны варьирует от 20 до 250 м, в ее пределах выделено 18 относительно крупных, более 300 м по простиранию, субпараллельных рудных тел, представляющих минерализованные зоны дробления, смятия и брекчирования, несущие золотое оруденение с нечеткими геологическими границами. Их центральные части сложены стержневыми кварцевыми жилами мощностью до 3,4-4 м, а окраины – прожилково-вкрапленным типом оруденения.

Рудные тела характеризуются кулисообразным строением, раздувами и пережимами мощности, ветвлением в виде оперяющих тел с неравномерным оруденением. Кроме относительно крупных тел, выделено 77 мелких линз и апофиз протяженностью менее 300 м.

«Первомайская зона» расположена к северо-западу от «Главной» на расстоянии 200-500 м и состоит из серии субпараллельных сближенных зон дробления север-северо-восточного простирания, падающих также на северо-запад под бо-

лее пологими углами [3,4,7]. Зона практически не вскрыта поверхностными горными выработками, описана по редкой системе линий поисковых и картировочных скважин. В пределах «Кючусского рудного поля» по геолого-структурным, геофизическим, геохимическим признакам выделяются следующие перспективные участки: Северо-восточный фланг Кючусского рудного поля, Юго-западный фланг «Кючусского месторождения».

По особенностям геологического строения, условиям залегания и характеру распределения рудного золота, в соответствии с классификацией «Государственной комиссией запасов», месторождение Кючус отнесено к 3-й категории сложности, по минеральному составу руды месторождения относится к малосульфидной золото-кварцевой формации, к золотосурьмяному мышьяковистому типу и рассматривается как комплексное.

По результатам исследований для переработки руд месторождения рекомендована комбинированная гравитационно-флотационная схема получения суммарного концентрата, направляемого на извлечение золота гидрометаллургическими методами. Руды месторождения содержат вредные примеси, опасны по взрыву сульфидной пыли и силикозоопасны.

Планируемый способ обогащения гравитационно-флотационный с последующей автоклавно-цианидной переработкой сульфидных концентратов, извлечение золота в конечную продукцию (сплав Доре) 80-85% [7], (рис.3).

Гидрография, климат, геокриология ►

Река Кючус берет начало с восточного склона хребта Кулар и пересекает на своем пути слаборасчлененную предгорную равнину (рис. 1,2). Протяженность реки более 50 км, ее долина шириной 200-800 м представляет собой плоскую, сильно заболоченную аккумулятивную поверхность.

Климат района резко континентальный с низкими зимними и относительно высокими летними температурами воздуха и малым количеством осадков с годовой суммой 180-200 мм, из которых летом выпадает 85-134 мм. Среднегодовая температура воздуха -15,9 °С, при наиболее низких значениях в январе -45,9 °С и высоких в июне +9,9 °С. Что касается многолетней динамики, то по данным метеостанции в г. Верхоянске за последние 100 лет наблюде-



Рис. 3. Золото «Кючуса». Фото В.А.Форцова

ний среднегодовая температура воздуха выросла на один 1 °С [6,11].

Мощность многолетнемерзлых пород (ММП) здесь менее 360 м, это обусловлено потоком холодного воздуха, стекающим с восточного склона хребта Кулар в зимний период. На таких участках геотермический градиент изменяется от 1,8 до 2,2 °С \ 100 м, а мощность ММП возрастает до 500 м [6,11].

Наиболее высокие температуры пород на подошве слоя годовых колебаний (10-15 м) отмечены в местах выхода на дневную поверхность скальных и полускальных пород, что сопряжено с отсутствием на подобных участках растительного покрова. Летом поверхность здесь хорошо прогревается и глубина летнего оттаивания пород здесь максимальна – 1,5 м.

Летом под руслом р.Кючус формируется маломощный талик, но зимой он практически полностью промерзает и только в отдельных глубоких местах сохраняется всю зиму.

В связи с крайне суровыми климатическими условиями ММП имеют сплошной характер при мощности до 500 м и температуре на подошве слоя годовых колебаний от -6,8 до -10 °С.

В строении толщи широко представлены повторно-жильные льды с базальной и линзовидной криогенными текстурами мощностью свыше 20 м. По результатам бурения в разрезе мерзлых толщ установлены два яруса повторно-жильных льдов. Верхний из них имеет мощность более 20 м, представлен базальной криогенной текстурой и залегает в склоновых отложениях, а нижний, с линзовидной криотекстурой, приурочен к аллювию и подстилается русловыми галечниками р.Яны [13,14].

Столь высокое содержание подземного льда в горных породах пологих склонов и речных долин обусловило развитие термокарста.

В правом борту долины р.Кючус, в средней части склона, покрытого лишайниковым редколесьем, скважиной был вскрыт следующий разрез склоновых отложений. Верхняя часть до 0,1 м представлена дерниной, а от 0,1 до 0,5 м залегал талый, влажный оторфованный темно-серый суглинок, подстилаемый до 1,1 м тем же суглинком, но в мерзлом состоянии.

Установлено, что подземный лед часто имеет довольно сложное строение, относится к полигенетическому типу, содержит тонкие горизонтальные прослойки грунта и имеет мощность местами до 0,5 м. В основной же массе льда были отмечены вертикальные включения грунта, протягивающиеся на 0,5 м, что позволяет предположить, что эта часть ледяного массива имеет повторно-жильный генезис.

На глубине 26,0-28,0 м залегает сильно заторфованный темно-коричневый суглинок, а ниже, на глубине 28,0-30,0 м, в светло-серой супеси залегает щебень. Таким образом, вся основная часть ледяных включений рыхлых отложений на участке бурения имела повторно-жильный генезис, что в целом характерно для всего района месторождения.

Это обстоятельство при небольшой глубине сезонного протаивания грунтов, составляющей от 0,4 м на покрытых мхом заболоченных участках до 1,5 м в местах выхода на дневную поверхность скальных пород, в целом благоприятствует развитию термокарста [13,14]. Так, на водораздельной поверхности здесь сформировались несколько крупных термокарстовых озер округлой формы, диаметром около 0,5 км, при максимальной глубине до 10 м. Бурением установлено, что в их днищах сформировались несквозные талики, мощность которых сопоставима с глубиной воды и варьирует от 5 до 10 м, что свидетельствует об их молодом возрасте.

Наиболее детально исследовано оз.Щучье. Его морфология (диаметр 0,5 км, максимальные глубины воды около 10 м) типичны для района. В озере, по ориентировочным оценкам, заключено около 2 млн м³ воды, его крутые обрывистые берега, осложненные термоэрозийными процессами, активно разрушаются.

Урез воды в озере находится на высотной отметке 92 м, а в р.Кючюс на 70 м, т.е. перепад высот между водоемами составляет 22 м, а расстояние между озером и рекой всего 700 м, из них 300 м занимает пойма, сложенная супесчано-суглинистыми грунтами с мощными повторно жильными льдами. Преобладающее направление ветров в озерной котловине юго-западное, это приводит к интенсивному размыву соответствующего берега водоема как раз по направлению реки. Поэтому можно уверенно предполагать, что в недалеком будущем 700-метровая грунтовая перемычка будет разрушена и оз.Щучье в виде селевого потока сойдет в долину р.Кючюс. Судя по морфологии многих водоемов района, такие события раньше здесь происходили неоднократно [13,14].

История освоения месторождения ▶

Кючюское рудное месторождение было открыто «Центральной поисково-съёмочной экспедицией Якутского территориального геологического управления» в 1963 г. при проведении государственной геологической съёмки масштаба 1:200 000 [7]. Поисково-оценочные работы проводились Янкой ГРЭ в 1984-1987 гг., предварительная разведка – в 1984-1987 гг. ЯнГРЭ и в 2004-2009 гг. – ОАО «Якутская Горная Компания». Поисковые работы на флангах месторождения были проведены в 1997-1999 гг.

В 1996 году для разработки месторождения было создано СП «Золото Кючюса», а партнерами стали британская компания «Pinnacle Associates» и российская компания «Сахазолото». Однако СП не приступило к разработке месторождения и межведомственная комиссия по недропользованию в 1999 году отозвала у него лицензию на эксплуатацию месторождения. В 2003 году Якутия планировала выставить месторождению Кючюс на торги, при этом запасы месторождения было оценены в 130 тонн золота.

Позднее в 2005 году предполагалось, что месторождение купит ирландская компания «Celtic Resources», являвшаяся дочерней структурой канадской компании «Barrick Gold Corp». Однако 19

августа 2005 года ЗАО «Полос Золото» объявило о покупке у ИГ «Алроса» трёх золоторудных месторождений, включая «Кючюс». ЗАО «Полос Золото» выкупило у ИГ «Алроса» лицензию на эксплуатацию месторождения, а также поисковую лицензию на «Кючюс», ранее принадлежавшую ОАО «Якутская горная компания» [7]. Таким образом, ЗАО «Полос Золото» стало единственным на тот момент владельцем месторождения, имея при этом лицензию на геологоразведку на участке общей площадью 70 км² без права добычи.

За время владения лицензией ЗАО «Полос Золото» по результатам проведенных геологоразведочных работ подготовило и направило на утверждение в «Государственную комиссию...» запасы в размере до 250 т золота по категориям С1 и С2 под комбинированную отработку открытым и подземным способами. В 2009-2010 годах компания планировала подготовить обоснование инвестиций и начать проектирование крупномасштабного производства по добыче золота, а в 2010-2013 годах построить Кючюсский горно-обоганительный комплекс (ГОК) по переработке до 2 миллионов тонн руды и производством до 10 тонн золота в год.

Срок действия лицензии ЗАО «Полос Золото» истёк в октябре 2009 года и право на месторождение перешло государству.

Распоряжением Правительства РФ от 12 октября 2012 года был выставлен на аукцион на право пользования сроком на 25 лет участок общей площадью 225,5 км², включающий Кючюское месторождение, для геологического изучения недр, разведки и добычи рудного золота и серебра.

Стартовая цена для того времени была огромной – 880 миллионов рублей, а условия лицензии жестокие – уже через каких-то два года победитель аукциона на «Кючюс» должен был начать строительство ГОКа, через четыре года запустить его в эксплуатацию, годом позднее вывести на проектную мощность [10-12]. Предстояло параллельно вести поиски и разведку, расширять сырьевую базу. Запустить в такие сроки большой ГОК, по оценкам специалистов, невозможно.

Поэтому, чтобы соблюсти условия лицензии, производство предполагалось запустить, но на относительно небольшой фабрике, мощностью в районе тонны золота в год, из руды, добываемой открытым способом в приповерхностной части месторождения. Рудник и золотоизвлекательная фабрика таких масштабов (по

сути, опытно-промышленные) обошлись бы в 40-50 миллионов долларов, а расходы на аукцион составили не меньше 30 миллионов. Огромную сумму предстояло вложить в технологии, исследования, проектирование, НИОКР, согласования.

Рисковать такими средствами никто в то время не захотел. И только в начале 2019 г. появилась надежда на решение проблемы [2,4,5].

27 марта 2019 г. на торжественном заседании руководства Якутии в ознаменование 95-летия золотодобывающей промышленности республики в Алданском районе с участием федеральных и региональных органов власти, золотопромышленников, научных институтов и общественных организаций, председатель комитета Торгово-промышленной палаты РФ по поддержке предпринимательства в сфере добычи, производства, переработки и обращения драгоценных металлов и драгоценных камней Игорь Тихов отметил лидирующие позиции страны по добыче и разведке золота в мире. При этом он констатировал, что в России не хватает технологий извлечения золота из концентрата. Если три года назад на переработку в Китай поставлялось 6 тонн золотоносной руды, то теперь этот объём вырос до 17,7 тонн [2,3,5,15]. И.Тихов отметил необходимость создания в стране специальных центров по переработке такого рода концентратов, чтобы обогащать всю руду, не вывозя её за рубеж. В качестве такого центра была предложена Якутия, а планируемый кластер должен предусматривать как прямую переработку, так и изучение, поскольку все месторождения за р.Енисей содержат вредные или трудные для переработки компоненты. Якутии и золотопромышленникам было предложено выйти с инициативой по созданию такого центра переработки.

Инициативу поддержал первый вице-премьер республики Алексей Колодезников, отметивший, что подобным центром вполне может стать месторождение «Кючюс» на севере Верхоянского района — одно из крупнейших в стране, а доходы от проекта могут положительно влиять на социально-экономические процессы Якутии. Особо была отмечена необходимость учёта всех аспектов по сохранению окружающей среды республики и что при добыче золота воздействие на окружающую среду должно быть минимизировано, а также должны учитываться проблемы восполнения минерально-сырьевой базы. Геологоразведке надо выделять достаточные средства, чтобы восполнять базу в необходимом объёме.

Хотелось бы верить, что проблема освоения «Кючюса» в обозримом будущем будет решена.

Особо следует отметить очень важный аспект, связанный с возможностью расширения сырьевой базы для производства сурьмы в России именно за счет вовлечения в переработку комплексных золотосурьмяных руд месторождения «Кючус».

Как известно, эти руды относятся к типу «труднообогатимых» и технологически «упорных», что обусловлено присутствием в их составе мышьяка, органического углерода, ртути и субмикроскопической вкрапленностью основной массы золота в сульфидах и сульфосеннидах железа, которые, в то же время, тонко диспергированы во вмещающих породах размерности $\leq 0,1$ мм., а золотосодержащие сульфиды антимонита характеризуются более крупными выделениями [1,10].

Полученные результаты по качеству сурьмяного концентрата, а также по степени извлечения сурьмы и золота сопоставимы с лучшими показателями, получаемыми при переработке богатых золотосурьмяных руд Якутии. Извлечение сурьмы в дополнительную товарную продукцию при комплексной переработке руд «Кючюса» обеспечит существенное возрастание ценности месторождения и повысят технико-экономическую эффективность промышленного освоения месторождения «Кючус».

В начале октября 2020 г. состоялось важнейшее событие в истории месторождения – аукцион на право пользования недрами. В Минприроды РФ ранее особо отмечали [14], что торги будут проводиться со специальными условиями. Согласно первому, уровень добычи на месторождении должен составить не менее 10 т золота в год с даты выхода на проектную мощность. Второе условие – победитель аукциона обязан не позднее 30 июня 2028 года начать использовать электроэнергию атомной генерации не менее 35 МВт, которую должна поставлять вновь создаваемая атомная станция малой мощности в Якутии.

8 октября 2021 года решение о том, что компания «Белое золото», являющаяся совместным предприятием госкорпорации «Ростех» и полиметаллического холдинга «Селигдар», стала победителем аукциона на крупнейшее в России месторождение золота Кючус, было принято (рис. 4).

Как сообщало ТАСС со ссылкой на министра природных ресурсов и экологии РФ Александра Козлова, аукцион



Рис. 4. Промзона месторождения [14]

завершился на отметке в 7,735 млрд рублей при старте в 2,2 млрд. Эти деньги поступают в федеральный бюджет.

Новые подходы и технологии производства ►

Несмотря на то, что реальное освоение месторождения откладывалось на неопределенный срок, специалисты не прекращали решать задачи повышения эффективности его предстоящего освоения. Так А.И. Коваленко, начальник геофизической партии ОАО «Ян-геология», детально рассмотрел перспективы применения на месторождении геохимических и геофизических методов. По его мнению, геохимические работы необходимы для предварительной оценки и определения состава выделенных магниторазведкой и электроразведкой предполагаемых минерализованных зон [8,9,13.15].

Кроме того, результаты привлечения этих методов позволят более грамотно наметить объемы дальнейших заверочных горно-буровых работ. В частности, эффективность дальнейших поисковых работ значительно повысится при проведении опережающих геофизических и геохимических работ.

На месторождении «Кючус» отрицательными магнитными аномалиями наземной площадной магнитной съемки масштаба 1:10 000 были выявлены и закартированы «Главная» и «Первомайская» рудные зоны, в этом случае магниторазведка практически сработала, как прямой поисковый метод и позволила выявить отдельные рудные тела. На объекте «Юнгкюр» автором предложено выполнить 158 пог. км наземной магнитной съемки шагом 5 м, 50 пог. км наземной электроразведки методом дипольного индуктивного профилирования с ап-

паратурой ЭРА-М1 шагом 10 м и провести геохимическое опробование 1000 образцов по вторичным ореолам шагом 20 м по геофизическим аномалиям.

Ранее метод локального прогноза достаточно широко и эффективно использовали зарубежные специалисты, прежде чем выходить на территорию с дорогостоящими традиционными методами непосредственного обнаружения полезных ископаемых путем бурения или иных горных работ.

В частности, привлечение указанных методов позволило наметить наличие зоны интерференции, аналогичной зоне разведанного месторождения «Кючус», в которой с большой степенью вероятности локализованы рудные тела, подобные рудным телам Кючюсского типа [8]. Это реальные структурные предпосылки для формирования месторождения и значительно важнее разовой штупфной пробы с привлекательным содержанием золота, которая для многих геологов обычно является определяющим доказательством.

Кроме того, привлечение методов геохимии и геофизики позволило высказать очень перспективное предположение, что зона интерференции, образованная границами внешних зон Кючюсской и Курунградской структур центрального типа (в данном случае Юнгкюрской и Мекчиргэлээхской) значительно богаче внутренних областей структур центрального типа Кючюсской (Юнгкюрской) или Курунградской (Мекчиргэлээхской) в отдельности как по глубине заложения, так и по тектоническому строению разведываемых горизонтов. Именно в зоне интерференции наиболее вероятны рудные тела, выдержанные по горизонтальному простиранию и глубине, а во внутренних частях структур это наблюдается крайне редко и минерализация чаще всего гнездовая, «четко

видная», пунктирная и т.д., что в настоящее время сложно поддается разведке. Это относится к Курунгской структуре, например район «Буор-Юряха», или к Мекчиргэлээхской структуре – району «Левобережного», которые стоило бы оставить до «лучших» времен [8,16].

Заключение ►

В XXI веке геополитические интересы России последовательно смещаются на Север – в Арктику. Правительство РФ планирует в ближайшей перспективе создать здесь мощный минерально-сырьевой комплекс на базе активизации Северного морского пути.

Перспективы освоения арктических минеральных месторождений, кроме масштаба и богатства запасов, во многом определяются близостью к Северному морскому пути и к судоходным рекам, что значительно повышает рентабельность работы рудников за счёт

использования относительно дешевого водного транспорта. Несмотря на вековую историю горнодобывающих работ, недра Арктики содержат ещё достаточное количество твёрдых полезных ископаемых.

Кючусское месторождение находится за Полярным кругом, на границе Верхоянского и Усть-Янского районов Республики Саха (Якутия) в нижнем течении реки Кючус – левого притока реки Яна. Его территория характеризуется экстремально суровыми природными условиями.

Очевидно, что активизация освоения месторождения «Кючус» существенно повысит уровень социально-экономического развития Северо-Восточной и всей Якутии в целом. На базе месторождения вполне реально создание единого центра переработки сложно-компонентных руд и концентратов упорных руд в Якутии.

Создание подобного центра коллективного пользования с дорогостоящим оборудованием и технологиями, которые в экстремальных условиях Якутии недоступны одиночным предприятиям, позволит перерабатывать сложно-компонентные руды и концентраты упорных руд на месте, а не вывозить их за пределы страны в КНР, как это делается сейчас.

В этих условиях необходимо компенсировать негативные факторы освоения «Кючуса» за счёт создания в золотодобывающей отрасли более высокоэффективного производства. Необходимо проведение углубленных научных исследований, ориентированных на разработку и внедрение новых экономоёмких и экологических технологий.

Подобный подход является особенно актуальным при освоении крупных золотосодержащих месторождений, особенно для расположенных в арктической части Якутии. ■

Библиографический список ►

1. АЛРОСА отправила свое золото на "Полюс". Электронный ресурс. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/601990>. Источник: Газета "Коммерсантъ" №153 от 18.08.2005, стр. 5. Дата обращения: 25.12.2019 г.
2. Аркадий Васильев. Якутии предложили организовать переработку золотосодержащих руд. Электронный ресурс. URL: <http://ysia.ru/yakutii-predlozhili-organizovat-pererabotku-zolotosoderzhashih-rud/>. Источник: <http://ysia.ru/>. Дата обращения: 27.03.2019.
3. Беневольский Б.И. Золото России: проблемы использования и воспроизводства минерально-сырьевой базы. Изд. 2-е, исправл. и доп. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2002. – 464 с.
4. Волков А. В., Сидоров А. А. Поискная модель золото-сульфидных месторождений вкрапленных руд Арктической зоны России // Арктика: экология и экономика. — 2017. — № 2 (26). — С. 62-75.
5. В Якутии надеются на скорое лицензирование месторождения Кючус. Электронный ресурс. URL: <http://www.ria.ru/20161006/1478683210/>. Источник: <http://www.ria.ru/>. Дата обращения 06.10.2016.
6. Геокриология СССР. Северо-Восток Сибири. –М.: «Недра», 1989 – 414 с.
7. История освоения месторождения. Википедия. Электронный ресурс. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%8E%D1%87%D1%83%D1%81>.
8. Коваленко А.И. Морфоструктурный анализ и локальный прогноз перспективного участка «Юнгкюр» на примере модели золоторудного месторождения «Кючус» //Золото и технологии. 2016, № 2 (32). Электронный ресурс. URL: <https://zolteh.ru/spetsproekty/zolotodobyvayushhie-regiony-rossii/yakutiya/morfostrukturnyj-analiz-i-lokalnyj-prognoz-perspektivnogo-uchastka-yungkyur-na-primere-modeli-zolotorudnogo-mestorozhdeniya-kyuchus/>. Источник: <https://zolteh.ru/>. Код доступа: 23.01.2020.
9. Курков А. В., Соложенкин П. М., Щербакова С. Н. Комплексная переработка золотосурьмяных руд месторождения Кючус, Республика Саха (Якутия). Электронный ресурс. URL: <http://www.rudmet.ru/catalog/journals/4/1170/>. Источник: <http://www.rudmet.ru/>. Дата обращения: 24.07.2018.
10. Кючус ждет желающего на свои 200 тонн золота. Электронный ресурс. URL: <https://biznes-gazeta.ru/?id=news.view&obj=d77aa7d644b048db6f25be31a5639d49/>. Источник: <https://biznes-gazeta.ru/>. Дата обращения: 14.06.2018.
11. Мерзлотно-ландшафтная карта Якутской АССР масштаба 1:2 500 000. – М.: ГУГК, 1991. – 2 л.
12. Месторождение семидесятой широты: Кючус выставили на аукцион. Электронный ресурс. URL: <https://yesaul.livejournal.com/544011.html>. Источник: <https://yesaul.livejournal.com/>. Дата обращения: 16.10.2017.
13. Мурзин Ю.А., Нерадовский Л.Г., Железняк М.Н. «Температурное поле и строение криолитозоны Янского плоскогорья». Сборник трудов IV Общероссийской конференции изыскательских организаций 16-17 декабря 2008г, «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации». М., ПНИИС, 2009, С.53-56.
14. Мурзин Ю.А., Жижин В.И. ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КЮЧУС. // ГЕОЛОГИЯ И МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫЕ РЕСУРСЫ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ Материалы всероссийской научно-практической конференции 2-4 апреля 2013 г. Том II Якутск 2013, С.29-33.
15. Соложенкин П. М. Экологические аспекты рациональной переработки золотосурьмяных руд // ВИНТИ. 2006. № 2. С. 2–122.
16. Тыллар А.Г., Никифорова В.В. Об инновационной целесообразности расширения Томпонского горно-промышленного района в Восточной Якутии // Материалы I научно-практической конференции «Проблемы формирования инновационной экономики региона». (г.Магадан, 2-3 декабря 2009 г.). -Магадан: Новая типография, 2010. - С.60-64.

100+

TECHNO BUILD

IX Международный
строительный форум
и выставка

forum-100.ru

18-21 октября 2022
Екатеринбург



стать экспонентом

13 000
посетителей

235
экспонентов

500
спикеров

120
секций

25
стран

*показатели 2021 года



ТАТЬЯНА ВАСИЛЬЕВА: ПОЛИТИКА «МАККАФЕРРИ» В ОБЛАСТИ КАЧЕСТВА ОСНОВАНА НА «ЗЕЛЕНОМ МЫШЛЕНИИ»



ТАТЬЯНА ВАСИЛЬЕВА

Итальянская транснациональная корпорация Massaferrì («Маккаферри») разрабатывает и производит уникальные инновационные системы для армирования грунтов, укрепления берегов, снижения рисков стихийных бедствий и т. д. Эти надежные, экономически выгодные и экологически безопасные технические решения применяются в строительной, геоинженерной и горнодобывающей отраслях. Они выполняются на основе обычных габионов и габионов матрасного типа, георешеток, геотекстиля и геокомпозитных материалов. С 1994 года «Маккаферри» имеет подразделение в России, представительства в остальных странах СНГ и собственный завод в Московской области (massaferrì.ru).

О методах управления качеством изделий корпорации «Маккаферри» на примере производства габионной продукции и геосинтетических материалов рассказала директор компании «Маккаферри СНГ» по качеству ТАТЬЯНА ВАСИЛЬЕВА.

Ред.: *Татьяна, расскажите, пожалуйста, об основных принципах системы управления качеством в компании «Маккаферри СНГ» и о том, как она построена.*

Т. В.: Политика «Маккаферри СНГ» в области качества соответствует политике всей группы компаний «Маккаферри» в целом. Основной ее принцип основан на «зеленом мышлении». Это стремление создавать из наших продуктов инфраструктурные объекты, которые становятся частью ландшафта и существуют в гармонии с природой при минимальном или вообще незаметном влиянии на окружающую среду. Для изготовления своих материалов и изделий мы используем только безвредные для экологии составляющие. Более того, все опасные отходы производства мы направляем на утилизацию и стремимся к минимальному количеству вредных выбросов в окружающую среду.

Система управления качеством «Маккаферри» охватывает все этапы жизненного цикла каждого продукта. Все начинается с взаимодействия с поставщиками материалов. Например, проволоку для габионных изделий и сырье для геосинтетических материалов мы заказываем у сторонних производителей. Партнеров в этом отношении у нас немного, но каждому из них мы выставляем определенные требования по качеству. Обязательно выполняются входной контроль сырья и приемосдаточный контроль готовых изделий. Сопровождаются необходимые характеристики при заказах и закупках материалов. На этапе производства выполняется трехступенчатый контроль работы персонала – операторов, бригадиров и сотрудников отдела технического контроля (ОТК). Мы отслеживаем всю технологическую цепочку, чтобы минимизировать количество ошибок. Для определения соответствия выпускаемых изделий необходимым требованиям обязательно проводятся испытания в лаборатории. В результате негативных отзывов на продукцию наша компания уже давно не получала.

Ред.: *А какова политика компании в отношении кадров в связи с борьбой за качество продукции?*

Т. В.: Одной из самых важных составляющих кадровой политики «Маккаферри» является обучение производственного персонала. Наши специалисты периодически читают лекции для работников производства, на которых подробно рассказывают об особенно-

стях изготовления габионной продукции и геосинтетических материалов, о сооружениях, построенных с использованием продуктов «Маккаферри». Сотрудники должны хорошо понимать ход процесса, важность сохранения запроктированных параметров выпускаемых изделий и тщательно соблюдать технологии в процессе своей работы. Только тогда конечное качество и срок службы продукции будут соответствовать заявленному.

Например, в горнодобывающей отрасли для возведения подпорных стен или для укрепления бортов и дна хвостохранилищ используют конструкции из сетки двойного кручения с дополнительным полимерным покрытием для защиты от агрессивной среды. Брак в таких изделиях на опасных производственных объектах может привести к техногенным катастрофам и гибели людей. Поэтому у каждого сотрудника «Маккаферри» должна быть сформирована ответственность за свою работу на основе понимания важности сохранения нашими изделиями своих эксплуатационных качеств на весь срок их службы.

Плюс ко всему регулярное обучение персонала помогает нам выявлять узкие места в производственных цепочках, что особенно важно при изготовлении новых типов изделий.

Ред.: *Где разрабатываются новые решения и как они испытываются перед запуском в производство?*

Т. В.: Разработкой новых решений занимается подразделение «Центр ин-

новаций Маккаферри» (Maccaferri Innovation Center – MIC), расположенный в технопарке NOI в итальянском городе Бозен. С 2014 года MIC управляет всей научно-исследовательской деятельностью группы компаний «Маккаферри». В этом центре регулярно проводятся испытания изделий для всех филиалов «Маккаферри» в мире. Там же собирается общая база данных о видах сырья и о результатах исследований. На основе информации из этой базы готовятся рекомендации для коллег.

Процесс испытаний нового продукта всегда состоит из нескольких этапов. Сначала разрабатывается решение с точки зрения проектирования. Например, если поставлена задача создания элементов для строительства подпорной стенки на участке, испытывающем воздействие агрессивной среды, то мы рассматриваем готовое изделие и начинаем решать обратную задачу: как его можно использовать в этих условиях?

На следующем этапе определяются требования к материалам. В нашем примере может подойти армогрунтовая система на основе проволоки. Но эту проволоку необходимо защитить от действия агрессивной среды, для чего надо выбрать специальное дополнительное покрытие, которое не только будет устойчивым к агрессивным воздействиям в течение назначенного срока службы, но и будет плотно прилегать к проволоке, обладать устойчивостью к истиранию и другим механическим повреждениям, а также, что актуально для России, к низким температурам.



Система армирования грунта Зеленый Террамеш, Грузия



Система армирования грунта

После выбора комбинации решений и создания на этой основе пробного изделия выполняется комплекс его испытаний во всевозможных условиях с целью подтверждения его прогнозируемых параметров. Так, при тестировании сетки двойного кручения в том числе растягиваются зоны сгиба и скрутки, моделируются некоторые непредусмотренные ситуации на объекте (например, сохранит ли изделие свои прочностные свойства, если по нему проедет автопогрузчик).

Именно по такой схеме в «Маккаферри» недавно разработали и испытали инновационное покрытие «ПолиМак». Интересно отметить, что по итогам испытаний его свойства оказались на порядок лучше, чем ожидалось.

Ред.: Как «Маккаферри» справляется с проблемой соответствия стандартам в отношении инновационных продуктов?

Т. В.: Да, действительно, соблюдение стандартов в нашей сфере – неоднозначный вопрос. К примеру, на сетки двойного кручения «Маккаферри» в России сегодня распространяются сразу два государственных стандарта. В разработке первого ГОСТа, который был принят в 2003 году, принимали участие наши специалисты. Но со временем он устарел, и в 2018 году в РФ приняли усовершенствованный и расширенный стандарт – ГОСТ Р 58146.3-2018, который фактически явился переводом стандарта качества, утвержденного в 2013 году в Западной Европе. В нем, например, появились регламенты по использованию разных типов по-

крытий для изделий из проволоки в условиях сред разной степени агрессивности. «Маккаферри» в настоящее время следует этому последнему ГОСТу, взяв его за основу для разработки своих внутренних документов, в которых уточнены некоторые параметры.

Ред.: Всегда ли вы четко следуете установленным требованиям или иногда выходите за рамки стандартов? Если выходите, то насколько это оправданно с точки зрения качества?

Т. В.: Если говорить о размерах, то даже допустимое стандартом уменьшение габаритов изделия не является для «Маккаферри» оправданным, потому что в итоге смонтированное сооружение может не выйти на проектные отметки. Мы стремимся к наиболее точному выполнению требований к номинальным значениям. Это важно для подрядчиков, потому что им не придется в случае чего докупать материалы, а то и вносить изменения в проект и нести дополнительные расходы. К тому же соответствие сооружения проектным отметкам сейчас очень строго контролирует Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор).

К примеру, в отношении подпорных стен действует система допусков на геометрические размеры. Допустим, для габионных конструкций с габаритами 2 м x 1 м x 1 м допуск составляет плюс-минус 5%. Теоретически можно было бы уменьшить их длину, положим с 2 до 1,9 м. Для небольшой подпорной стенки это особой роли не сыграет, но для крупных стен такое уменьшение

будет иметь серьезные экономические последствия. Подрядчику придется дополнительно закупать материалы и увеличивать расходы на их доставку к месту монтажа. И это еще самый простой пример. А для технически более сложных или эксклюзивных изделий точно соблюдать нормированные размеры еще важнее.

Если говорить о свойствах материалов, например нового покрытия «ПолиМак», то в стандартах указано лишь то, что полимерные покрытия должны быть. Все остальные требования наши специалисты разрабатывали самостоятельно. И тут с точки зрения жизненного цикла объекта может быть оправданным только превышение минимально необходимых показателей. То есть чем лучше свойства покрытия (в отношении химической устойчивости, сопротивления к повреждаемости, устойчивости к низким температурам и пр.), тем дольше будет срок службы сооружения.

Ред.: Необходима ли сегодня сертификация ваших продуктов или она лишь способствует повышению доверия покупателей?

Т. В.: При проектировании любого строительного объекта контроль правильности технических решений проводится в несколько этапов. Сначала подтверждается надежность конструкции или сооружения в компьютерных программах, в которых были выполнены расчеты их устойчивости. Затем проводится государственная экспертиза и подтверждается их соответствие требованиям стандартов. Здесь можно задуматься о сертификации. Но следует подчеркнуть, что применительно к продукции «Маккаферри» эта процедура не является обязательной.

Ранее наша продукция проходила добровольную сертификацию в системе ГОСТ Р, но в конце 2019 года ее упразднили. Начиная с лета 2021 года в российское производство пришел сертификат СЕ, подтверждающий соответствие товара требованиям и нормативам Евросоюза.

Ред.: Как у вас происходит обратная связь с клиентами?

Т. В.: Для многих компаний самым простым подходом считается сбор и анализ рекламаций. Но у «Маккаферри», как я уже говорила, претензий от заказчиков не было очень давно.

Для нас обратная связь с клиентами – это многоуровневый и творческий процесс, основанный на плотном об-

шении с заказчиками, проектировщиками и подрядчиками. С заказчиками у нас главным образом взаимодействуют отдел продаж и производственно-технический отдел. Кроме того, наши специалисты наблюдают за строительством и эксплуатацией объектов, созданных с применением технических решений «Маккаферри», запрашивают информацию об их состоянии. Мы также имеем обратную связь с потребителями с помощью технических и информационных семинаров. Для нашей компании важно собирать все предложения и замечания, консультировать клиентов по всем интересую-

щим их вопросам и оказывать им всестороннюю поддержку.

Что касается такой типовой модели сбора информации, как использование анкет и рассылок, то мы не так часто ее используем, потому что работа по шаблонам далеко не всегда дает достоверные результаты. Мы гораздо больше ценим индивидуальный подход.

Но в основном, как я уже отмечала, мы получаем информацию относительно обратной связи от сотрудников отдела продаж и производственно-технического отдела. С подрядчиками, работающими в полевых условиях, наладить контакт сложнее. Конечно, специали-

сты компании «Маккаферри» предоставляют клиентам четкие инструкции и видеоролики по монтажу своих изделий, периодически проводят соответствующее обучение инженеров и технологов, по договорам или запросам выезжают на строящиеся объекты и проводят необходимые консультации на месте. Но мы четко понимаем, что конечный результат во многом зависит от того, насколько добросовестно и грамотно выполняет инструкции сама подрядная организация. Поэтому мы продолжаем работать над выработкой методов эффективных взаимоотношений с подрядчиками. **И**



Телеграм-канал журнала

Независимый электронный журнал
ГеоИнфо

- Новости
- Статьи
- Обсуждения

«ГеоИнфо» 05-2022
подписан в печать
30.05.2022

АНАНКО Виктор Николаевич
Главный редактор журнала «ГеоИнфо»

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

ГИЗЗАТУЛЛИН Рушан Рафаэлевич
Инженер-геотехник
ООО «НИП-Информатика»

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

ИСАЕВ Владислав Сергеевич
Старший научный сотрудник кафедры геоэкологии
геологического факультета МГУ, к.г.-м.н.

ЛАТЬПОВ 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.

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

СУДАКОВА Мария Сергеевна
Старший преподаватель кафедры сейсмометрии 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»)

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