

# ГеоИнфо

Независимый электронный журнал

АВГУСТ • 08–2022





# 100+ TECHNO BUILD

IX Международный  
строительный форум  
и выставка

[forum-100.ru](http://forum-100.ru)

18-21 октября 2022  
Екатеринбург



стать экспонентом

13 000

посетителей

235

экспонентов

500

спикеров

120

секций

25

стран

---

\*показатели 2021 года

**ГЛАВНАЯ ТЕМА**

- Знаковые изменения нормативных технических документов в области строительства** 6  
Пресс-служба ФАУ "ФЦС"

**МЕХАНИКА ГРУНТОВ И ГЕОТЕХНИКА**

- Устройство глубоких выемок под фундаменты рядом с метрополитеном. Моделирование и мониторинг. Часть 2** 10

БО ЛЮ

ДИН-ВЭНЬ ЧЖАН

ЧАНГ ЯНГ

*Школа транспорта, Юго-Восточный университет Китая, Главная лаборатория Цзянсу по техническому проектированию городских подземных пространств и экологической безопасности и др.*

- Пример сравнения результатов 2D и 3D анализа устойчивости анизотропного откоса** 24

АНАЛИТИЧЕСКАЯ СЛУЖБА

- О компьютерном моделировании состояния и поведения грунта в неводонасыщенной зоне** 28

АНАЛИТИЧЕСКАЯ СЛУЖБА

**ЭКОЛОГИЯ. ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ**

- Экономические и технологические особенности проектов ликвидации объектов накопленного экологического вреда** 40

ВЛАДИМИР БЫСТРОВ

*Главный специалист отдела охраны окружающей среды Управления экологической экспертизы Главгосэкспертизы России*

- Об экологической отчетности** 44

ВАЛЕНТИНА ЛАВРЕНТЮК

*Руководитель отдела проектирования и консалтинга ООО «Искра. Эксперт», г. Владивосток*

- Города-губки. Учимся у природы** 50

АНАЛИТИЧЕСКАЯ СЛУЖБА

**ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ТЕРРИТОРИИ**

- В защите от опасных склоновых явлений залогом безопасности является компетенция** 56

АНАЛИТИЧЕСКАЯ СЛУЖБА

**ИНЖЕНЕРНОЕ МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ**

- НЕЖДАНИНКА. Эколого-технологические условия золоторудного месторождения Нежданинское (Северо-Восточная Якутия)** 62

МАРК ШАЦ

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

СЕРГЕЙ СЕРИКОВ

*Научный сотрудник ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова, СО РАН*

**ПРИЛОЖЕНИЕ «ДИСКУССИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ»**

- Участники Российского форума изыскателей обсудят перспективы развития отраслевой науки и отечественных технологий** 70

АНАЛИТИЧЕСКАЯ СЛУЖБА

- Пример использования геодезического дрона для контроля эффективности работ в золоторудном карьере** 72

АНАЛИТИЧЕСКАЯ СЛУЖБА

## ГЕНЕРАЛЬНЫЕ СПОНСОРЫ ПРОЕКТА



ООО «ПЕТРОМОДЕЛИНГ»



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



Институт  
экологического  
проектирования  
и изысканий

АО «ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИЗЫСКАНИЙ»



Maccaferri / ГАБИОНЫ МАККАФЕРРИ СНГ



ООО НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

ООО НПП «ГЕОТЕК»



Компания  
Mountain Risk Consultancy

## СПОНСОРЫ ПРОЕКТА



MalinSoft



ООО «МИДАС» / MIDAS IT



Геотехническая лаборатория  
АО «МОСТДОРГЕОТРЕСТ»



ООО «НИЖЕГОРОДСТОЙИЗЫСКАНИЯ»



ООО «ГЕОИНЖЕРВИС» / FUGRO

EngGeo

Обработка и хранение результатов  
инженерно-геологических  
изысканий

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС «ENGCEO»



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  $+5 (\pm 2) ^\circ\text{C}$

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



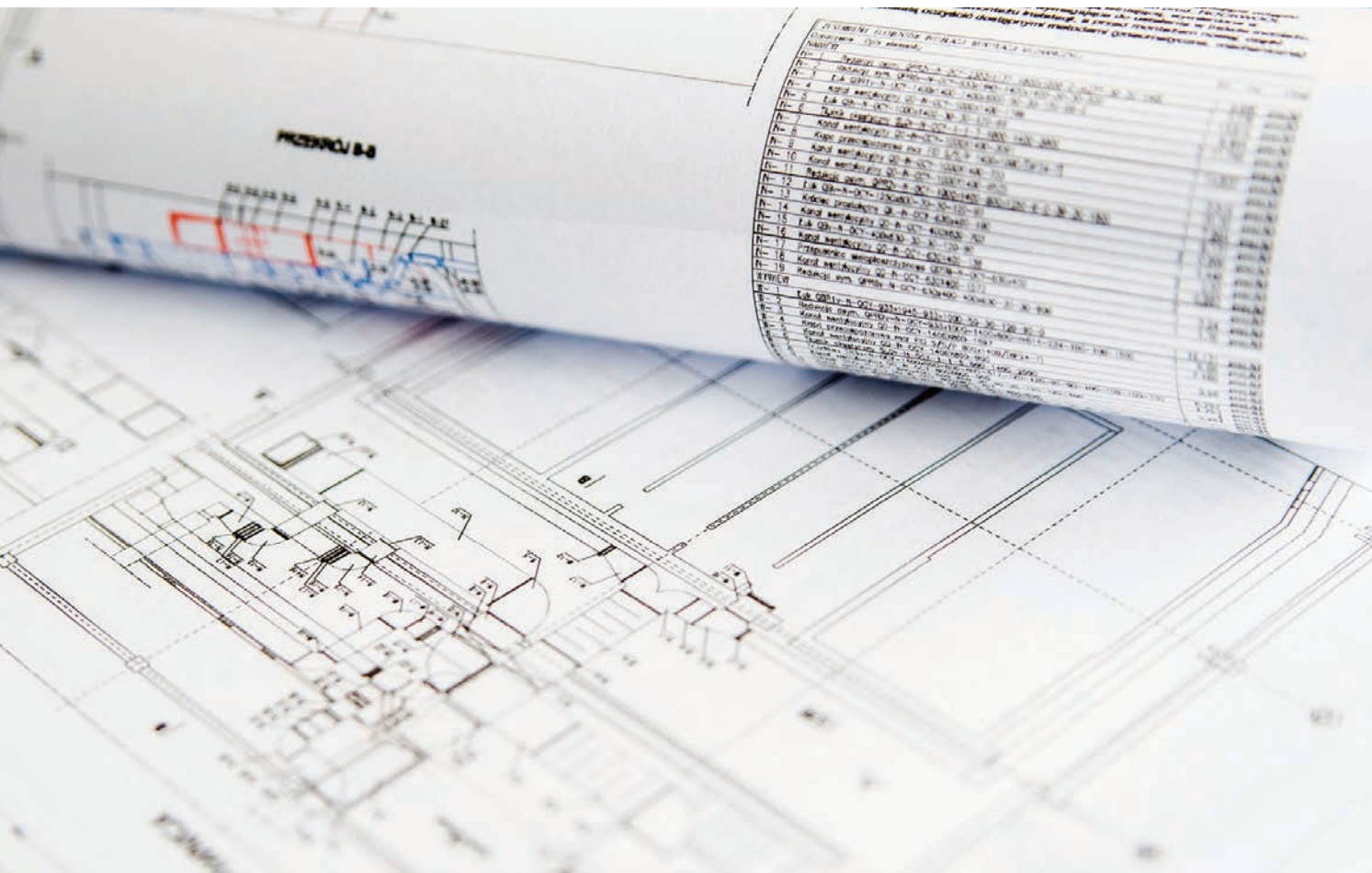
Надежный сервис



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



# ЗНАКОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ НОРМАТИВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА

ПРЕСС-СЛУЖБА ФАУ «ФЦС»

Одним из приоритетных направлений государственной политики, реализуемой в рамках национального проекта «Жилье и городская среда», является внедрение инноваций и установление ограничений на использование устаревших технологий в проектировании и строительстве. Для этого Минстрой России и ФАУ «ФЦС» проводят совместную работу по актуализации действующих и разработке новых нормативных технических документов – сводов правил и стандартов в области строительства.

Републикация материала, опубликованного в журнале «Вестник государственной экспертизы» №2/2022.



**В** нормативную техническую базу внедряются требования по применению новых материалов и технологий. Идет широкоформатное внедрение продукции нефтегазохимической отрасли, в том числе таких решений, как армирование разнообразной композитной арматурой, дисперсное армирование конструкций с применением различного рода фибр, геосинтетические материалы, неметаллические промышленные трубопроводы, полимерные трубы и фитинги для систем водоснабжения, канализации и газоснабжения, полимерная теплоизоляция для ограждающих конструкций и тепловых сетей, изотермические резервуары для нефтепродуктов.

Всего в 2021 году в рамках развития нормативной базы строительной отрасли было издано:

- 58 сводов правил;
- 106 НИР и НИОКР;
- 59 ГОСТов.

### Строительные конструкции: свобода выбора ▶

Важнейшими нормативными техническими документами, подготовленными в 2021 году по направлению «Строительные конструкции», стали:

- СП 16 «Стальные конструкции»;
- СП 63 «Бетонные и железобетонные конструкции»;
- СП 64 «Деревянные конструкции»;
- СП 71 «Изоляционные и отделочные покрытия»;
- СП 362 «Ограждающие конструкции из трехслойных панелей. Правила проектирования».

В последние годы значительное развитие получили конструктивные решения с применением «традиционных» материалов и их «нестандартных» сочетаний: сталежелезобетонные конструкции, легкие стальные тонкостенные конструкции, самоуплотняющиеся бетонные смеси. Сделаны первые шаги по внедрению аддитивных технологий в строительстве, или так называемой «3D-печати».

Актуализированный свод правил **СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения»** уточняет:

- положения по расчету железобетонных конструкций на действие поперечных сил с учетом влияния продольных сжимающих и растягивающих сил;
- методику расчета железобетонных конструкций на выносливость при действии многократно повторяющейся нагрузки.

Актуализированный свод правил **СП 362** обеспечивает внедрение новых листовых материалов из алюминиевых сплавов, что позволяет увеличивать жизненный цикл здания и снижать стоимость его эксплуатации.

При актуализации свода правил СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции» в практику строительства внедрен инновационный материал – CLT/ДПК (древесина перекрестно клееная). Кроме того,

- определены прочностные и упругие характеристики ДПК/CLT;
- представлена классификация по классам прочности;
- учтена возможность определения несущей способности стеновых панелей и плит перекрытия из ДПК/CLT, а также разработана собственная методика расчета;
- разработан расчетный метод определения предела огнестойкости ДПК/CLT.

### Жилье и сети ▶

В рамках работы по направлению «Инженерные системы, сети и сооружения» внесены изменения в следующие своды правил:

- СП 89 «Котельные»;
- СП 124 «Тепловые сети»;
- СП 31 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения»;
- СП 32 «Канализация. Наружные сети и сооружения».

Важнейшим изменением основополагающих для проектировщиков сводов

правил по проектированию жилых, общественных и производственных зданий стала актуализация:

- СП 54 «Здания жилые многоквартирные»;
- СП 118 «Общественные здания и сооружения»;
- СП 56 «Производственные здания»;
- СП 427 «Каменные и армокаменные конструкции. Методы усиления».

Важные изменения внесены при актуализации СП 56 «Производственные здания», которая проводилась в активном взаимодействии со всем промышленным сообществом и обеспечила внедрение технологий проектирования объектов нефтехимической промышленности с применением технологических блоков, суперблоков, что позволит сократить сроки строительства объектов до трех раз.

### Защита для камня ▶

С учетом решения Совета глав государств СНГ объявить 2021 год - Годом архитектуры и градостроительства, символичным является утверждение изменения №1 к СП 427 «Каменные и армокаменные конструкции. Методы усиления», требования которого применимы ко всем зданиям с каменными конструкциями – стенами, сводами, бутвыми фундаментами, в том числе к историческим зданиям всех периодов постройки.

Необходимость внесения изменений в свод правил обусловлена разработкой новых технологий, методов расчета и

#### Сергей Музыченко, заместитель Министра строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации

*«Включение в СП 16 требований по проектированию и расчету ранее отсутствующих рамных конструкций и применению проката особо высокой прочности стали классов от С440 до С690 даст большую вариативность проектировщикам при подборе сечений и позволит снизить металлоемкость каркасов зданий и сооружений до 20%».*

#### Андрей Копытин, директор ФАУ «ФЦС»

*«Результаты ряда научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) дали возможность актуализировать СП 64 и включить основные положения по проектированию конструкций из древесно-полимерных композитов (ДПК). Одно из важных новшеств – внесение в документ принципов расчетов конструкций. А полученные закономерности обугливания и прогрева сечений ДПК в условиях стандартного теплового воздействия позволяют определять пределы огнестойкости незащищенных плит перекрытия и стеновых панелей расчетным методом без проведения дорогостоящих испытаний. Также в документе определены классы функциональной ответственности для зданий и сооружений с конструкциями из ДПК».*

### Сергей Музыченко, заместитель Министра строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации

*«Внедрение новых материалов и «зеленых» технологий в пакет сводов правил по инженерным сетям позволит повысить безопасность, сократить стоимость строительства и эксплуатации объектов. Важным для всех потребителей является пересмотр требований СП 31 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения». Оптимизация работы водопроводной сети путем проведения гидравлического моделирования, поиска и контроля утечек, включения новых положений по требованиям водоочистки, по правилам применения и безопасного дозирования новых современных коагулянтов и синтетических полимерных флокулянтов обеспечит повышение уровня безопасности и экологического комфорта населения. Кроме того, в СП 31 и СП 32 включено новое требование учета жизненного цикла объектов и оборудования, что в перспективе обеспечит снижение аварийности и повышение надежности сетей».*

### Андрей Копытин, директор ФАУ «ФЦС»

*«Благодаря внедрению новых технологий, таких как усиление косвенным армированием в сочетании с инъекцией, устройство внутреннего каркаса, располагаемого в теле кладки стен и столбов, новых материалов, в том числе из полимерных композитов, инъекционных растворов, новых методов расчета усиливаемых конструкций будет повышена надежность каменных конструкций реконструируемых зданий и зданий с дефектами, появятся большие возможности сохранения архитектурного облика исторических зданий».*

усиления. Например, применение метода косвенного армирования в сочетании с инъекцией позволяет не нарушать архитектурный облик исторических объектов. Данные технологии применялись при реконструкции Грановитой палаты и Сенатского дворца московского Кремля, здания мэрии Москвы, Большого театра.

### Правила движения ►

Среди новых и актуализированных сводов правил в области сооружений транспорта и гидротехники: СП 120 «Метрополитены», СП 511 «Посадочные площадки», СП 288 «Дороги лесные».

Новый свод правил СП 511.1325800.2022 «Посадочные площадки. Правила проектирования» обеспечивает возможность проектирования посадочных площадок под любой тип воздушного судна. Также указанный документ закрывает потребность транспортной инфраструктуры в части требований к наземным объектам авиационного сообщения, предназначенным как для авиации общего назначения, так и для коммерческих авиационных перевозок.

В разработанном своде правил определены требования по проектированию посадочных площадок, которые существенно упрощают работу проектиров-

щикам, позволяют снизить капитальные затраты.

Кроме того, установленные нормативы направлены на ускоренное развитие авиационной инфраструктуры на территориях Крайнего Севера и Арктики. В том числе на нефтегазовых месторождениях, расположенных в труднодоступных регионах. Таким образом, СП 511 будет способствовать развитию экономики страны, а также улучшит транспортную доступность и связность населенных пунктов и регионов.

Вместе с тем, новый свод правил учитывает передовой отечественный и зарубежный отраслевой опыт, что обеспечивает высокую безопасность выполнения полетов на уровне общегосударственных и международных стандартов.

### Для фундаментов и оснований ►

Также значительно актуализирована нормативная база по направлению «Геотехника и процессы». В 2021 году были приняты своды правил:

- СП 24 «Свайные фундаменты»;
- СП 45 «Земляные сооружения, основания и фундаменты»;
- СП 325 «Здания и сооружения. Правила производства работ при демонтаже и утилизации».

В частности, в СП 325 «Здания и сооружения. Правила производ-

ства работ при демонтаже и утилизации» были добавлены возможности:

- ведения демонтажных работ экскаватором-разрушителем;
- указания по сортировке отходов на строительной площадке;
- использования электрогидравлических роботов с навесным оборудованием для устройства отверстий и освобождения стыков и швов замоноличивания.

Свод правил СП 24 «Свайные фундаменты» предусматривает такие новации, как:

- возможность заполнения полости свай сухой цементно-песчаной смесью (СЦПС) и возможность применения сварных прямошовных труб – это особенно актуально для инвестиционных проектов по созданию нефтегазовой инфраструктуры на Крайнем Севере;
- применение новых видов свайных фундаментов с использованием комбинированных типов свай.

В результате снижение стоимости свайных фундаментов за счет учета совместного влияния свай в кусте может составлять до 5%.

### «Зеленое строительство» ►

В контексте современной климатической повестки и тематики «зеленого» строительства идет проработка и внедрение технологий, направленных на обеспечение долговечности и повышенного срока эффективной эксплуатации зданий, сооружений и их систем. Тем самым они позволяют сокращать совокупную стоимость владения объектами недвижимости. Причем как за счет малого «углеродного следа», пониженного энергопотребления (системы механической вентиляции с системами утилизации теплоты вытяжного воздуха, тепловые насосы и другие возобновляемые источники энергии и др.), так и за счет повышенной жизнестойкости конструктивных решений, адаптированных для проявления новых опасных природных процессов, ранее нехарактерных для отдельных регионов строительства. В том числе таких явлений, как наводнения, подтопления, землетрясения, лесные пожары, ураганный ветер и осадки и т.п.

Кроме того, ключевым для строительной отрасли в 2021 году стал вопрос оптимизации обязательных требований в строительстве с безусловным сохранением безопасности и качества объектов капитального строительства. Новые нормы закреплены постановлением Правительства Российской Федерации от 28 мая 2021 года № 815 «Об утверждении перечня национальных стандартов и сводов



правил (частей таких стандартов и сводов правил). В результате их применения на обязательной основе обеспечивается со-

блюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» было сокра-

щено 3800 обязательных требований в сфере строительства. И работа в этом направлении продолжается. **И**

*Материал подготовлен пресс-службой ФАУ «ФЦС» для «Вестника государственной экспертизы». Подробнее об изменениях нормативной базы можно узнать на сайте ведомства [www.faufcc.ru](http://www.faufcc.ru).*

Данная статья из журнала «Вестник государственной экспертизы» (№2/2022) публикуется в рамках информационного сотрудничества журнала «ГеоИнфо» и Главгосэкспертизы России.

С 2019 года «Вестник» доступен только по подписке. Получить всю подробную информацию и подписаться на журнал «Вестник государственной экспертизы» можно на сайте <https://gge.ru/press-center/periodical/>.

# Реклама в журнале



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

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

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

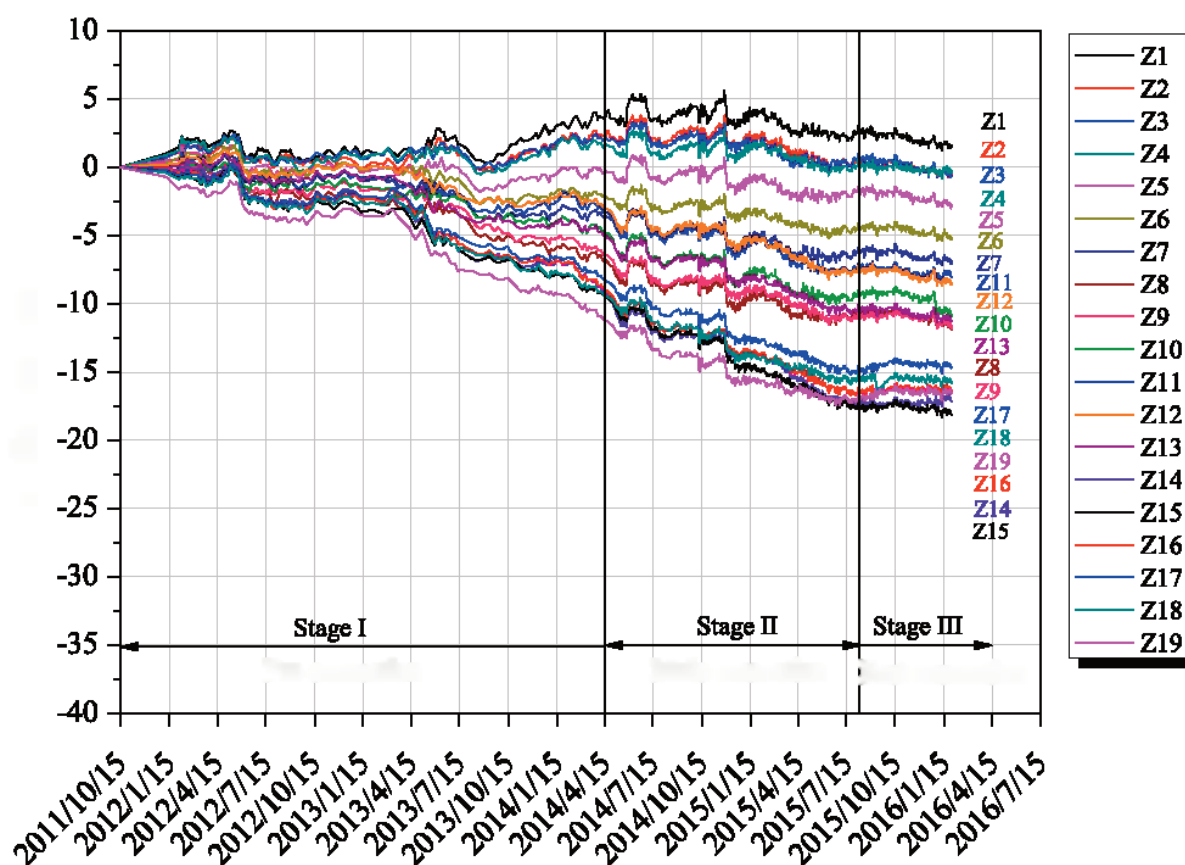
## Прайс-лист на размещение рекламы в 2022 году (без НДС)

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

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

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

Тел.: +7 (499) 340-340-9, (916) 240-03-22  
E-mail: [info@geoinfo.ru](mailto:info@geoinfo.ru)



## УСТРОЙСТВО ГЛУБОКИХ ВЫЕМОК ПОД ФУНДАМЕНТЫ РЯДОМ С МЕТРОПОЛИТЕНОМ. МОДЕЛИРОВАНИЕ И МОНИТОРИНГ. ЧАСТЬ 2

### ЛЮ БО (LIU BO)

Факультет транспорта Юго-Восточного университета Китая; Главная лаборатория Цзянсу по техническому проектированию городских подземных пространств и экологической безопасности

### ЧЖАН ДИН-ВЭНЬ (ZHANG DING-WEN)

Факультет транспорта Юго-Восточного университета Китая; Главная лаборатория Цзянсу по техническому проектированию городских подземных пространств и экологической безопасности

### ЯН ЧАН (YANG CHANG)

Факультет транспорта Юго-Восточного университета Китая; Главная лаборатория Цзянсу по техническому проектированию городских подземных пространств и экологической безопасности

### ЧЖАН ЦЯНЬ-БИН (ZHANG QIAN-BING)

Кафедра гражданского строительства Университета Монаша, Австралия

### СКОРОБАГАТКО КОНСТАНТИН ВЛАДИМИРОВИЧ

Руководитель технического отдела ООО «МИДАС»

### ООО «МИДАС» / MIDAS IT

Спонсор «ГеоИнфо»

В статье китайских авторов Б. Лю и др. «Устройство глубоких выемок под фундаменты рядом с метрополитеном. Моделирование и мониторинг», опубликованной в январе 2020 года издательством Elsevier в международном журнале *Tunnelling and Underground Space Technology* («Технологии строительства тоннелей и других подземных сооружений») на английском языке, рассматривается строительство глубокого котлована и подземной части комплекса высотных зданий рядом с двумя существующими тоннелями метро, проходящими в алевролитистой глине. Численное моделирование, выполненное еще до начала этого строительства, позволило спрогнозировать возможные деформации тоннелей. На основе полученных результатов моделирования была предложена программа комплексного полевого мониторинга поведения системы крепления котлована и реакции тоннелей на строительство. Соответствующий контроль проводился в течение четырех лет.

В первой части перевода этой статьи были рассмотрены исходные условия и алгоритм, по которому выполнялось численное моделирование. В представленной сегодня второй части будут подробно рассмотрены результаты указанного мониторинга и применение нового метода цементации грунта с минимальным нарушением его



структуры с двух сторон от деформированных тоннелей. Нумерация рисунков и таблиц продолжит начатую в первой части.

Моделирование и расчеты проводились в 3D-постановке в программном комплексе midas GTS NX.

Немного сокращенный адаптированный перевод статьи был выполнен Константином Скоробогатько – руководителем технического отдела ООО «МИДАС» (официального представителя южно-корейской компании MIDAS IT на территории России и СНГ).

## РЕАКЦИЯ СТЕНЫ В ГРУНТЕ И СОСЕДНИХ ТОННЕЛЕЙ МЕТРО НА СОЗДАНИЕ КОТЛОВАНА И ПОДЗЕМНОЙ ЧАСТИ КОМПЛЕКСА ЗДАНИЙ ►

### Горизонтальные смещения (прогиб) стены в грунте ►

Ввиду того что стена в грунте на западной стороне глубокого котлована располагалась вблизи существующих тоннелей метро и ее поведение больше всего влияло на их деформирование, для мониторинга были выбраны вертикальные сечения стены только в этой зоне (QX19–QX31). На рисунке 9 показаны эпюры горизонтальных смещений стены после завершения строительства междуэтажных перекрытий подземной части комплекса зданий (однако ввиду повреждений инклинометров для QX21, QX24, QX28 и QX30 данные по ним на рисунке не отображены). Следует отметить, что инклинометрические трубки вводились только до 30 м ниже верха стены в грунте и не доходили до ее нижней части. Поэтому сбор данных был доступен только в пределах диапазона глубины 0–30 м (впрочем, горизонтальные смещения стены ниже фундаментной плиты и не должны были быть существенными, поскольку они там сдерживались невынутым грунтом). Из рисунка 9 видно, что подпорная стена смещается к внутренней части котлована, а максимальное смещение происходит примерно на глубине 14 м, что совпадает с традиционным деформационным «шаблоном» [16]. Деформации вертикального сечения QX25 превышают показатели для других сечений. Максимальное смещение для QX25 равно 41,6 мм, что составляет около 0,18% от глубины котлована.

### Вертикальные смещения сводов тоннелей ►

На рисунке 10 представлены кривые развития вертикальных смещений верхних точек свода восходящего тоннеля для его разных поперечных сечений с течением времени. Общие тенденции хода этих кривых совпали почти по всем показателям, за исключением амплитуды.

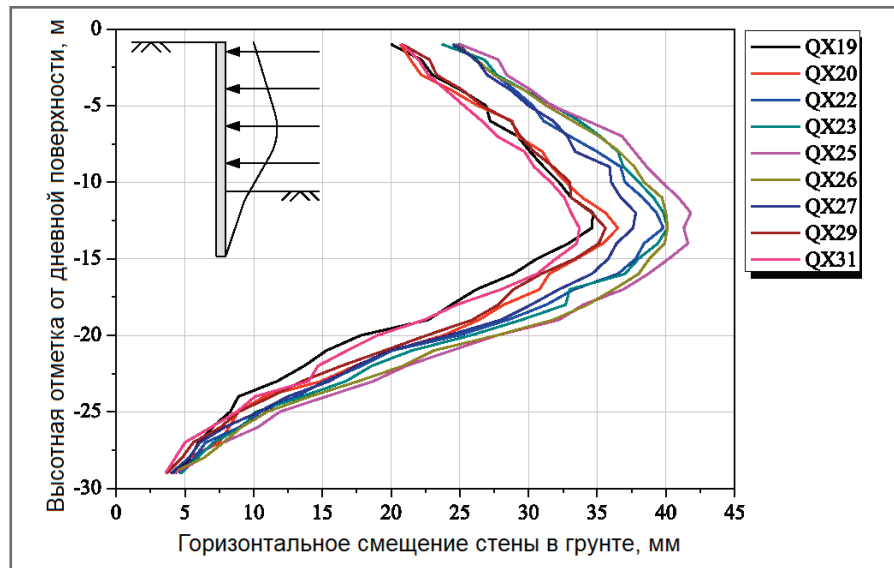


Рис. 9. Эпюры горизонтальных смещений разных вертикальных сечений западной стены в грунте в сторону котлована

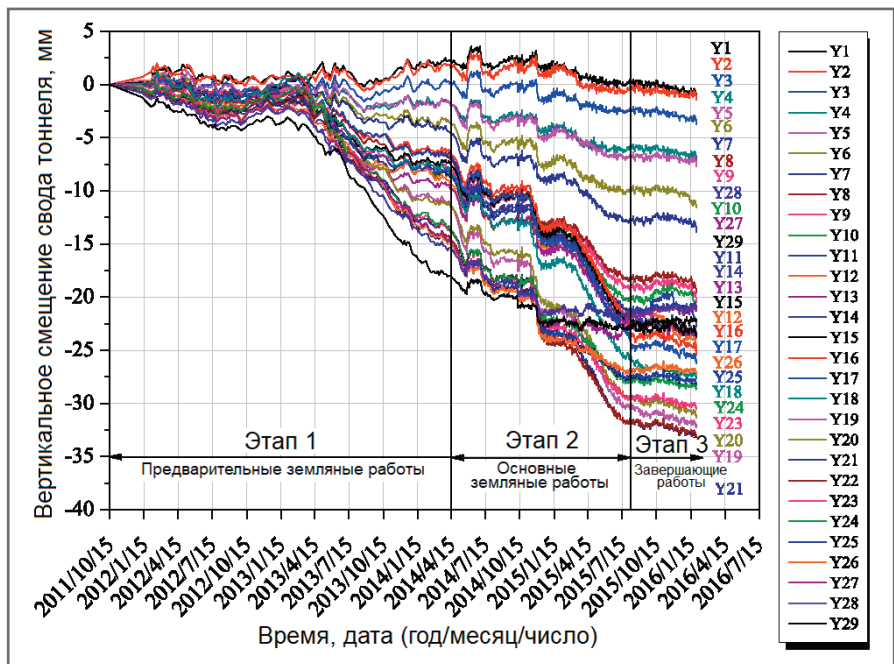


Рис. 10. Развитие вертикальных смещений свода восходящего тоннеля во времени для его разных поперечных сечений

Согласно таблице 1, приведенной в первой части перевода, развитие вертикальных смещений свода восходящего тоннеля тесно связано со строительством поблизости. В соответствии с особенностями кривых, представленных на рисунке 10, можно выделить три этапа развития осадок свода:

- 1) медленного увеличения;
- 2) быстрого увеличения;
- 3) очень медленного равномерного увеличения или даже прекращения.

Этап 1 соответствует предварительным земляным работам перед созданием котлована (устройству стены в грунте и буронабивных свай). На дан-

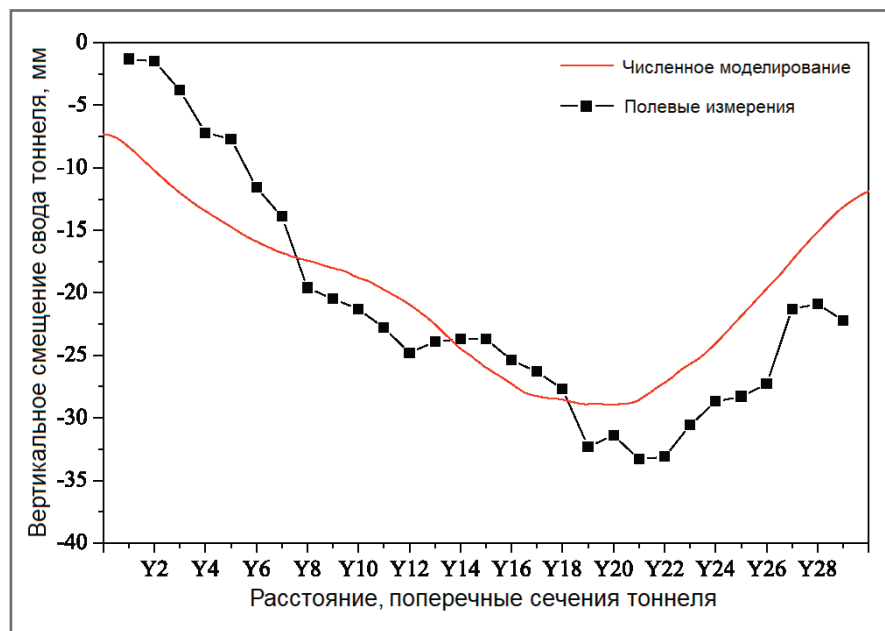


Рис. 11. Распределение вертикальных смещений свода восходящего тоннеля вдоль его трассы для его разных поперечных сечений по состоянию на 30.01.2016

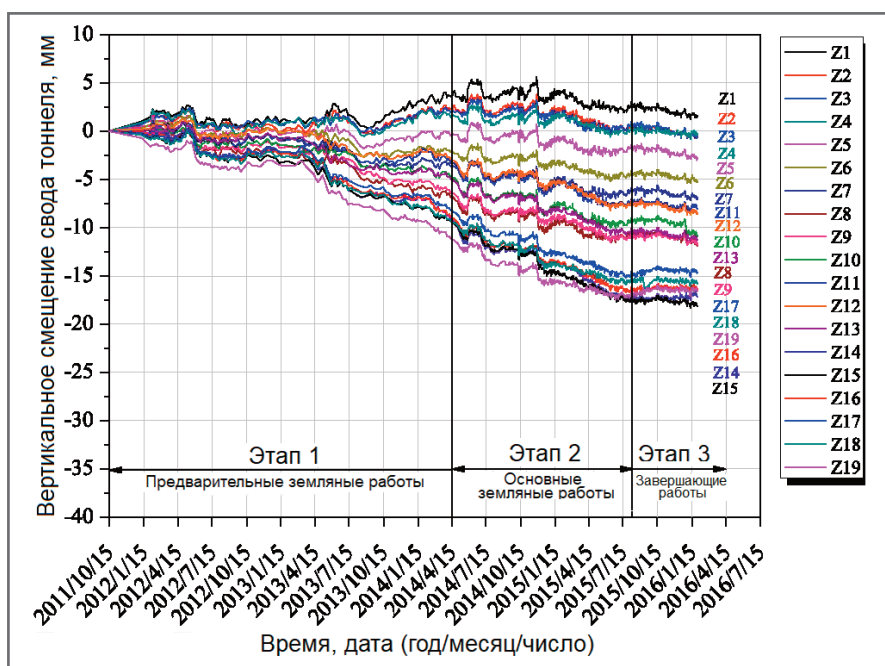


Рис. 12. Развитие вертикальных смещений свода нисходящего тоннеля во времени для его разных поперечных сечений

ном этапе оседание свода восходящего тоннеля происходило медленно, в среднем не более чем на 5 мм к моменту завершения строительства стены в грунте (30.06.2013), из чего следует, что влияние устройства этой стены и буронабивных свай на тоннель было очень небольшим. После этого оседание увеличилось до 15 мм, что произошло уже после завершения строительства буронабивных свай (07.12.2013).

Этап 2 соответствует основным земляным работам при создании котлована (выемке грунта и устройству горизон-

тальных распорок). В это время произошло очевидное увеличение осадок свода тоннеля по сравнению с этапом 1. Максимальная осадка составила 31,9 мм (01.08.2015). Колебания кривых указывают на то, что деформирование тоннеля было чувствительно к поэтапным выемкам грунта и устройству распорок. Осадки его свода увеличивались после очередной выемки грунта и уменьшались после устройства очередного уровня распорок. Следует отметить, что осадки свода не увеличивались, когда строительство было приостановлено в

период с 15.07.2014 по 24.09.2014 в связи с проведением в Нанкине юношеских Олимпийских игр 2014 года. После возобновления строительства вновь наблюдалось увеличение осадок.

Этап 3 соответствует завершающим работам после окончания выемки грунта. На этом этапе поочередно удалялись горизонтальные распорки и создавались фундаментная плита и междуэтажные перекрытия подземной части комплекса зданий, что повысило целостность и жесткость системы. В результате процесс увеличения осадок свода тоннеля очень сильно замедлился, стал равномерным или даже (в каких-то сечениях) прекратился.

Согласно вышеописанному вертикальные смещения свода восходящего тоннеля на этапе 2, составили большую часть общих осадок. Следовательно, этому этапу необходимо было уделять больше внимания.

На рисунке 11 показано распределение осадок свода восходящего тоннеля вдоль его трассы. Следует обратить внимание на то, что численное моделирование позволило получить продольное распределение деформаций, аналогичное таковому по результатам измерений, за исключением амплитуды. Осадки свода для поперечных сечений тоннеля Y1–Y29, располагавшихся близко к северо-западному углу строительной площадки (например, Y19, Y20, Y21, Y22), превысили таковые для других участков. На рисунке 8, приведенном в первой части перевода, было показано, что стена в грунте на северо-западном углу зоны строительства была расположена наиболее близко к тоннелю, а масштабы земляных работ на севере были больше, чем на юге, что повлияло на продольное распределение деформаций тоннеля. По состоянию на 30.01.2016 максимальная осадка свода для сечения Y21 достигла 33,3 мм.

На рисунке 12 представлены кривые развития осадок свода нисходящего тоннеля во времени для его разных поперечных сечений. Видно, что их ход в целом аналогичен таковому для восходящего тоннеля (см. рис. 10). Процесс развития осадок в этом случае также можно разделить на три этапа (медленного, быстрого и очень медленного равномерного увеличения), которые соответствуют предварительным, основным земляным работам и завершающим работам после окончания выемки грунта на соседней строительной площадке. Сравнение рисунков 12 и 10 позволило обнаружить, что осадки свода нисходя-



щего тоннеля были меньше, чем у восходящего (для одних и тех же дат). Возможным объяснением здесь может быть то, что нисходящий тоннель находился дальше от места строительства, чем восходящий, и влияние на него было меньше.

На рисунке 13 показано распределение осадок свода нисходящего тоннеля вдоль его трассы. Результаты численного моделирования немного превысили данные полевых измерений, однако общие тенденции для них оказались одинаковыми и похожими на тенденции для восходящего тоннеля (см. рис. 11). Осадки в точках измерений, расположенных близко к северо-западному углу зоны строительных работ (например, для сечений Z14 и Z15), превысили таковые для других участков. По состоянию на 30.01.2016 максимальная осадка свода нисходящего тоннеля (для сечения Z15) была равна 18,2 мм (см. рис. 13), что составило примерно половину от максимальной осадки свода восходящего тоннеля (33,3 мм).

На основе приведенных результатов стали известны максимальные осадки тоннелей. Чтобы определить диапазон осадок, был предложен практичный упрощенный метод расчета, основанный на принципе простой балки. Как показано на рисунке 14, тоннель можно рассматривать как непрерывную длинную балку с продольной жесткостью, находящуюся внутри слоя грунта. При воздействии дополнительных сил, вызванных влиянием ведущихся поблизости строительных работ, на продольном разрезе образуется кривая вертикальных смещений, центр которой примерно приходится на поперечное сечение с максимальной осадкой, что подтверждается данными, показанными на рисунках 11 и 13. Вблизи концов этой кривой должны находиться точки (поперечные сечения) с нулевыми вертикальными смещениями. Расстояние между этими точками и составляет диапазон осадок. Если невозможно использовать нужное количество точек измерений для определения обоих точных мест с нулевыми вертикальными смещениями, можно определить расстояние между поперечным сечением с максимальной осадкой и одним из сечений с нулевой осадкой, что предположительно составит половину искомого диапазона.

На основе данных, приведенных на рисунках 10–13, можно считать, что диапазон осадок для восходящего тоннеля в два раза превосходит расстояние

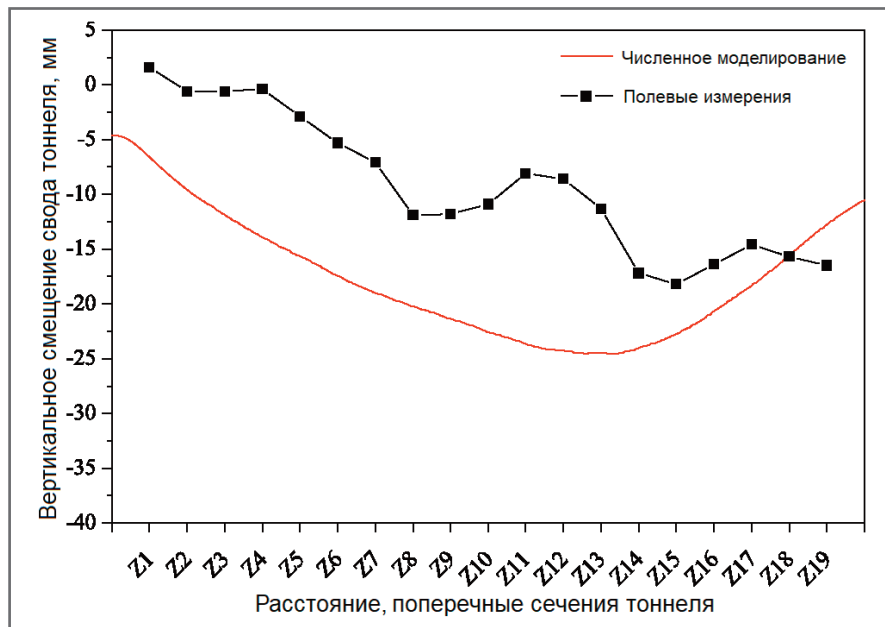


Рис. 13. Распределение вертикальных смещений свода нисходящего тоннеля вдоль его трассы для его разных поперечных сечений по состоянию на 30.01.2016

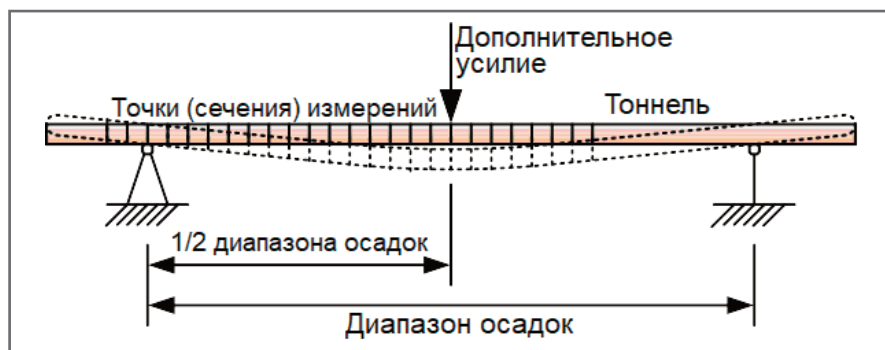


Рис. 14. Определение диапазона осадок тоннеля

между сечениями Y1 и Y21, для нисходящего тоннеля – в два раза превосходит расстояние между сечениями Z2 и Z15.

### Горизонтальные смещения боков восходящего тоннеля ►

Приведенные выше результаты подтверждают, что самое большое влияние на конструкции тоннелей было оказано со стороны расположенного к ним ближе всего северо-западного угла строительной площадки. Кроме того, следует учитывать, что для восходящего тоннеля, находившегося ближе к зоне строительства, было больше точек измерений и он имел более сильные деформации по сравнению с нисходящим.

Поэтому для дальнейшего исследования были выбраны только деформации восходящего тоннеля вблизи северо-западного угла строительной площадки. На рисунке 15 показаны кривые развития во времени горизонтальных смещений правого конца линии, соединяющей

нижние торцы свода этого тоннеля (линии пят свода, условно – горизонтального диаметра) для разных поперечных сечений. Отрицательная величина указывает на смещение в сторону строящегося котлована, положительная – в противоположном направлении. Видно, что ход этих кривых также соответствует трем этапам строительных работ поблизости, о которых уже говорилось выше. Устройство стены в грунте и буронабивных свай на этапе предварительных земляных работ оказало ограниченное влияние на тоннель, в связи с чем горизонтальные смещения правого конца линии пят были незначительными. Выемка грунта и выраженная разгрузка от его давления со стороны котлована на основном этапе земляных работ привели к быстрому увеличению горизонтальных смещений правого бока тоннеля по направлению к строительной площадке. Стоит отметить, что после создания каждого уровня железобетонных распорок в котловане рост горизонтальных

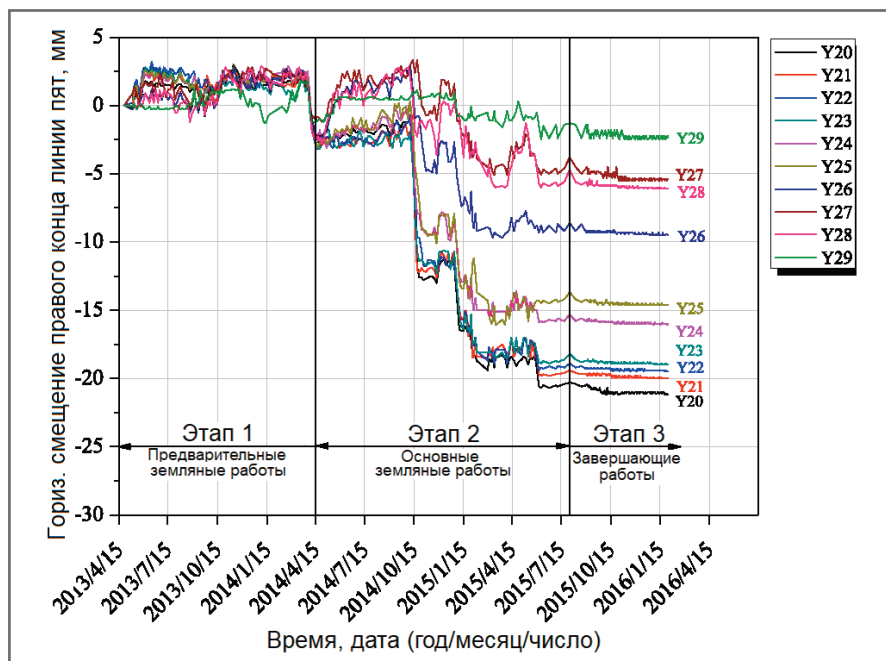


Рис. 15. Кривые горизонтальных смещений правого бока восходящего тоннеля во времени для его разных поперечных сечений. Отрицательные величины – смещения в сторону строящегося котлована, положительные – в противоположном направлении

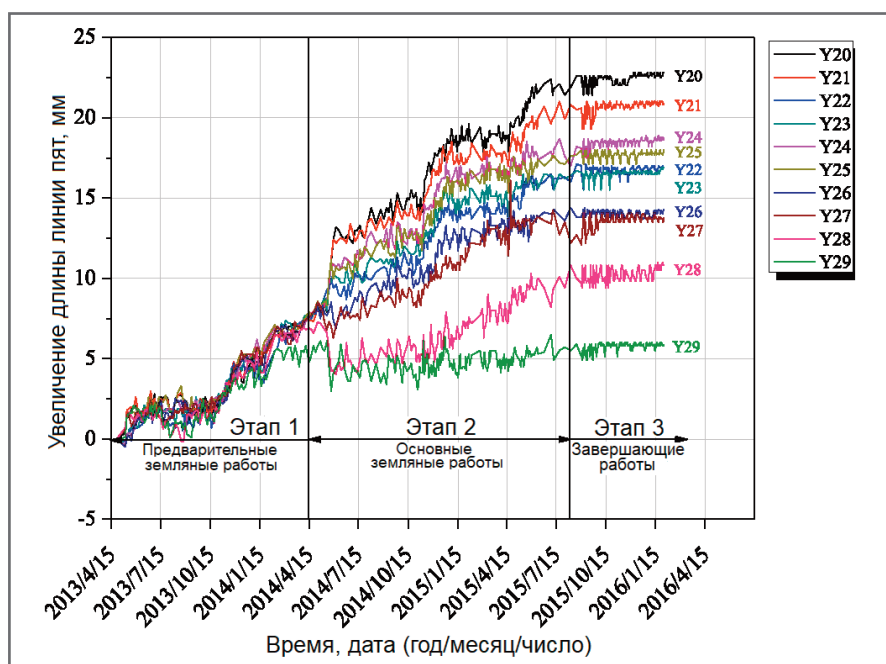


Рис. 16. Кривые увеличения во времени длины линии пят свода (условно – горизонтального диаметра) восходящего тоннеля для его разных поперечных сечений

смещений правой стороны тоннеля сдерживался (в ряде случаев они даже уменьшались), поэтому в соответствующих местах кривых видны колебания. На завершающем этапе выемка грунта не производилась, а поэтапно создавались фундаментная плита и перекрытия между этажами подземной части комплекса зданий, что повысило жесткость несущих конструкций. По этой причине дальнейшее увеличение горизонтальных

смещений правого бока тоннеля практически прекратилось, хотя его в какой-то степени можно было наблюдать и потом. Максимальное горизонтальное смещение правого конца линии пят, составившее 20,6 мм, было зафиксировано 30.01.2016 для поперечного сечения тоннеля Y20, что составило примерно половину максимального горизонтального смещения стены в грунте на западной стороне котлована (см. рис. 9).

### Увеличение горизонтального диаметра восходящего тоннеля ➤

На рисунке 16 показаны кривые увеличения во времени длины линии пят свода (условно – горизонтального диаметра) восходящего тоннеля для его разных поперечных сечений. Положительные значения означают увеличение длины линии пят, отрицательные – уменьшение (конвергенцию, сближение боков). Из рисунка видно, что эти величины в основном положительны, то есть контур тоннеля в целом растягивается по горизонтали и сжимается по вертикали (то есть по вертикали происходит конвергенция, сближение свода и обратного свода) (рис. 17). Из рисунка 16 видно, что увеличение длины линии пят тоже соответствует трем этапам строительства котлована и подземной части комплекса высотных зданий по соседству. По состоянию на 30.01.2016 максимальное увеличение расстояния между пятнами свода восходящего тоннеля составило 22,8 мм (для поперечного сечения Y20).

Сравнение рисунков 15 и 16 позволило установить, что для некоторых поперечных сечений восходящего тоннеля (например, Y20, Y21, Y24, Y25, Y26, Y27, Y28 и Y29) увеличение длины линии пят немного превышает горизонтальное смещение ее правого конца, то есть правый бок смещается в сторону строящегося котлована по сравнению с его исходным положением (см. рис. 17, а). Но для сечений Y22 и Y23 увеличение длины линии пят немного меньше смещения ее правого конца, то есть не только правый, но и левый бок смещается в сторону строительной площадки по сравнению с исходным положением (см. рис. 17, б).

На рисунке 18 показан график распределения прироста горизонтального диаметра вдоль трассы тоннеля, полученный путем численного моделирования. Это увеличение оказалось намного меньше полученного при полевых измерениях (см. рис. 16). Причиной здесь может быть то, что при моделировании каждое кольцо обделки тоннеля рассматривается как единое целое, без учета болтовых соединений между блоками, что увеличивает модельную жесткость обделки и ее сопротивление деформациям и при этом способствует перемещению тоннеля в массиве грунта в виде почти абсолютно жесткого тела (см. врезку на рисунке 18). Таким образом, выявлена необходимость создания точной модели обделки тоннелей



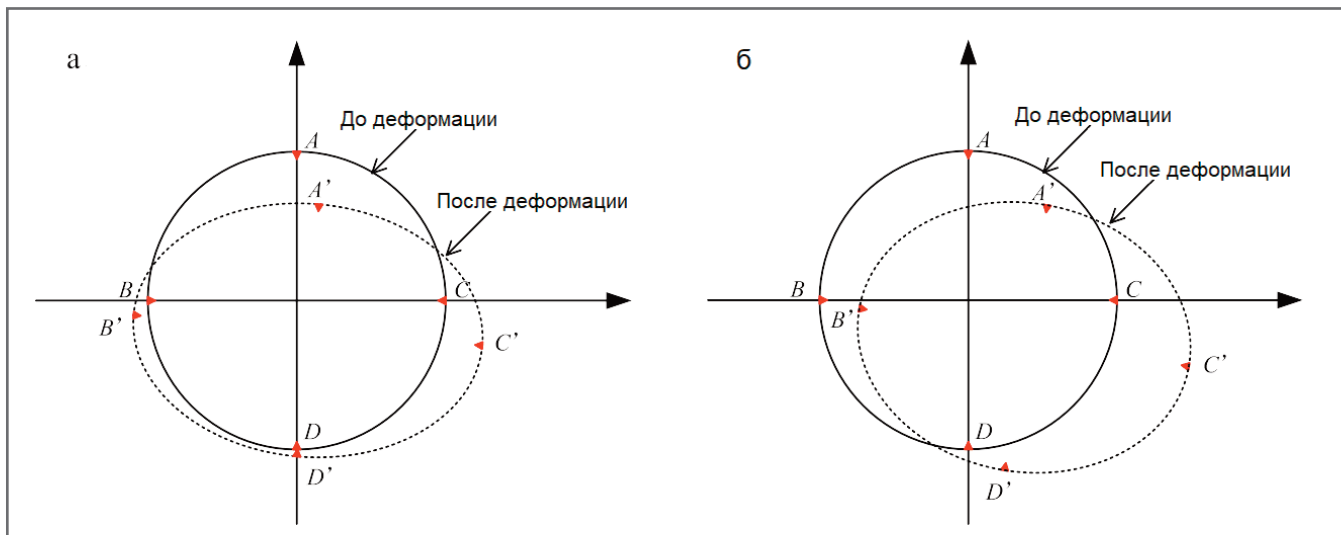


Рис. 17. Условные схемы двух типов (а, б) деформирования поперечного сечения тоннеля под воздействием со стороны площадки строительства котлована и подземной части комплекса зданий, полученные при компьютерном моделировании. Исходное состояние тоннеля показано сплошным контуром, деформированное – пунктирным

для прогнозных расчетов при последующих исследованиях.

#### Изменения ширины деформационных швов между кольцами обделки восходящего тоннеля

Ширина деформационных швов (промежутков) между бетонными кольцами обделки является важным фактором безопасности тоннеля. В данной работе измерялось расстояние между торцами кольцевых секций на уровнях 45, 135, 225 и 315 градусов относительно центральной оси восходящего тоннеля (рис. 19). На рисунке 20 показаны изменения этих расстояний во времени. Положительные значения указывают на уменьшение промежутков между секциями, отрицательные – на увеличение. В среднем для всех наблюдаемых уровней они колебались от минус 0,2 мм до плюс 0,2 мм без явных закономерностей. Отсюда можно сделать вывод, что прямая зависимость между изменениями промежутков между кольцевыми секциями обделки восходящего тоннеля и работами на соседней строительной площадке отсутствовала.

#### Оценка деформаций восходящего тоннеля

На основе приведенных выше результатов можно сказать следующее. После завершения строительства котлована и подземной части комплекса зданий поблизости максимальная осадка свода восходящего тоннеля составила 33,3 мм (для поперечного сечения Y21), наибольшее горизонтальное смещение правого конца линии пят

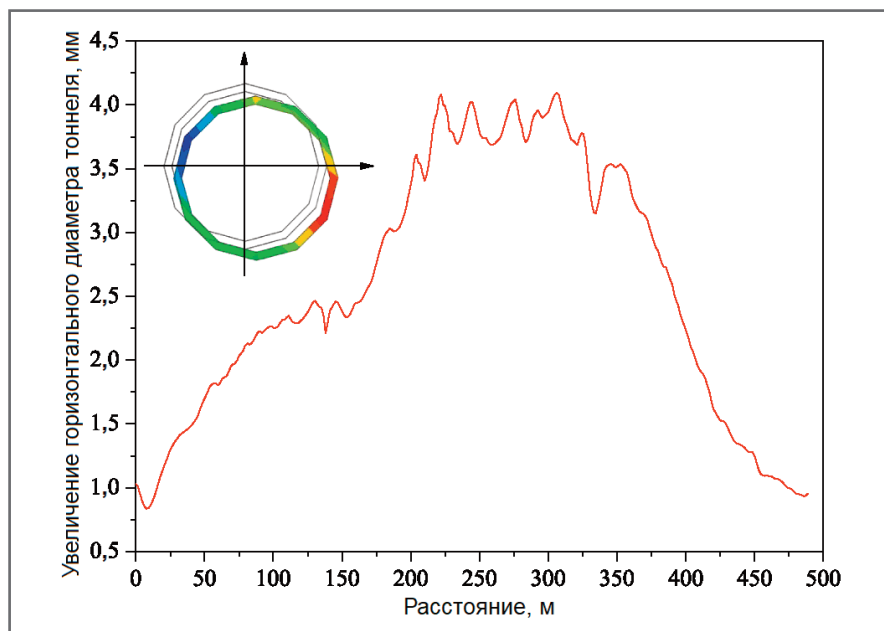


Рис. 18. График распределения прироста горизонтального диаметра вдоль трассы тоннеля, полученный путем численного моделирования

было равно 20,6 мм (для сечения Y20), а максимальное увеличение длины линии пят достигло 22,8 мм (для сечения Y20). Если сюда добавить деформации, вызванные консолидацией грунта вокруг тоннеля и движением поездов (на протяжении долгого времени) до начала работ на соседней строительной площадке, то суммарные деформации составили: максимальная осадка свода – более 48 мм; наибольшее увеличение длины линии пят (условно – диаметра) – 70 мм.

В таблице 4 приведены некоторые предельные значения деформаций тоннелей в соответствии с китайскими тех-

ническими стандартами. С учетом инженерно-геологической (и в том числе гидрогеологической) ситуации в районе Нанкина, а также накопленного опыта мониторинга для метрополитена этого города, было выбрано три уровня контрольных показателей деформирования тоннеля: порог раннего предупреждения, порог аварийного сигнала и предельное значение [44] (таблица 5). Как видно из указанных таблиц, деформации рассматриваемых тоннелей превысили контрольные показатели, указанные в стандартах, в том числе для метро Нанкина.

Кроме того, объем нарушений в обделке тоннелей, обнаруженных в ре-

зультате мониторинга, превысил зафиксированный до начала строительства поблизости. Во многих секциях обделки были обнаружены серьезные повреждения, смещения, просачивание грунтовых вод (рис. 21, а), расхождение соседних опорных элементов (плит) рельсовых путей (рис. 21, б).

В таблице 6 перечислены некоторые типовые варианты результатов воздействий строительства глубоких котлованов на существующие тоннели поблизости [53]. Ввиду того что в случаях 2–4 грунты внутри и снаружи будущих глубоких котлованов, а также грунты вокруг тоннелей были армированы до начала строительных работ, деформации тоннелей не превысили нескольких миллиметров. Однако из-за недостаточных

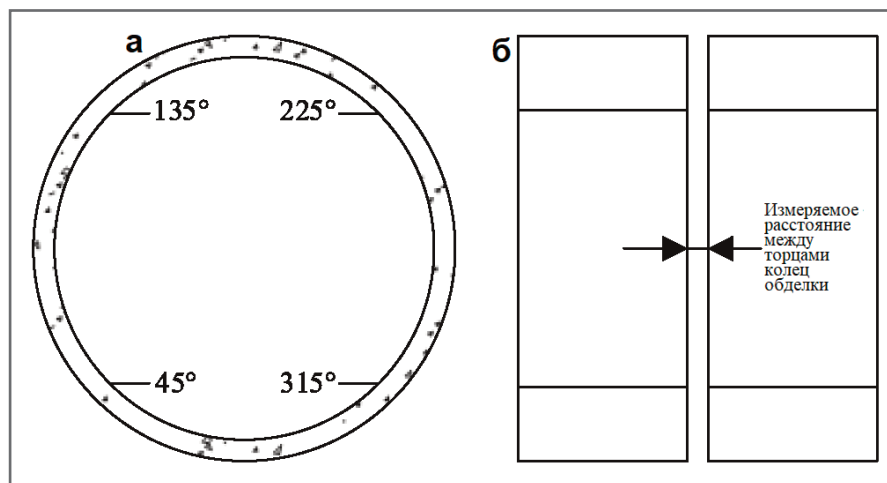


Рис. 19. Уровни (в градусах относительно центральной оси тоннеля), на которых измерялась ширина каждого деформационного шва между кольцами обделки восходящего тоннеля (а); измеряемое расстояние между торцами кольцевых секций обделки (ширина деформационного шва) (б)

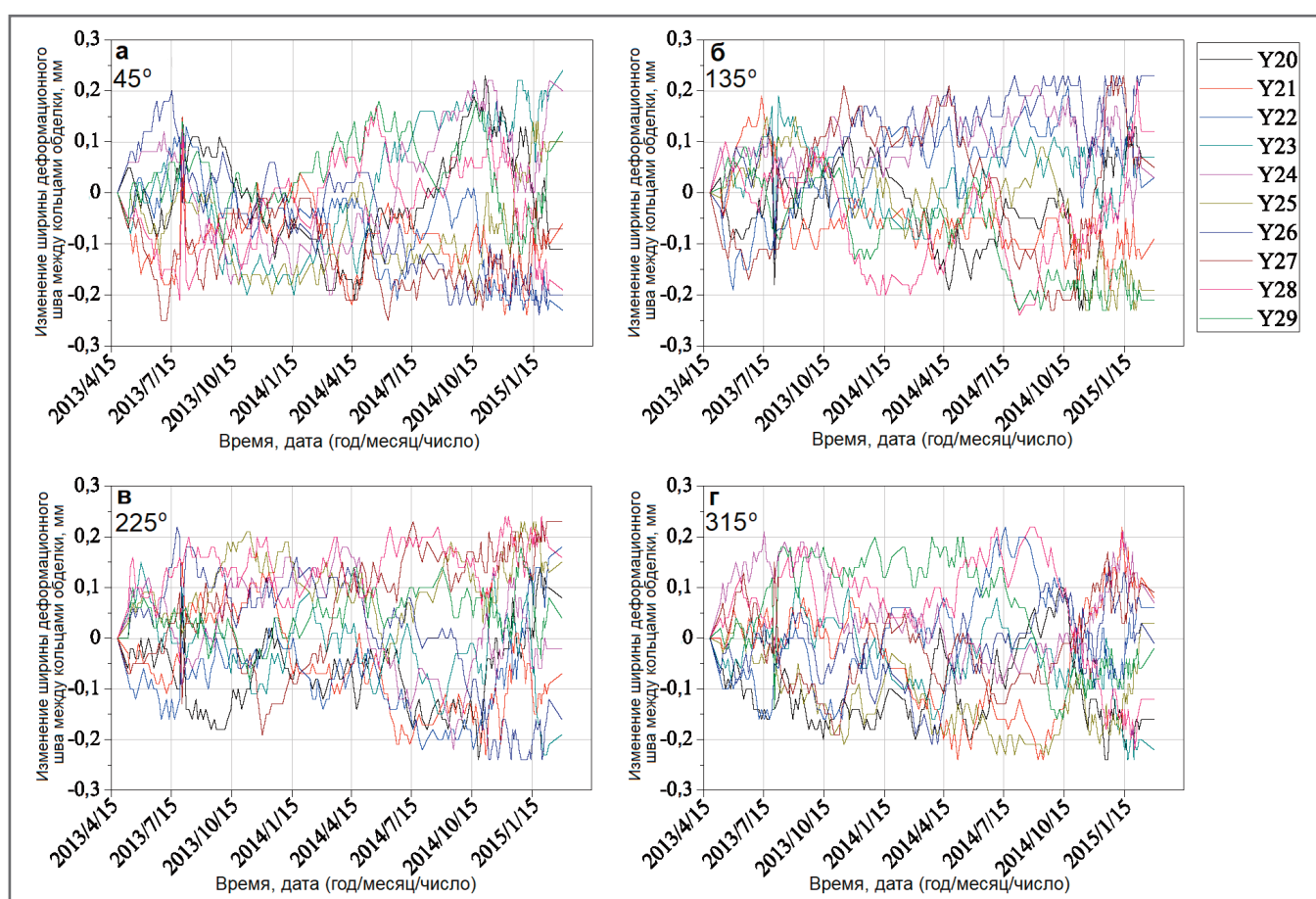


Рис. 20. Изменения ширины деформационных швов между кольцами обделки восходящего тоннеля на уровнях 45 (а), 135 (б), 225 (в) и 315 (г) градусов относительно центральной оси тоннеля для его разных участков. Положительные значения – уменьшение промежутков между кольцами обделки, отрицательные – увеличение

Таблица 4. Предельные значения деформаций тоннелей в соответствии с китайскими стандартами (мм)

Стандарт	Вертикальное смещение		Горизонтальное смещение	Изменение диаметра тоннеля	Изменение ширины деформационного шва между кольцами обделки
	осадка	выпучивание			
GB 50911-2013	3–10	5	3–5	-	-
CJJ/T 202-2013	< 20	< 20	< 20	< 20	< 2
DBJ/T 15-120-2017	< 15	< 15	< 15	< 15	< 2



предварительных расчетов и мер защиты до начала строительства в случае 1 тоннель был деформирован более чем на 30 мм. Это привело к образованию зазоров между кольцевыми сегментами обделки и опорными плитами рельсовых путей, что потребовало ремонта.

Таким образом, необходимо было принять меры по предотвращению дальнейшего развития деформаций рассматриваемых тоннелей для гарантии безопасной работы метро Нанкина.

## ТЕХНОЛОГИЯ ЦЕМЕНТАЦИИ ГРУНТА С МИНИМАЛЬНЫМ НАРУШЕНИЕМ ЕГО СТРУКТУРЫ ►

### Оборудование ►

На основе изучения опыта исправления деформаций тоннелей в Китае был выбран метод цементации вмещающего их грунта, который, в отличие от традиционных технологий компенсационной, укрепительной и заполнительной цементации, вызывает минимальные нарушения структуры грунта (далее – метод или технология цементации микронарушений). Этот новый метод эффективной коррекции деформаций контуров тоннелей был разработан в Шанхае и уже успешно используется [24, 41, 47]. На рисунке 22 представлена схема оборудования для его применения. Основными компонентами здесь являются:

- насосы для подачи цементного раствора и раствора силиката натрия из соответствующих резервуаров;
- мешалка для смешивания этих двух растворов перед инъектированием;
- манометр на мешалке для своевременного контроля давления смешанного раствора;
- расходомер;
- клапаны;
- иньектор (трубка нижний конец которой имеет наружный диаметр 32 мм, внутренний диаметр 20 мм и восемь расположенных в два ряда выпускных отверстий диаметром 4 мм);
- концевая насадка на иньектор, состоящая из протектора для защиты выпускных отверстий от попадания в них грунта и заостренного наконечника).

Перед цементацией иньектор вставляется в предварительно пробуренную инъекционную скважину (при этом выпускные отверстия защищены протектором от закупоривания их грунтом). Для цементации нижнюю часть иньектора с перфорацией вытягивают из протектора, открыв восемь выпускных отверстий, и вводят в грунт смесь из це-

**Таблица 5. Контрольные показатели деформаций тоннелей для метро Нанкина (мм)**

Элемент мониторинга	Порог раннего предупреждения	Порог аварийного сигнала	Предельное значение
Вертикальное смещение	$\pm 3,3$	$\pm 6,7$	$\pm 10$
Горизонтальное смещение	$\pm 5,0$	$\pm 10,0$	$\pm 15,0$
Изменение диаметра	$\pm 5,0$	$\pm 10,0$	$\pm 15,0$
Изменение ширины деформационного шва между кольцами обделки	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$	$\pm 3,0$

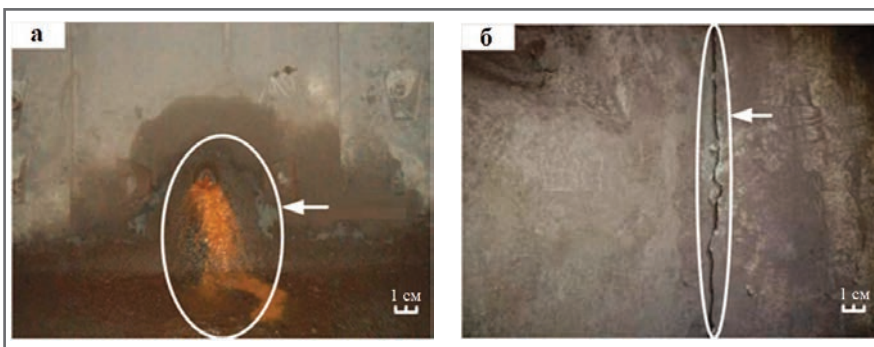


Рис. 21. Нарушения в обделке тоннеля после строительства котлована и подземной части комплекса зданий поблизости: а – просачивание грунтовых вод; б – расхождение элементов опорной плиты рельсовых путей

**Таблица 6. Некоторые типовые варианты результатов воздействий строительства глубоких котлованов на существующие тоннели поблизости**

№	Ссылка	$H_e$ , м	$H_r$ , м	$L$ , м	$\delta_{hm}$ , мм	$\zeta_{hm}$ , мм	$\zeta_{vm}$ , мм
1	Chang et al., 2001a	21	14,5	6,9	53	27	33
2	Gao et al., 2010	23,35	8,5	15	-	3,2	-1,3
3	Li et al., 2011	14	8,5	10,4–13,5	22	-	5,5/–3,5
4	Yuan et al., 2012	13	7,3	8,1	19,5	1,52	-4,11

Буквенные обозначения:  $H_e$  – глубина котлована;  $H_r$  – глубина расположения верхней точки свода тоннеля от поверхности;  $L$  – расстояние между соседними стенками тоннеля и котлована;  $\delta_{hm}$  – максимальное горизонтальное смещение подпорной стенки (или др. системы крепления) котлована;  $\zeta_{hm}$  – максимальное горизонтальное смещение тоннеля (положительное значение – смещение в направлении котлована, отрицательное – в противоположном направлении);  $\zeta_{vm}$  – максимальное вертикальное смещение тоннеля (положительное значение – выпучивание, отрицательное – осадка).

ментного и натрий-силикатного растворов *под низким давлением*.

### Параметры ►

Одной из главных проблем технологии цементации микронарушений является правильный выбор параметров. Следует учитывать, что этот метод по-прежнему редко применяется в Нанкине (в отличие от Шанхая, где он широко распространен). Поскольку свойства нанкинской илистой алевролитистой глины аналогичны свойствам шанхайской пла-

стичной глины, необходимые параметры цементации для Нанкина должны быть аналогичны таковым для Шанхая [10].

Перечислим основные характеристики для применения метода цементации микронарушений (см. также таблицу 7).

1. *Состав и соотношение компонентов смешанного цементационного раствора.* Как правило, вводимый в грунт смешанный раствор должен обладать высокой плотностью, быстрой коагуляцией, а также малой усадкой по объему и высокой прочностью после затверде-

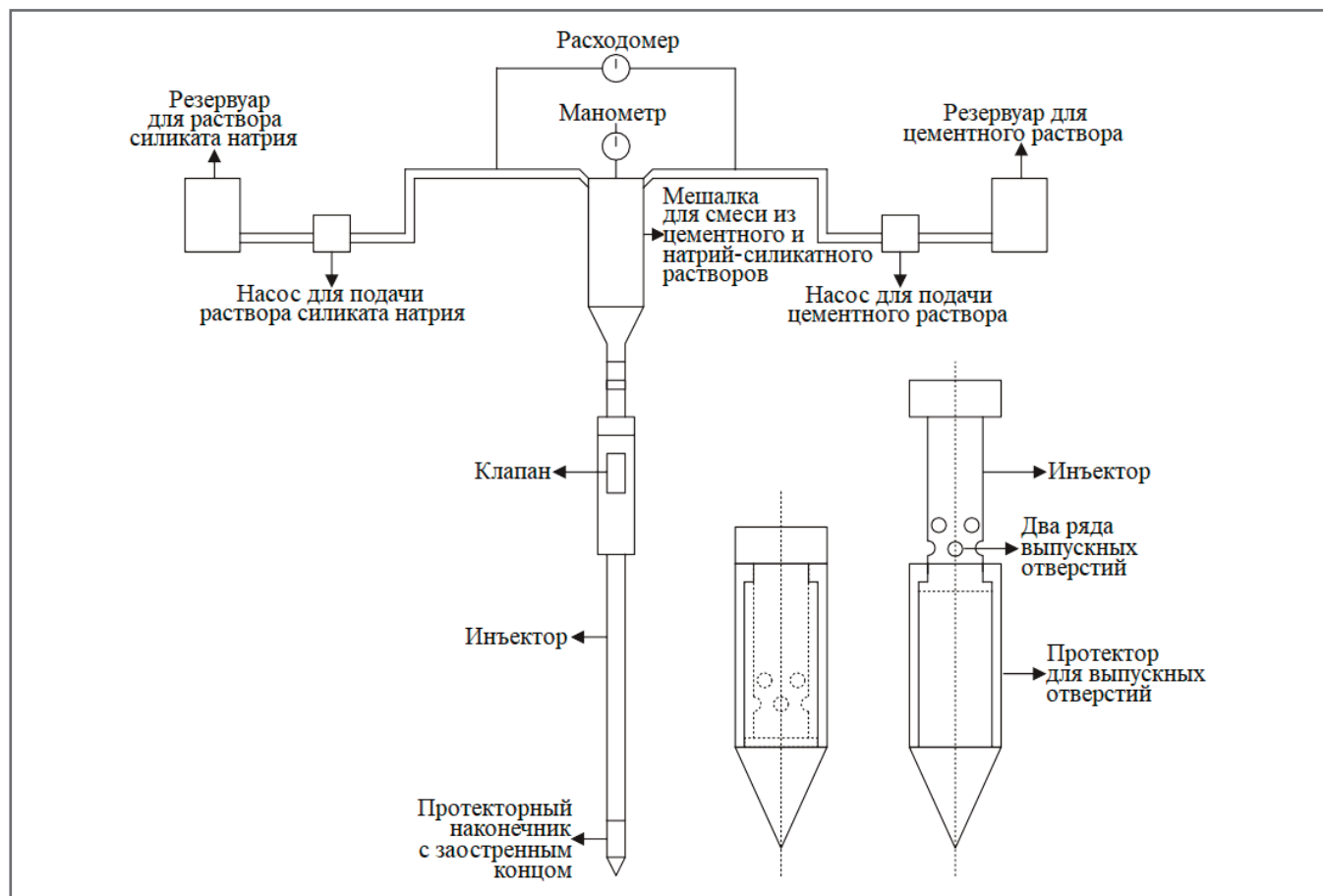


Рис. 22. Схема оборудования для применения метода цементации микронарушений

вания. Поэтому для приготовления инъекционного раствора и были выбраны цементный раствор и раствор силиката натрия («жидкое стекло») при соотношении их объемов 2:1–3:1. Такой смешанный раствор застывает вскоре (примерно через 20 с) после введения в грунт и в итоге обладает высокой прочностью. Отметим, что для приготовления исходного цементного раствора используется портландцемент (РО 42.5) при водоцементном соотношении по массе 0,6–1,0. Концентрация силиката натрия в соответствующем исходном растворе составляет 35 градусов по шкале Боме, силикатный модуль силиката натрия равен 2,85.

2. *Объем используемого смешанного цементационного раствора в расчете на одно выпускное отверстие.* Как показали инженерные изыскания на рассматриваемых участках, там имеется два слоя грунтов – глинистые и песчаные. Для введения смешанного раствора в глинистый грунт на глубину цементации 5,2 м (как было использовано в рассматриваемом случае) требуется 1500 л, в песчаный грунт – 3000 л.

3. *Скорость подачи цементационного раствора и давление цементации.* Для минимизации нарушений грунта

скорость подачи смешанного раствора должна быть низкой и стабильной. В рассматриваемом случае скорость подачи цементного раствора должна составлять 15–20 л/мин., раствора силиката натрия – 5–10 л/мин., смешанного раствора – около 25 л/мин. Давление подачи смешанного раствора должно быть установлено в диапазоне 0,3–0,5 МПа и контролироваться в режиме реального времени для обеспечения постоянной скорости потока.

4. *Скорость подъема цементационной трубы (иньектора).* Эта скорость зависит от глубины цементации, объема цементации в расчете на одного выпускное отверстие и скорости подачи смешанного цементационного раствора. В рассматриваемом случае данный показатель должен составлять 5–10 см/мин.

При использовании технологии цементации микронарушений на практике предложенные параметры, указанные в таблице 7, могут быть изменены в соответствии с особенностями объекта.

### Применение на практике ►

В рассматриваемом случае было принято решение провести цементацию с двух сторон от деформированных тоннелей в зоне увеличения длины линий пят

сводов (условно – горизонтальных диаметров) более чем на 70 мм, а также в зонах трех колец слева и справа от деформированных (всего в зонах 155 колец).

Процесс цементации новым методом на каждом шаге вдоль тоннеля можно описать следующим образом.

Сначала определялось точное положение тоннеля (его оси, верхней и нижней отметок). Затем на поверхности грунта отмечались точки бурения направляющих скважин.

Для каждой направляющей скважины выполнялось бурение с обсадной трубой длиной минимум 10 м до уровня верха тоннеля (рис. 23). Далее со дна направляющей скважины проходила узкая инъекционная скважина до уровня низа тоннеля, в которую вставлялся иньектор. После приготовления требуемых растворов, монтажа и регулировки цементационного оборудования иньектор вытягивался из протекторной насадки и производилась последовательная равномерная цементация грунта от отметки низа тоннеля до уровня его верха путем подъема инъекционной трубки, которую затем оставляли в скважине примерно на 10 минут (для первоначальной усадки смешанного цементационного раствора), а затем извлекали наружу.



Таблица 7. Параметры для использования метода цементации микронарушений

Параметр	Значение или диапазон	Ед. изм.
Водоцементное соотношение (масса воды / масса цемента)	0,6–1,0	-
Концентрация раствора силиката натрия (в градусах по шкале ареометра Боме, являющихся мерой плотности жидкости)	35	°Be (градусы Боме)
Силикатный модуль раствора силиката натрия, то есть отношение числа грамм-молекул кремнезема ( $\text{SiO}_2$ ) к числу грамм-молекул оксида натрия ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) в этом растворе	2,85	-
Соотношение объемов цементного раствора и раствора силиката натрия	2–3	-
Объем смешанного раствора для одного отверстия	1500–3000	л
Давление цементации	0,3–0,5	МПа
Скорость потока в насосе цементного раствора	15–20	л/мин.
Скорость потока в насосе раствора силиката натрия	5–10	л/мин.
Скорость потока смешанного раствора	25	л/мин.
Скорость подъема цементационной трубы (инъектора)	5–10	см/мин.

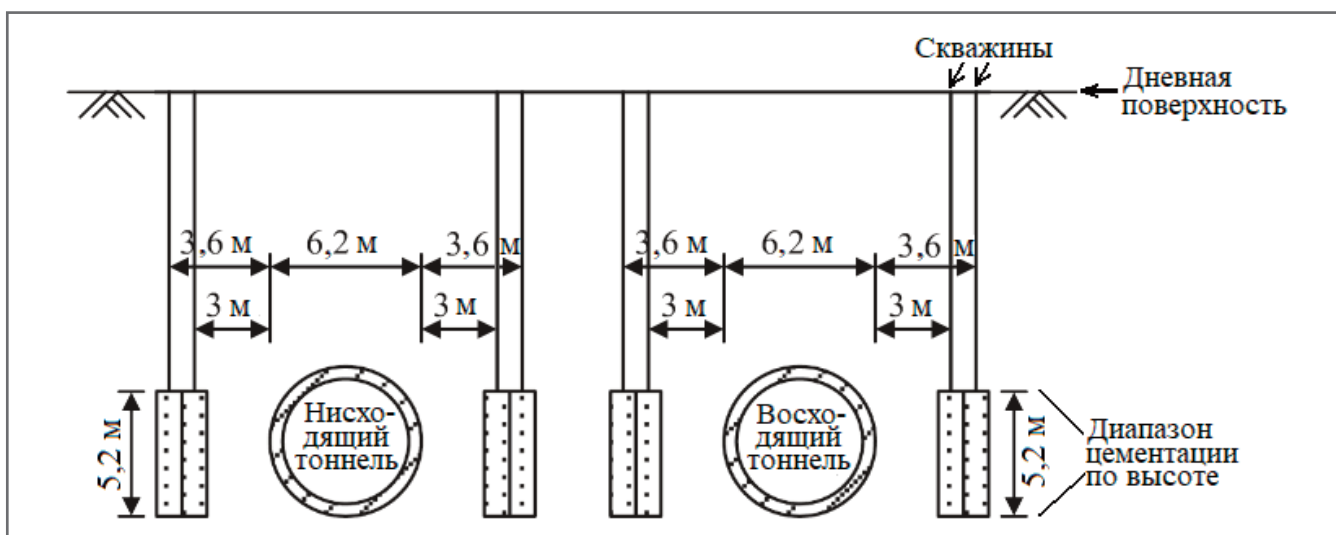


Рис. 23. Схема цементации грунта с двух сторон от каждого тоннеля в поперечном сечении

На рисунке 23 схематично показано поперечное сечение восходящего и нисходящего тоннелей, а также скважин и диапазонов цементации грунта справа и слева от каждого из них. Справа и слева от очередного кольца каждого тоннеля бурилось по две скважины на расстояниях 3,0 и 3,6 м от конца линии пята. Цементация с каждой стороны выполнялась в два ряда на высоту 5,2 м от низа до верха тоннеля. Поскольку по данным некоторых полевых испытаний [10] одновременная цементация с обеих сторон тоннеля может привести к смещениям или повреждениям блоков его обделки, то сначала выполнялось инъецирование с одной стороны (сначала на расстоянии 3,6 м от тоннеля, потом на расстоянии 3 м), а затем – с другой стороны (в той же последовательности).

Продольный шаг таких цементаций составлял 5 колец обделки, причем с временным интервалом не менее 2 дней. При этом строго контролировались реакции конструкций тоннелей. В случае превышения допустимых деформаций процесс останавливали. Все работы по цементации микронарушений выполнялись согласно принципу: «равномерность, многоточечность, небольшие объемы и многократность».

На рисунке 24 представлена кривая изменений длины линии пята (условно – горизонтального диаметра) одного из колец обделки одного из тоннелей во время и после цементации грунта. Начальным считается состояние перед цементацией (изменение равно нулю). Отрицательные значения изменений говорят о том, что длина линии пята стала

меньше начальной. Видно, что во время цементации под невысоким давлением процесс заполнения цементационным раствором имеющихся пустот и образующихся микротрещин в грунте оказывает боковое давление на тоннель, что приводит к уменьшению его горизонтального диаметра. Но укрепленный посредством цементации грунт имеет не настолько высокую горизонтальную жесткость, чтобы полностью противостоять упругому восстановлению горизонтального диаметра тоннеля после деформации (то есть после первоначальной коррекции), что приводит к возобновлению его увеличения до некоторого значения, которое значительно меньше начального. То есть изменения горизонтального диаметра тоннеля, показанные на рисунке 24, можно разде-

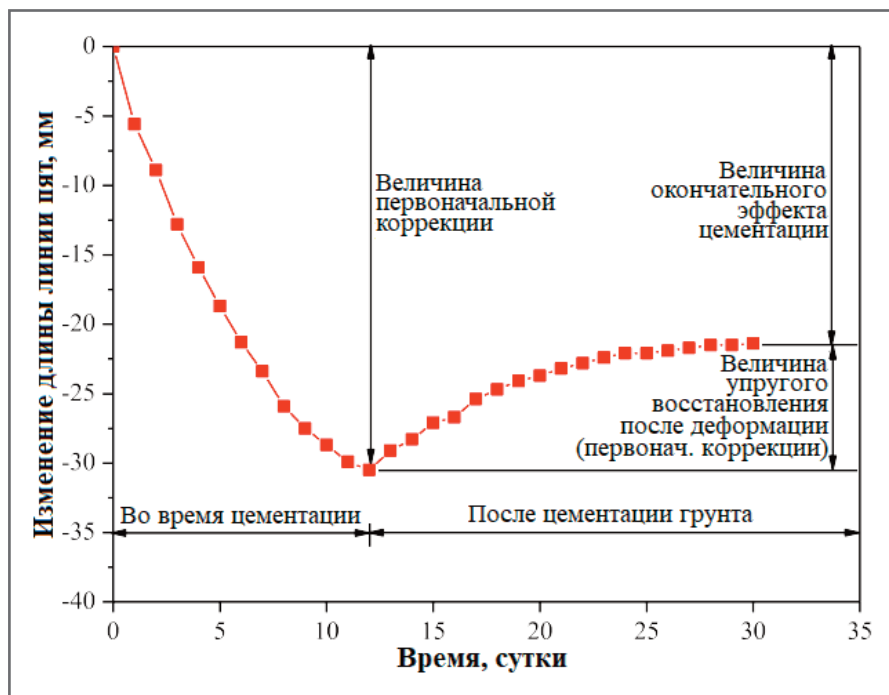


Рис. 24. Изменение длины линии пят (условно – горизонтального диаметра) одного из колец обделки одного из тоннелей во время и после цементации грунта. В начальном состоянии перед цементацией изменение считается равным нулю. Отрицательные значения изменений говорят о том, что длина линии пят стала меньше начальной

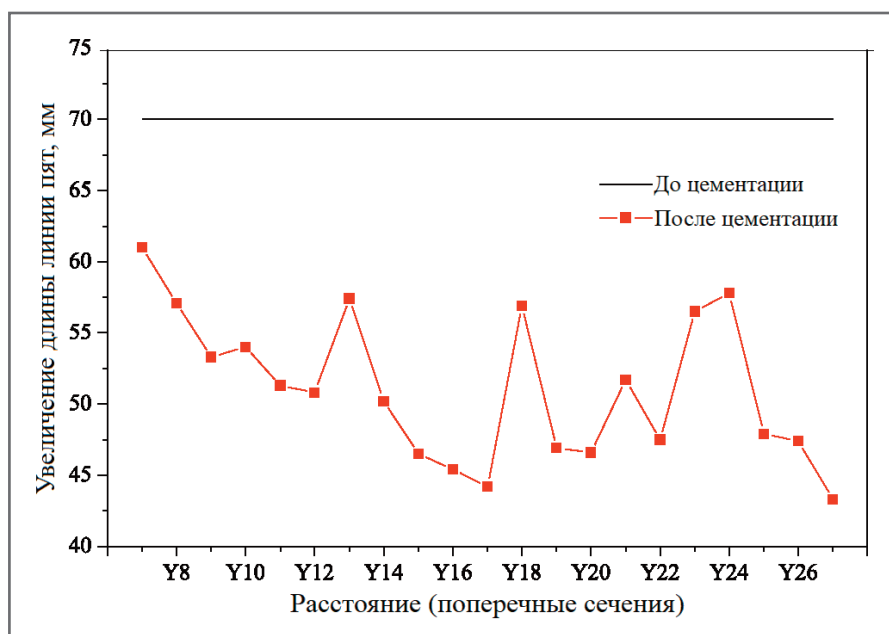


Рис. 25. Увеличение длины линии пят (условно – горизонтального диаметра) по сравнению с исходной вдоль трассы восходящего тоннеля

лить на два этапа – первоначальной коррекции и упругого восстановления после нее. За 12 дней первоначальной коррекции удалось уменьшить горизонтальный диаметр на 30,5 мм. На этапе упругого восстановления диаметр достиг стабильной длины через 10 дней после цементации. При этом упругое восстановление было равно 9,1 мм, что составило около 30% от величины первоначальной коррекции. Таким обра-

зом, окончательный эффект цементации дал уменьшение диаметра на 21,4 мм, что составило около 70% от первоначальной коррекции. На основании этого можно сделать вывод, что метод цементации микронарушений обладает высокой эффективностью для бережной коррекции деформированного контура тоннеля в рассматриваемых условиях.

На рисунке 25 показано распределение изменений длины линии пят

(условно – горизонтального диаметра) в диапазоне поперечных сечений Y7–Y27 восходящего тоннеля, имевших при его строительстве круглые сечения диаметром 5,5 м, но эллиптическое сечение с увеличением горизонтального диаметра более чем на 70 мм после создания котлована и подземной части комплекса высотных зданий поблизости. После применения метода цементации микронарушений увеличение диаметров колец обделки тоннелей более чем на 70 мм в основном было сокращено до значений менее 60 мм и в ряде случаев даже до величин порядка 45 мм. Таким образом, дополнительные деформации тоннеля, вызванные строительством по соседству, были эффективно скорректированы с помощью цементации предложенным методом.

## Выводы

В статье рассмотрены результаты численного моделирования и долгосрочного мониторинга реакции двух параллельных тоннелей метро на строительство поблизости глубокого котлована и подземной части комплекса высотных зданий. Программа комплексного полевого мониторинга была предложена на основе данных моделирования.

Результаты мониторинга позволили проанализировать развитие деформаций тоннелей и оценить их безопасность. По результатам этой оценки был предложен метод эффективной коррекции деформаций контуров тоннелей с минимальными нарушениями структуры прилегающего к ним грунта (так называемая технология цементации микронарушений). Этот метод был применен на практике, после чего была оценена его эффективность.

На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы.

1. Создание глубокого котлована и подземной части комплекса высотных зданий оказало выраженное влияние на расположенные поблизости тоннели метро в городе Нанкин. На восходящий тоннель, находившийся ближе к строительной площадке, воздействие было больше по сравнению с нисходящим. Максимальные деформации для обоих тоннелей были обнаружены вблизи северо-восточного угла зоны строительства.

2. Такие показатели, как вертикальные смещения (в основном осадки) свода тоннеля, горизонтальные смещения боков тоннеля, увеличение длины линии пят (условно – горизонтального



диаметра), были тесно связаны с соседним строительством глубокого котлована и подземной части комплекса зданий. Развитие этих деформаций можно разделить на этапы медленного, быстрого и очень медленного равномерного (либо отсутствующего) увеличения, что соответствует предварительному (перед выемкой грунта), основному (во время выемки грунта) и завершающему (после выемки грунта) этапам указанного строительства.

3. На основе принципа простой балки может быть определен диапазон осадок тоннеля в соответствии с расположением его поперечных сечений с мак-

симальной и нулевой осадкой. В рассматриваемом случае можно было принять диапазон осадок, в два раза превышавший расстояние между сечениями Y1 и Y21 для восходящего тоннеля и в два раза превышавший расстояние между сечениями Z2 и Z15 для нисходящего тоннеля.

4. В процессе применения метода цементации микронарушений деформированные тоннели прошли этапы первоначальной коррекции контура и упругого восстановления после нее, а итоговый эффект цементации составил 70% от первоначальной коррекции. Таким образом, дополнительная

деформация, вызванная строительством поблизости глубокого котлована и подземной части комплекса зданий, была успешно скорректирована с помощью предложенной технологии цементации грунта. ■

*Данное исследование было финансово поддержано «Программой инноваций в области исследований и практики для аспирантов провинции Цзянсу» (№ KYCX17\_0151), Научно-исследовательским фондом Высшей школы Юго-Восточного университета (№ YBJJ1791) и Китайским стипендиальным советом (№ 201706090315).*

## ИСТОЧНИК ДЛЯ СОКРАЩЕННОГО АДАПТИРОВАННОГО ПЕРЕВОДА ►

Liu B., Zhang D.-W., Yang Ch., Zhang Q.-B. Long-term performance of metro tunnels induced by adjacent large deep excavation and protective measures in Nanjing silty clay // Tunnelling and Underground Space Technology. Elsevier, 2020/01. Vol. 95. № 103147. URL: libgen.ggfws.net/book/77642068/771b0c; bunker2.zlibcdn.com/dtoken/18edad957c2f9c48fd754ab69523d78b/j.tust.2019.103147.pdf.

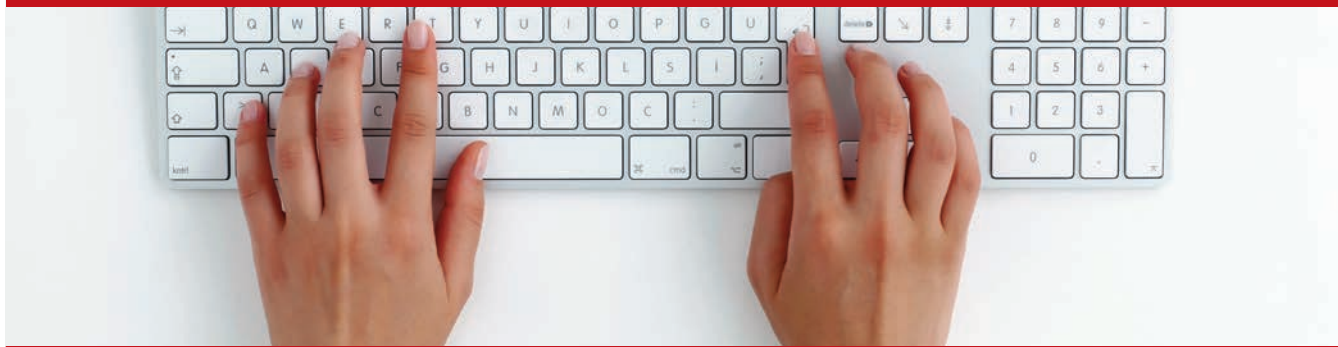
## ЛИТЕРАТУРА, ИСПОЛЬЗОВАННАЯ АВТОРАМИ ПЕРЕВЕДЕННОЙ СТАТЬИ ►

1. Chang C.T., Sun C.W., Duann S.W., Hwang R.N. Response of a Taipei Rapid Transit System (TRTS) tunnel to adjacent excavation // Tunn. Undergr. Space Technol. 2001a. Vol. 16. № 3. P. 151–158.
2. Chang C.T., Wang M.J., Chang C.T., Sun C.W. Repair of displaced shield tunnel of the Taipei rapid transit system // Tunn. Undergr. Space Technol. 2001b. Vol. 16. № 3. P. 167–173.
3. Chen R.P., Li J., Kong L.G., Tang L.J. Experimental study on face instability of shield tunnel in sand // Tunn. Undergr. Space Technol. 2013. Vol. 33. P. 12–21.
4. Chen R.P., Meng F.Y., Li Z.C., Ye Y.H., Ye J.N. Investigation of response of metro tunnels due to adjacent large excavation and protective measures in soft soils // Tunn. Undergr. Space Technol. Vol. 2016. № 58. P. 224–235.
5. Department of housing and urban-rural development of Guangdong province // DBJ/T 15-120-2017: Technical Code for Protection of Existing Structures of Urban rail Transit. Beijing, China: China City Press, 2017 (in Chinese).
6. Di H.G., Zhou S.H., Xiao J.H., Gong Q.M., Luo Z. Investigation of the long-term settlement of a cut-and-cover metro tunnel in a soft deposit // Eng. Geol. 2016. Vol. 204. P. 33–40.
7. Dolezalova M. Tunnel complex unloaded by a deep excavation // Comput. Geotech. 2001. Vol. 28. № 6–7. P. 469–493.
8. Finno R.J., Calvello M. Supported excavations: observational method and inverse modeling // J. Geotech. Geoenviron. Eng. 2005. Vol. 131. № 7. P. 826–836.
9. Gao G.Y., Gao M., Yang C.B., Yu Z.S. Influence of deep excavation on deformation of operating metro tunnels and countermeasures // Chin. J. Geot. Eng. 2010. Vol. 32. № 3. P. 453–459 (in Chinese).
10. Gao Y. Application of micro disturbance correction technique for double liquid grouting in shield tunnel disease treatment of Nanjing Metro. Urban Mass Transit. 2015. Vol. 18. № 6. P. 109–112 (in Chinese).
11. Ge S.P., Yao X.J., Ye B., Pu S.T., Liu X.Z. Analysis of long-term settlement of soft clay under train vibration. Chin. J. Rock Mech. Eng. 2016. Vol. 35. № 11. P. 2359–2368 (in Chinese).
12. Ge X.W. Response of a shield-driven tunnel to deep excavations in soft clay: Ph.D. thesis. The University of Hong Kong Science and Technology, Department of Civil Engineering, 2002.
13. Hou X.L., Zhao X.B., Li X.Z., Li J.Q. Research on engineering properties of floodplain soft soil in Hexi area, China // Geol. Rev. 2011. Vol. 57. № 4. P. 600–608 (in Chinese).
14. Huang X., Schweiger H.F., Huang H.W. Influence of deep excavations on nearby existing tunnels // Int. J. Geomech. 2013. Vol. 13. № 2. P. 170–180.
15. Huang X., Huang H.W., Zhang D.M. Centrifuge modelling of deep excavation over existing tunnels // Proc. Inst. Civ. Eng. Geotech. Eng. 2015. Vol. 167. № 1. P. 3–18.
16. Li H.J., Liu S.Y., Tong L.Y. Evaluation of lateral response of single piles to adjacent excavation using data from cone penetration tests // Can. Geotech. J. 2019. Vol. 56. P. 236–248.
17. Li J.J., Wang W.D. Design and construction of deep excavation engineering adjacent to the subway tunnel // J. Railway Eng. Soc. 2011. Vol. 28. № 11. P. 104–111 (in Chinese).

18. Li M.G., Chen J.J., Wang J.H., Zhu Y.F. Comparative study of construction methods for deep excavations above shield tunnels // *Tunn. Undergr. Space Technol.* 2018. Vol. 71. P. 329–339.
19. Liang R.Z., Xia T.D., Hong Y., Yu F. Effects of above-crossing tunnelling on the existing shield tunnels // *Tunn. Undergr. Space Technol.* 2016. Vol. 58. P. 159–176.
20. Liang R.Z., Xia T.D., Huang M.S., Lin C.G. Simplified analytical method for evaluating the effects of adjacent excavation on shield tunnel considering the shearing effect // *Comput. Geotech.* 2017. Vol. 81. P. 167–187.
21. Liao S.M., Liu J.H., Wang R.L., Li Z.M. Shield tunneling and environment protection in Shanghai soft ground // *Tunn. Undergr. Space Technol.* 2009. Vol. 24. № 4. P. 454–465.
22. Li P., Du S.J., Ma X.F., Yin Z.Y., Shen S.L. Centrifuge investigation into the effect of new shield tunnelling on an existing underlying large-diameter tunnel // *Tunn. Undergr. Space Technol.* 2014. Vol. 42. № 5. P. 59–66.
23. Liu G.B., Jiang R.J., Ng C.W.W., Hong Y. Deformation characteristics of a 38 m deep excavation in soft clay // *Can. Geotech. J.* 2011. Vol. 48. № 12. P. 1817–1828.
24. Liu J.H., Wang R.L., Wang X.B. Shanghai rail transit tunnel maintenance system and countermeasures to technical difficulties of settlement treatment // *Undergr. Eng. Tunn.* 2013. Vol. 1. № 1–6 (in Chinese).
25. MOHURD (Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China) // GB 50911-2013: Code for Monitoring Measurement of Urban Rail Transit Engineering. Beijing, China: China Architecture & Building Press, 2013 (in Chinese).
26. MOHURD (Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China). CJJ/T 202-2013: Technical Code for Protection Structures of Urban Rail Transit. Beijing, China: China Architecture & Building Press, 2014 (in Chinese).
27. Ng C.W.W., Shi J.W., Hong Yi. Three-dimensional centrifuge modelling of basement excavation effects. *Can. Geotech. J.* 2013a. Vol. 50. № 8. P. 874–888.
28. Ng C.W.W., Boonyarak T., Masin D. Three-dimensional centrifuge and numerical modeling of the interaction between perpendicularly crossing tunnels // *Can. Geotech. J.* 2013b. Vol. 50. № 9. P. 935–946.
29. Ren Y., Xu X., Huang Q., Zhao D.Y., Yang J. Long-term condition evaluation for stay cable systems using dead load-induced cable forces // *Adv. Struct. Eng.* 2019. Vol. 22. № 7. P. 1644–1656.
30. Schanz T., Vermeer P.A., Bonnier P.G. The hardening soil model: formulation and verification // Ronald B.J. Brinkgreve (ed.). *Beyond 2000 in Computational Geotechnics*. Rotterdam: Balkema, 1999. P. 281–296.
31. Shen S.L., Wu H.N., Cui Y.J., Yin Z.Y. Long-term settlement behaviour of metro tunnels in the soft deposits of shanghai // *Tunn. Undergr. Space Technol.* 2014. Vol. 40. P. 309–323.
32. Shi C.H., Cao C.Y., Lei M.F., Peng L.M., Ai H.J. Effects of lateral unloading on the mechanical and deformation performance of shield tunnel segment joints // *Tunn. Undergr. Space Technol.* 2016a. Vol. 51. P. 175–188.
33. Shi J.W., Liu G.B., Huang P., Ng C.W.W. Interaction between a large-scale triangular excavation and adjacent structures in Shanghai soft clay // *Tunn. Undergr. Space Technol.* 2015a. Vol. 50. P. 282–295.
34. Shi J.W., Ng C.W.W., Chen Y.H. Three-dimensional numerical parametric study of the influence of basement excavation on existing tunnel. *Comput. Geotech.* 2015b. Vol. 63. P. 146–158.
35. Shi J.W., Wang Y., Ng C.W.W. Three-dimensional centrifuge modeling of ground and pipeline response to tunnel excavation // *J. Geotech. Geoenviron Eng.* 2016b. Vol. 142. № 11. P. 04016054.
36. Shi J.W., Ng C.W.W., Chen Y.H. A simplified method to estimate three-dimensional tunnel responses to basement excavation // *Tunn. Undergr. Space Technol.* 2017. Vol. 62. P. 53–63.
37. Shi J.W., Zhang X., Chen Y.H., Chen L. Numerical parametric study of countermeasures to alleviate basement excavation effects on an existing tunnel // *Tunn. Undergr. Space Technol.* 2018. Vol. 72. P. 145–153.
38. Shi J.W., Fu Z.Z., Guo W.L. Investigation of geometric effects on three-dimensional tunnel deformation mechanisms due to basement excavation // *Comput. Geotech.* 2019. Vol. 106. P. 108–116.
39. Sun H.S., Chen Y.D., Zhang J.H., Kuang T.S. Analytical investigation of tunnel deformation caused by circular foundation pit excavation // *Comput. Geotech.* 2019. Vol. 106. P. 193–198.
40. Tan Y., Li X., Kang Z.J., Liu J.X., Zhu Y.B. Zoned excavation of an oversized pit close to an existing metro line in stiff clay: case study // *J. Perform. Constr. Facil.* 2015. Vol. 29. № 6. P. 04014158.
41. Wang X.B., Wang R.L., Liu J.H. Disposal method of unequal settlement of metro tunnel in operation in shanghai soft ground // *J. Shanghai Jiaotong Univ.* 2012. Vol. 46. № 1. P. 26–31 (in Chinese).
42. Xu Z.H., Wang W.D. Selection of soil constitutive models for numerical analysis of deep excavations in close proximity to sensitive properties // *Rock Soil Mech.* 2010. Vol. 31. № 1. P. 258–264 (in Chinese).
43. Yang B.M., Liu B.G. Analysis of long-term settlement of shield tunnel in soft soil area under cyclic loading of subway train // *China Railway Sci.* 2016. Vol. 37. № 3. P. 61–67 (in Chinese).
44. Yao C.H. Nanjing Metro Line 2 for Structural Safety Monitoring Technology Research Program // *Modern Survey. Mapping.* 2008. Vol. 32. № 1. P. 10–12 (in Chinese).
45. Yuan J., Liu X.W., Chen W.L. Effect of construction of deep excavation in Hangzhou silty sand on adjacent metro tunnels and stations // *Chin. J. Geot. Eng.* 2012. Vol. 34. № S1. P. 398–403 (in Chinese).

46. Zhang J.F., Chen J.J., Wang J.H., Zhu Y.F. Prediction of tunnel displacement induced by adjacent excavation in soft soil // Tunn. Undergr. Space Technol. 2013a. Vol. 36. № 2. P. 24–33.
47. Zhang D.M., Huang Z.K., Wang R.L., Yan J.Y., Zhang J. Grouting-based treatment of tunnel settlement: Practice in Shanghai // Tunn. Undergr. Space Technol. 2018. Vol. 80. P. 181–196.
48. Zhang X.M., Ou X.F., Yang J.S., Fu J.Y. Deformation response of an existing tunnel to upper excavation of foundation pit and associated dewatering // Int. J. Geomech. 2017. Vol. 17. № 4. P. 04016112-1-14.
49. Zhang Z.G., Huang M.S., Wang W.D. Evaluation of deformation response for adjacent tunnels due to soil unloading in excavation engineering // Tunn. Undergr. Space Technol. 2013b. Vol. 38. № 3. P. 244–253.
50. Zhang Z.G., Zhang M.X. Mechanical effects of tunneling on adjacent pipelines based on galerkin solution and layered transfer matrix solution // Soils Found. 2013. Vol. 53. № 4. P. 557–568.
51. Zhang Z.G., Huang M.S. Geotechnical influence on existing subway tunnels induced by multiline tunneling in shanghai soft soil // Comput. Geotech. 2014. Vol. 56. № 3. P. 121–132.
52. Zhang Z.G., Zhang M.X., Zhao Q.H. A simplified analysis for deformation behavior of buried pipelines considering disturbance effects of underground excavation in soft clays // Arabian J. Geosci. 2015. Vol. 8. № 10. P. 7771–7785.
53. Zheng G., Du Y.M., Diao Y., Deng X., Zhu G.P., Zhang L.M. Influenced zones for deformation of existing tunnels adjacent to excavations // Chin. J. Geot. Eng. 2016. Vol. 38. № 4. P. 599–612 (in Chinese).
54. Zheng G., Wei S.W. Numerical analyses of influence of overlying pit excavation on existing tunnels // J. Cent. South Univ. 2008. Vol. 15. № 2. P. 69–75.

## Авторам электронного журнала «ГеоИнфо»



Журнал «ГеоИнфо» – это независимое электронное издание. Мы готовы предоставлять площадку для выступления любому автору, если материал кажется нам интересным и важным для профессионального сообщества.

Мы не рецензируем каждую статью, что позволяет нам размещать самые разные точки зрения, даже если они не вполне соответствуют общепринятым концепциям и теориям. Вместе с тем, мы оставляем за собой право привлекать при подготовке статей к публикации независимых экспертов. Их мнение может быть опубликовано вместе со статьей по усмотрению главного редактора.

Каждый желающий в комментариях к статье может поддержать автора или высказать аргументы в пользу противоположной точки зрения. Для этого необходимо зарегистрироваться.

### Требования к оформлению:

Каждая статья, присланная для публикации в журнале «ГеоИнфо», должна сопровождаться аннотацией, заглавной горизонтальной картинкой высокого качества (не менее 300 dpi), портретной фотографией и краткой биографией автора с контактными данными.

Стиль изложения – литературный.

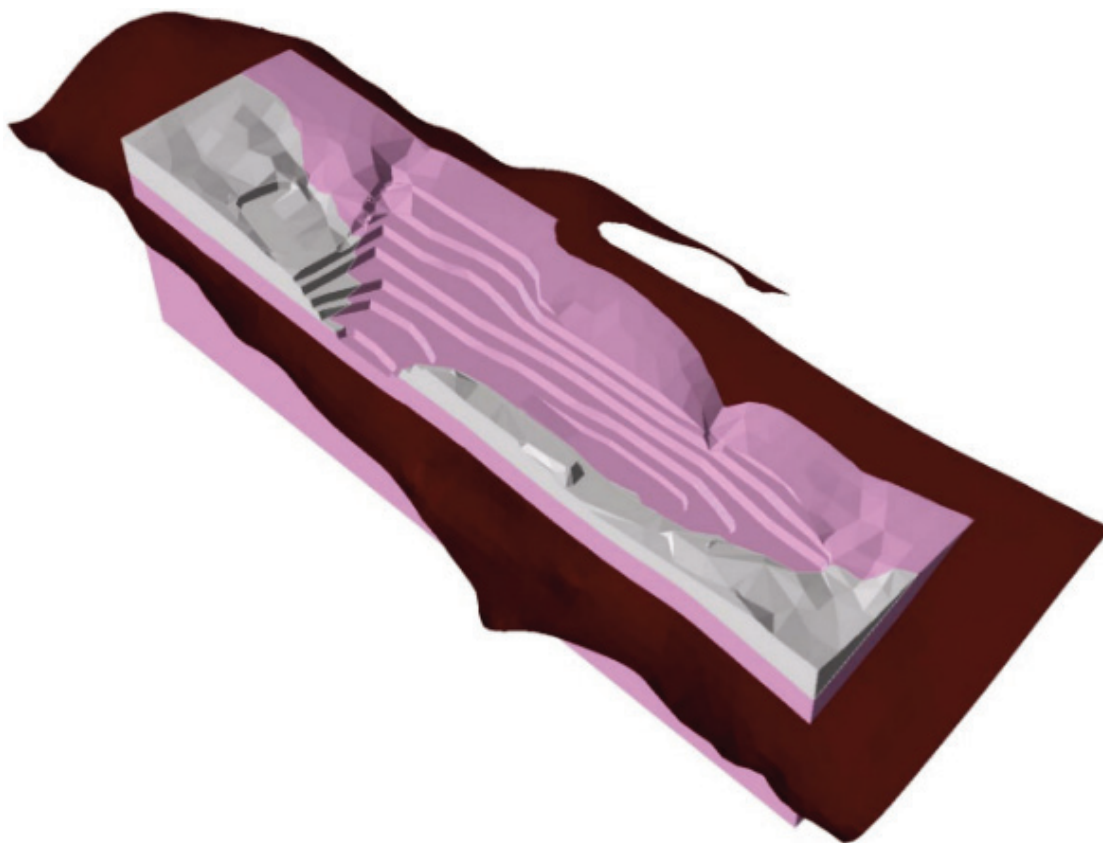
Автор по своему желанию может дополнить статью ее английской версией или переводом ревью для англоязычной версии сайта.

Темы для статей – широкий круг проблем, актуальных в повседневной жизни руководителей изыскательских компаний и инженеров. Наша основная специализация – опыт практиков для практиков.

Высылайте Ваши статьи на электронную почту [info@geoinfo.ru](mailto:info@geoinfo.ru).

Мы будем рады сотрудничеству!





## ПРИМЕР СРАВНЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ **2D И 3D АНАЛИЗА** УСТОЙЧИВОСТИ АНИЗОТРОПНОГО ОТКОСА

АНАЛИТИЧЕСКАЯ СЛУЖБА  
«ГЕОИНФО»  
info@geoinfo.ru

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

Компания Rocscience, основанная в 1996 году на базе Университета Торонто в Канаде, является одним из мировых лидеров по разработке, усовершенствованию и распространению 2D и 3D программного обеспечения для инженеров-строителей, горных инженеров, инженеров-геологов и геотехников. На сайте этой компании некоторое время назад появилась заметка «О сравнении результатов 2D и 3D анализа устойчивости анизотропного откоса» [4].

Предлагаем вниманию читателей адаптированный перевод вышеуказанной заметки [1] с привлечением дополнительных материалов [1–3, 5].

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

## Введение ►

Двумерный анализ методом предельного равновесия (МПР) является мощным инструментом для решения задач, связанных с однородной геометрией откосов или склонов. Трехмерное же моделирование с использованием МПР может очень хорошо подходить для случаев с более сложной геометрией, поскольку оно учитывает нормальные и горизонтальные (боковые) силы сопротивления вдоль сторон оползневой массы. И такое моделирование становится все более доступным для коммерческого применения и более удобным для пользователей, что позволяет инженерам-геологам лучше и детальнее оценивать устойчивость откосов и склонов.

## Параметрический анализ при расчете устойчивости бортов карьера ►

В этой статье обобщаются результаты параметрического исследования с использованием 2D и 3D анализа методом предельного равновесия для демонстрации изменчивости коэффициента запаса устойчивости откоса борта карьера во вмещающем массиве грунта с большим количеством слоев. В качестве примера рассматривается карьер по добыче железной руды, расположенный в горнопромышленном регионе Пилбара в Западной Австралии (рис. 1).

Для расчетов коэффициента запаса устойчивости откоса  $K_y$  (FS, FOS) использовались программы Slide2 и Slide3 от компании Rocscience. Отметим, что эти программные продукты применяются соответственно для 2D и 3D анализа поведения всех типов склонов и откосов, сложенных дисперсными или скальными грунтами, а также насыпей, земляных дамб, подпорных стенок и многого другого. Они работают на основе метода предельного равновесия с использованием метода конечных элементов, вероятностного анализа, анализа фильтрации подземных вод, разнотипного моделирования, возможностей проектирования удерживающих сооружений и пр. Интеграция между этими двумя программами позволяет выполнять расширенный 2D и 3D анализ поведения откосов и склонов.

Чтобы найти силу, действующую на поверхность разрушения (то есть мобилизованное напряжение), Slide2 использует разрезы, Slide3 – определенные объемы грунтового массива, а полученные результаты сравниваются с доступным значением прочности на сдвиг для оценки коэффициента запаса устойчивости.



Рис. 1. Железорудные карьеры в регионе Пилбара в Западной Австралии [5]

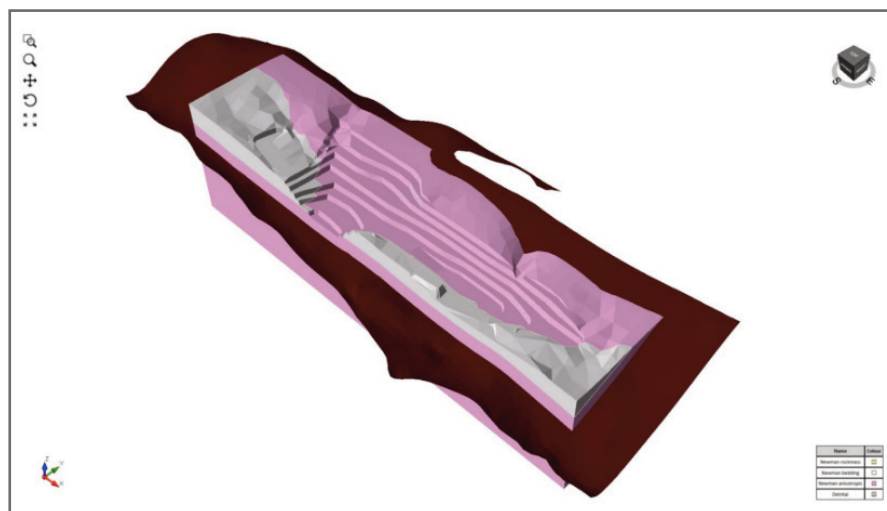


Рис. 2. Пример параметрической 3D модели рассматриваемого борта карьера

Чтобы найти разницу в значениях  $K_y$ , полученных путем 2D и 3D анализа на основе метода предельного равновесия применялись расчеты, для которых использовались следующие модели (их серии), параметры и методы.

1. 3D модели с использованием проекта карьера, естественного рельефа дневной поверхности и поверхностей (границ раздела) между слоями грунтов, экспортированных из геологической модели (рис. 2). Рассматриваемое месторождение железной руды находилось выше уровня грунтовых вод, поэтому поровое давление не учитывалось. В этих моделях были учтены анизотропия грунтового массива и истинный угол падения пластов.

2. 2D модели с использованием 2D вертикальных разрезов, проходящих через середину критической по-

верхности скольжения, рассчитанной на основе 3D моделирования (рис. 3). В этих моделях был учтен кажущийся угол падения пластов.

3. 3D модели, полученные путем экструдирования 2D сечений при различной длине откосов борта карьера (50, 100, 150, 200, 400 м). Истинная анизотропия в экструдированных двумерных моделях не учитывается. Вместо этого третье измерение добавляется равномерным вытягиванием (выдавливанием, экструдированием, экструзией) 2D-сечения.

4. Методы поиска поверхности скольжения с помощью гибридного алгоритма численной оптимизации с использованием так называемого алгоритма кукушки (Cuckoo Search, CS) и метода роя частиц (Particle Swarm Optimization, PSO) при различных параметрах

поиска (то есть разных количествах поверхностей и пределов глубины).

5. Линейная (по модели Мора – Кулона) и нелинейная (нормальная к сдвигу, по моделям Хёка – Брауна и Бартона – Бандиса) прочность материалов.

### Полученные результаты ►

Были получены следующие результаты применения 2D и 3D методов.

Результаты полного 3D анализа (таблица 1) показали, что при использовании нелинейных критериев прочности рассчитанные значения коэффициента запаса прочности  $K_y$  были ниже по сравнению с полученными в случае применения линейных моделей. Полный трехмерный анализ также показал, что поиск с ограничением глубины обычно приводит к более высоким величинам  $K_y$  по сравнению с поиском без таких ограничений. Полученные значения коэффициента варьируют от 0,81 до 1,14.

Значения коэффициента запаса прочности  $K_y$ , полученные с помощью 2D анализа (таблица 2) в целом были ниже по сравнению с результатами 3D анализа и варьировали от 0,73 до 0,88. Разница в значениях  $K_y$  также была более заметна при использовании линейных моделей.

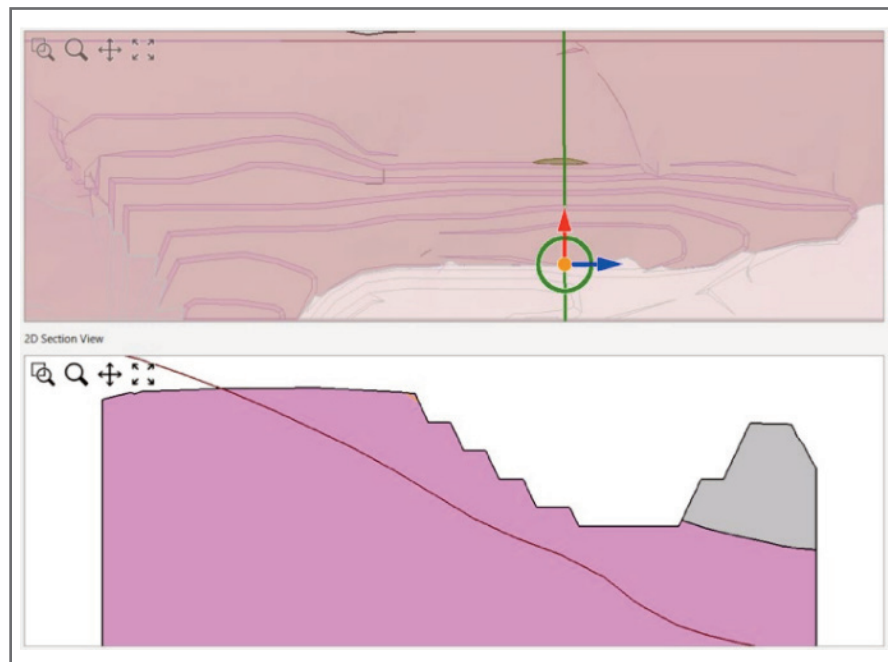


Рис. 3. План рассматриваемого борта карьера, на котором зеленым цветом показана линия разреза и поперечный разрез по этой линии для анализа в программе Slide2 (разрез проходит через середину критической поверхности скольжения, рассчитанной на основе 3D моделирования)

Это связано с тем, что прочность массива скального грунта по разные стороны от поверхности разрушения при 2D анализе не учитывается, но рассматривается при

3D анализе из-за трехмерной формы поверхности скольжения.

Полученные результаты показывают, что длина вытягивания (глубина

Таблица 1. Результаты параметрического исследования – 3D анализа методом предельного равновесия

Модель материала	Метод поиска (алгоритм оптимизации)	Количество гнезд/частиц	Предел глубины откоса	Критическое значение коэффициента запаса устойчивости $K_y$
Нелинейная (Хёка – Брауна + Бартона – Бандиса)	кукушки	20	нет	0,90
		80		0,89
	роя частиц	20		0,90
		80		0,81
Нелинейная (Хёка – Брауна + Бартона – Бандиса)	кукушки	20	15 м	1,13
		80		1,00
	роя частиц	20		1,08
		80		1,06
Линейная (Мора – Кулона)	кукушки	20	нет	1,10
		80		1,11
	роя частиц	20		1,06
		80		1,11
Линейная (Мора – Кулона)	кукушки	20	15 м	1,12
		80		1,10
	роя частиц	20		1,14
		80		1,09




Таблица 2. Результаты параметрического исследования – 2D анализа методом предельного равновесия

Модель материала	Метод поиска (алгоритм оптимизации)	Предел глубины откоса	Критическое значение коэффициента запаса устойчивости $K_y$
Нелинейная (Хёка – Брауна + Бартон – Бандиса)	кукушки	нет	0,73
	роя частиц		0,84
Линейная (Мора – Кулона)	кукушки		0,84
	роя частиц		0,88
Нелинейная (Хёка – Брауна + Бартон – Бандиса)	кукушки	15 м	0,80
	роя частиц		0,80
Линейная (Мора – Кулона)	кукушки		0,85
	роя частиц		0,85

выдавливания) при экструдировании двумерных разрезов также будет влиять на коэффициент запаса прочности  $K_y$ . Его величина будет больше при меньшей длине вытягивания и, соответственно, при более ограниченном уклоне (рис. 4).

### Закключение ►

Приведенные материалы продемонстрировали разницу между значениями коэффициента запаса устойчивости анизотропного откоса  $K_y$  (FS, FOS), полученными при 2D и 3D анализе методом предельного равновесия (МПП). Также было показано, что 3D анализ на основе МПП неизменно дает более высокие значения  $K_y$  для анизотропных массивов скальных грунтов за счет более реалистичного представления поверхности скольжения.

3D анализ методом предельного равновесия становится все более популярным для решения сложных инженерных задач. Желая убедиться в преимуществах такого 3D анализа могут запросить в компании Rocscience бесплатную двухнедельную пробную версию программы Slide3. 

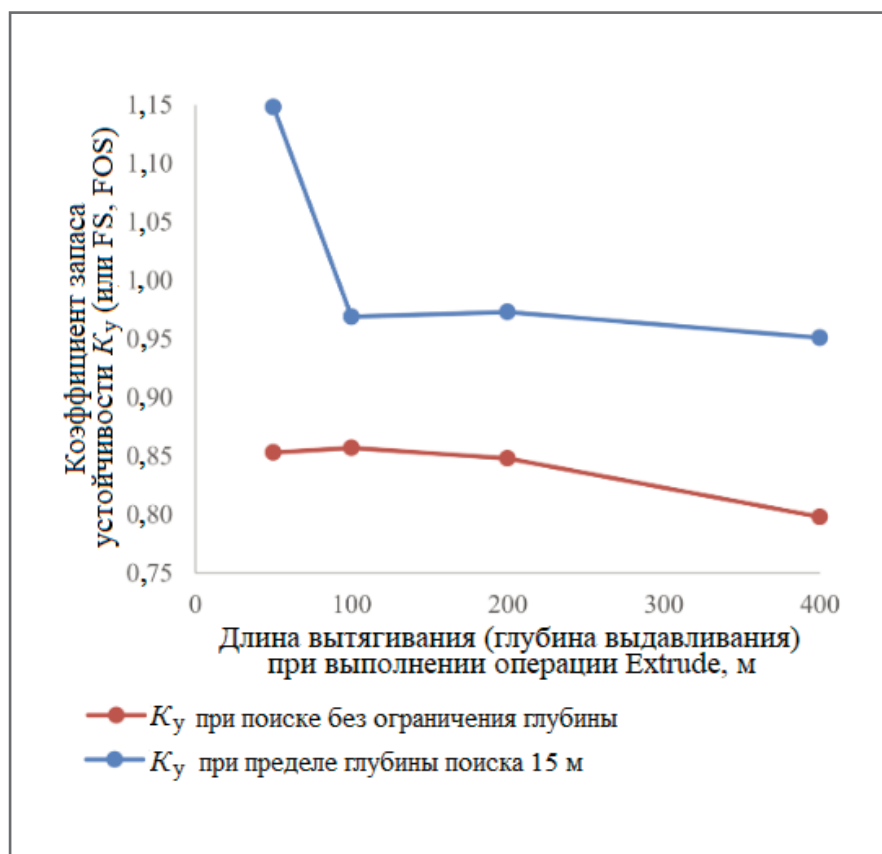
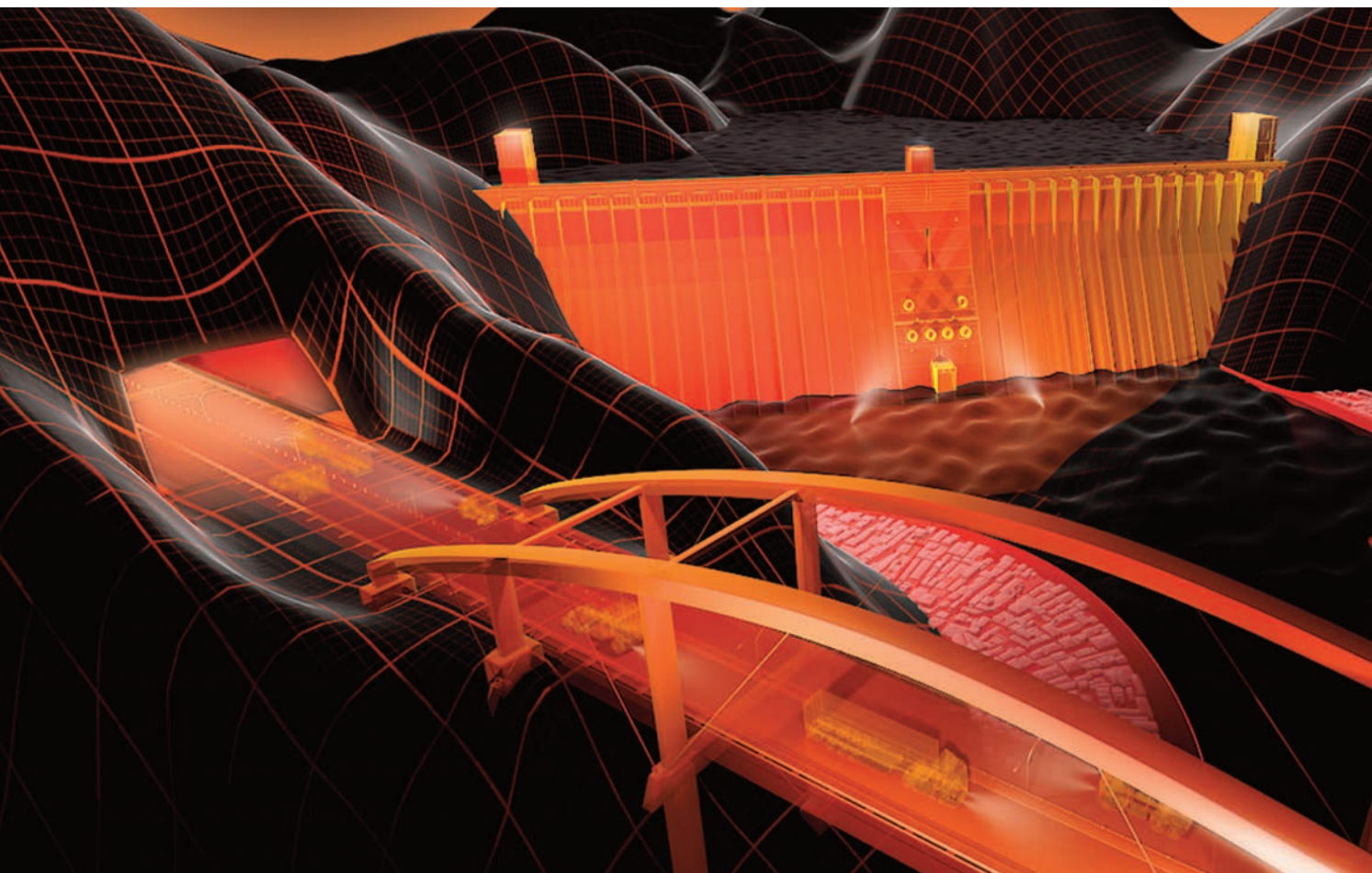


Рис. 4. Зависимости значений коэффициента запаса устойчивости  $K_y$  от длины вытягивания (глубины выдавливания) при экструдировании двумерных разрезов

### Источники ►

1. [geoast.pro/slide2](http://geoast.pro/slide2).
2. [geoast.pro/slide3](http://geoast.pro/slide3).
3. [geoinfo.ru/product/analiticheskaya-sluzhba-geoinfo/integraciya-geotekhnicheskikh-programm-ot-kompanii-rocsience-obleghaet-proektno-izyskatelskie-raboty-46822.shtml](http://geoinfo.ru/product/analiticheskaya-sluzhba-geoinfo/integraciya-geotekhnicheskikh-programm-ot-kompanii-rocsience-obleghaet-proektno-izyskatelskie-raboty-46822.shtml).
4. On the comparison of 2D and 3D stability analyses of an anisotropic slope // Rocscience. 11.05.2022.  
URL: [rocsience.com/learning/on-the-comparison-of-2d-and-3d-stability-analyses-of-an-anisotropic-slope](http://rocsience.com/learning/on-the-comparison-of-2d-and-3d-stability-analyses-of-an-anisotropic-slope).
5. [ru.abcdef.wiki/wiki/Iron\\_Valley\\_mine](http://ru.abcdef.wiki/wiki/Iron_Valley_mine).



# О КОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ СОСТОЯНИЯ И ПОВЕДЕНИЯ ГРУНТА В НЕВОДОНАСЫЩЕННОЙ ЗОНЕ

АНАЛИТИЧЕСКАЯ СЛУЖБА  
«ГЕОИНФО»  
info@geoinfo.ru

ООО «МИДАС» / MIDAS IT  
Спонсор «ГеоИнфо»

Южнокорейская компания MIDAS IT была основана в 2000 году в Сеуле. Компьютерные программы, разработанные в этой компании, используются в 136 странах мира для моделирования, комплексного проектирования и анализа в области транспортного, геотехнического, промышленного и гражданского строительства и обеспечивают безопасность, эффективность и конкурентоспособность инженерных проектов. В том числе с помощью продуктов MIDAS IT был спроектирован знаменитый небоскреб Бурдж Халифа в Дубае ОАЭ и прекрасный трехкилометровый вантовый мост Русский в российском Владивостоке. В 2013 году было открыто российское представительство этой компании – ООО «МИДАС» ([midasoft.ru/](http://midasoft.ru/); [geoinfo.ru/brand/midas-it/](http://geoinfo.ru/brand/midas-it/)). На территории РФ сейчас представлено три конечнoэлементных расчетных комплекса MIDAS IT, адаптированных для соответствия требованиям российских нормативных документов, – midas GTX NX, midas FEA NX и midas Civil.

На официальном сайте ООО «МИДАС» опубликовано очень полезное Руководство по механике грунтов [1], переведенное с английского языка, в котором рассказывается о моделировании состояния грунта в неводонасыщенной области выше уровня грунтовых вод и о влиянии учета его свойств на результаты расчетов с использованием программных продуктов MIDAS IT. Представляем вниманию читателей адаптированную и сокращенную версию указанной публикации.

Полную версию Руководства по механике грунтов можно скачать по ссылке в конце статьи.

## ВМЕСТО ВВЕДЕНИЯ. О МЕХАНИКЕ ГРУНТОВ ВОДОНАСЫЩЕННОЙ И НЕВОДОНАСЫЩЕННОЙ ОБЛАСТЕЙ ►

В классической механике грунтов обычно по умолчанию принимается, что грунт является либо сухим (с влажностью 0%), либо водонасыщенным (с влажностью 100%), а также что поведение грунта регулируется исключительно принципом эффективных напряжений Терцаги, устанавливающим взаимосвязь между напряжениями в массиве. Но в действительности сухие и водонасыщенные условия – это два предельных частных случая в отношении содержания в грунте воды. В остальных ситуациях влажность грунта находится в пределах от 0 до 100%, то есть в большинстве случаев грунт не бывает ни полностью сухим, ни полностью водонасыщенным. И это надо учитывать при решении многих инженерных задач.

Классическую механику грунтов для удобства часто подразделяют на две части – для водонасыщенных и неводонасыщенных материалов. Хотя в этом искусственном делении нет необходимости, все же может быть полезно использовать знания о водонасыщенных грунтах в качестве эталона, а затем распространить их на неводонасыщенную зону с более сложным поведением (рис. 1). Для простоты можно разделить две рассматриваемые области механики грунтов уровнем грунтовых вод (УГВ). В этом упрощенном случае ниже УГВ давление воды в порах является положительным, грунт в целом – водонасыщенным, а его поведение определяется эффективным напряжением ( $\sigma - u_w$ ). Выше УГВ поровое давление воды, как правило, является отрицательным по отношению к атмосферному давлению, грунт – неводонасыщенным а его поведение определяется такими двумя независимыми переменными, как чистое нормальное напряжение ( $\sigma - u_a$ ) и каркасное всасывающее давление ( $u_a - u_w$ ).

Если сосредоточить внимание на зоне выше УГВ, то может быть полезно классифицировать состояния грунта в соответствии с его объемной влажностью (объемным содержанием воды). Ранее рассматривали две фазы в грунте – твердые частицы и воду. Хотя точнее было бы говорить о четырех «фазах» – твердых частицах, воде, воздухе и поверхности раздела между воздухом и водой.

Вся область грунта над уровнем грунтовых вод называется **зоной аэрации**. Рассмотрим ее подробнее. Непосредственно над УГВ находится так называемая

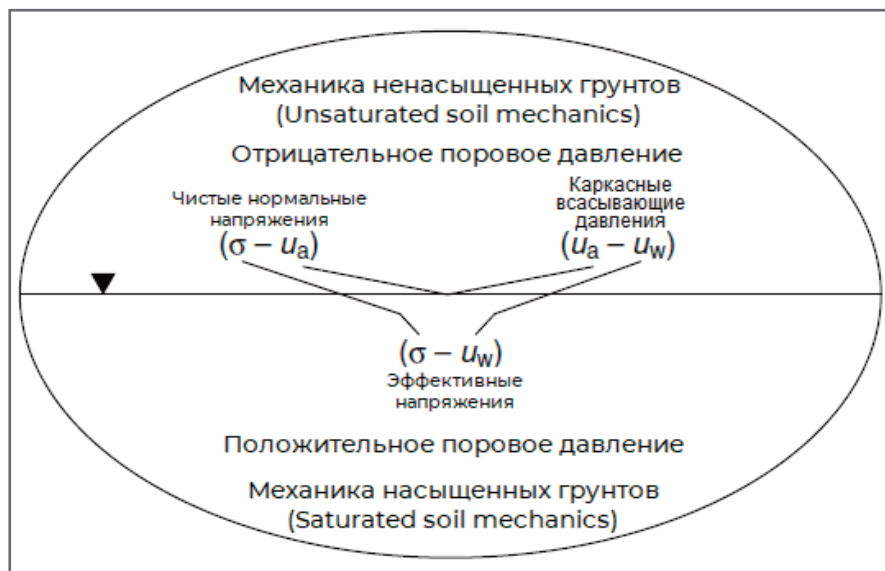


Рис. 1. Схема, дающая обобщенное понимание границ между частями механики грунтов для водонасыщенной и неводонасыщенной областей



Рис. 2. Разделение толщи грунта на зоны по характеру присутствия газообразной и жидкой фаз

мая **капиллярная зона (кайма)** толщиной от долей метра до примерно 10 м (в зависимости от типа грунта), в которой объемная влажность близка к 100%. Внутри нее водная фаза обычно является непрерывной, а воздушная – прерывистой. Выше располагается **двухфазная зона**, в которой и водная, и воздушная фазы могут быть в идеальном случае представлены как непрерывные. Внутри нее объемное содержание воды может варьировать примерно от 20 до 90% (в зависимости от типа и состояния грунта). Еще выше грунт становится *более сухим*, а водная фаза – прерывистой, тогда как воздушная фаза останется непрерывной (рис. 2).

Положение уровня грунтовых вод в первую очередь зависит от разницы между нисходящим потоком влаги (количе-

ством осадков) и ее восходящим потоком (суммарного испарения в атмосферу из грунта и с поверхности растений) и, соответственно, от климатических условий. Исключительно восходящий поток вызывает постепенное высыхание, уплотнение и растрескивание грунта, тогда как исключительно нисходящий поток в конечном итоге насыщает грунт водой. Если регион является засушливым или полусухим, УГВ со временем медленно снижается. Если климат умеренный или влажный, УГВ может оставаться довольно близко к поверхности земли. На глубину водного зеркала влияют среди прочего поверхностные потоки.

Грунты, особенно в зоне аэрации, подвергаются различным меняющимся во времени условиям окружающей сре-



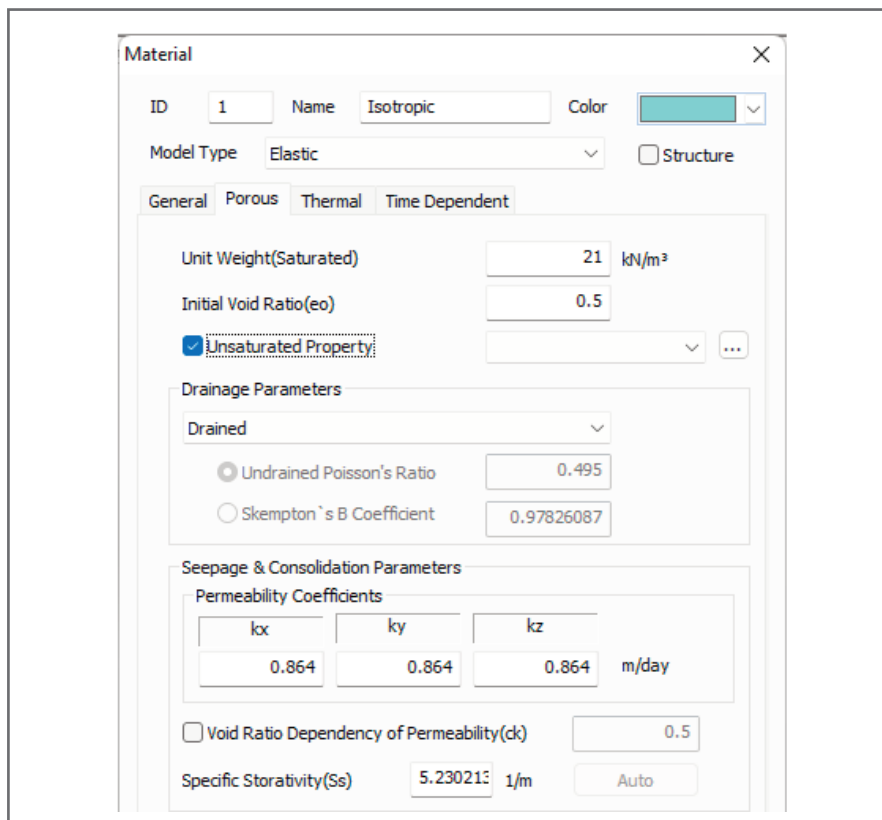


Рис. 3. Выбор (активация) свойства Unsaturated Property («Неводонасыщенный») во вкладке Porous («Пористый») окна Material («Материал»)

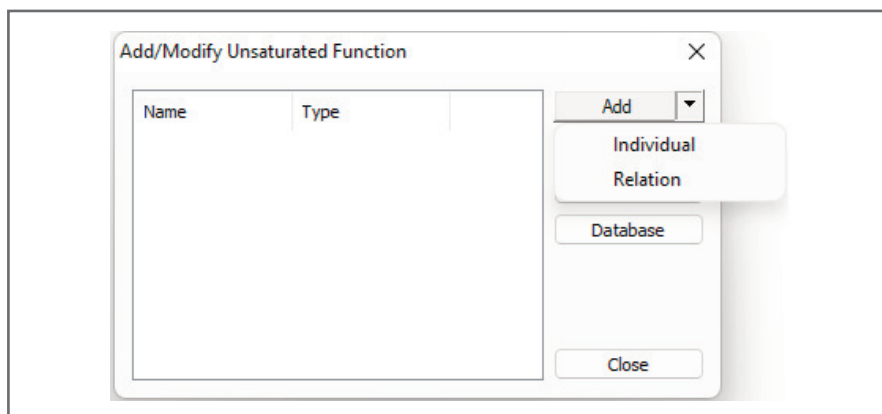


Рис. 4. Выбор способа описания функций зависимости коэффициента водопроницаемости и объемной влажности от отрицательного порового давления в неводонасыщенной области

ды, а также техногенным воздействиям. Это вызывает изменения в распределении порового давления воды, которое может принимать самые разные формы и приводить, например, к усадкам или набуханию грунта.

С зоной аэрации из-за ее нарушенной структуры связано много сложностей.

В инженерной геологии и геотехнике традиционно стремились сильно упрощать анализ этой зоны или даже избегать его, если это было возможно. Однако во многих случаях понимание реального поведения грунтов именно этой зоны является ключом к характеристикам про-

ектируемых зданий и сооружений и решению геоэкологических проблем. Например, такие сооружения, как фундаменты легких конструкций или земляное полотно автодорог, обычно располагаются значительно выше УГВ, то есть в грунтах зоны аэрации, на состояние которых, как уже говорилось, сильно влияют сезонные, погодные, климатические изменения и техногенные воздействия, а также рельеф. Само строительство и эксплуатируемые здания и сооружения, в свою очередь, оказывают серьезные воздействия на грунтовые условия, особенно в зоне аэрации (например,

асфальтированные дороги препятствуют испарению с поверхности земли), что также требует точных оценок. И тут рамки классической механики водонасыщенного или сухого грунта становятся тесными. В связи с этим в ряде стран мира появилась всеобъемлющая механика насыщенных и ненасыщенных грунтов.

В решении соответствующих геотехнических задач сегодня могут помочь улучшенные вычислительные возможности.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ГРУНТА В НЕВОДОНАСЫЩЕННОЙ ОБЛАСТИ ВЫШЕ УГВ ►

Корректно смоделировать состояние грунта в неводонасыщенной области выше УГВ можно с использованием расчетных комплексов midas GTS NX и midas FEA NX.

Для задания свойств дисперсного грунта в неводонасыщенной области необходимо в окне Material («Материал») выбрать вкладку Porous («Пористый») и в ней выбрать свойство Unsaturated Property («Неводонасыщенный») (рис. 3).

Свойства грунта в неводонасыщенной области по умолчанию не заданы. Их необходимо описать через зависимость коэффициента водопроницаемости и объемной влажности от отрицательного порового давления воды. Способ описания функции выбирается в окне Add/Modify Unsaturated Function («Добавить/модифицировать функцию для грунта в неводонасыщенной области»): либо Individual («Прямое задание функций коэффициента водопроницаемости и объемной влажности в зависимости от отрицательного порового давления»), либо Relation («Задание соотношения между поровым давлением, объемной влажностью и коэффициентом водопроницаемости») (рис. 4).

## Прямое задание характеристик неводонасыщенного грунта (Individual) ►

Данные, основанные на испытаниях неводонасыщенного грунта, могут быть заданы напрямую. Также могут быть определены коэффициенты в уравнениях с использованием функции Curve Fitting («Аппроксимация кривой»).

Если экспериментальные данные вводятся напрямую (рис. 5), то задаются абсолютные значения отрицательного порового давления, а коэффициент водопроницаемости (Permeability Ratio) определяется соотношением коэффициентов фильтрации для грунта в неводонасыщенном и водонасыщенном состояниях.

Кривые зависимости водопроницаемости и объемной влажности от отри-

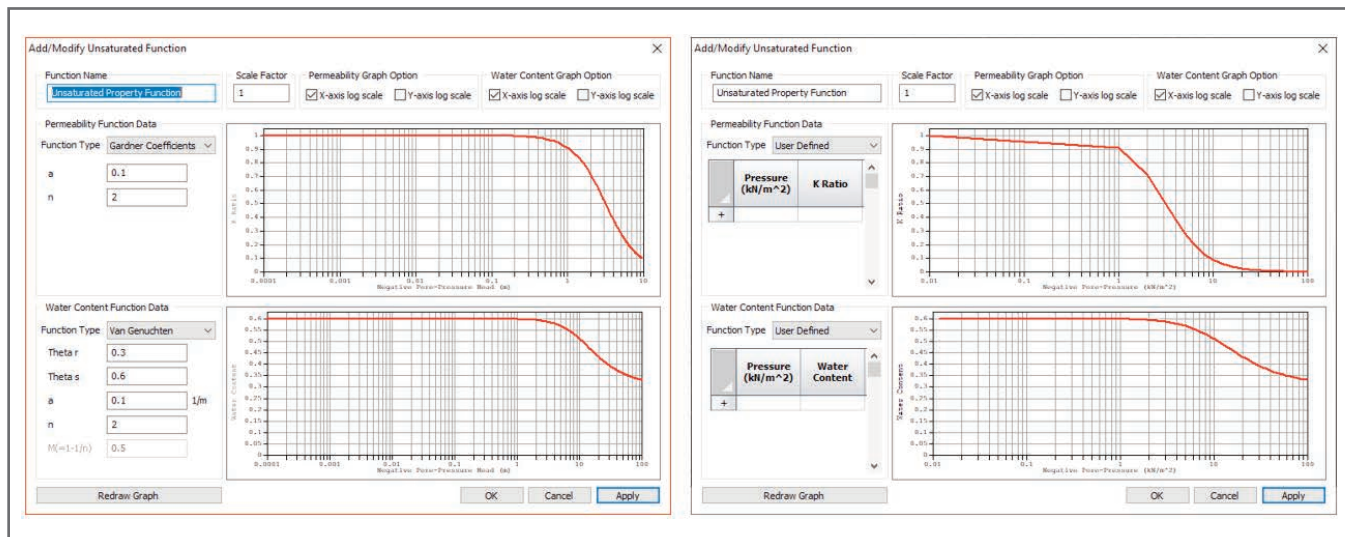


Рис. 5. Прямое задание характеристик неводонасыщенного грунта

цательного порового давления могут быть описаны различными функциями (Function Type). Для этого используются формулы для получения коэффициента водопроницаемости и объемного содержания воды в соответствии с материальными моделями движения жидкости Гарднера (Gardner), Ван-Генухтена (Van Genuchten) или с помощью фронтальной функции (Frontal Function) (рис. 6).

### Задание соотношения между поровым давлением, объемной влажностью и коэффициентом водопроницаемости (Relation) ►

Данные о свойствах неводонасыщенного материала могут быть заданы с учетом типа грунта в соответствии с критериями и обозначениями Японского института инженеров-строителей (JICE – Japan Institute of Construction Engineers) (рис. 7, 8).

Для нестационарного случая отрицательный пьезометрический напор (соответствующий отрицательному поровому давлению воды) рассчитывается для каждого временного шага и применяется с обновленным коэффициентом водопроницаемости. Последний обновляется для каждого шага по объемному содержанию воды (или же по коэффициенту водонасыщения), которое находится по вычисленному пьезометрическому напору.

### Задание показателей свойств грунта ненасыщенной области на основе его гранулометрического состава ►

Кривая объемной влажности может быть построена по графику гранулометрического состава. Для этого предпринимаются следующие действия.

- Коэффициент водопроницаемости по модели Гарднера (Gardner):

$$R_k = \frac{1}{1 + a|h|^m},$$

где  $R_k$  – коэффициент водопроницаемости;  $a$ ,  $n$  – экспериментальные константы, полученные путем аппроксимации кривой, построенной по данным испытаний (Curve Fitting).

- Коэффициент водопроницаемости по модели Ван-Генухтена (Van Genuchten):

$$R_k = \frac{[1 - (ah)^{n-1} \cdot \{1 + (ah)^n\}^{-m}]^2}{[1 + (ah)^n]^{m/2}},$$

где  $R_k$  – коэффициент водопроницаемости;  $a$ ,  $n$ ,  $m$  – экспериментальные константы, полученные путем аппроксимации кривой, построенной по данным испытаний (Curve Fitting).

- Фронтальная функция (Frontal Function):

$$R_k = \begin{cases} l & \text{if } H = 0 \\ (R_{k0} - l) \frac{H}{H_0} + l\varphi & \text{if } 0 < H < H_0 \\ R_{k0} & \text{if } H \geq H_0 \end{cases}$$

- Объемное содержание воды (Water Content) по модели Ван-Генухтена (Van Genuchten):

$$\theta_w = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (ah)^n]^m}$$

где  $\theta_w$  – объемное содержание воды;  $\theta_r$  – остаточное объемное содержание воды;  $\theta_s$  – содержание воды в водонасыщенном материале;  $a$ ,  $n$ ,  $m$  – экспериментальные константы, полученные путем аппроксимации кривой, построенной по данным испытаний (Curve Fitting).

Рис. 6. Получение коэффициента проницаемости и объемного содержания воды в соответствии с материальными моделями движения жидкости Гарднера, Ван-Генухтена или с помощью фронтальной функции

В окне Water Content Function Data («Данные функции влажности») выбирается выпадающее меню Function Type («Тип функции»), из него – пункт User Defined («Определяемое пользователем») и далее – действие Est. Unsaturated Property («Оценка свойства ненасыщенного грунта») (рис. 9).

Необходимо задать функцию гранулометрического состава (Grain-Size Distribution Function). Кривая гранулометрического состава будет создана автоматически после ввода размеров частиц (Particle Size) и данных для кумулятив-

ной функции распределения, то есть кумулятивной кривой гранулометрического состава (Accumulative Rate of Transmission), ординаты которой соответствуют содержанию суммы фракций частиц менее данного диаметра, а абсциссы – диаметрам частиц в логарифмическом масштабе (рис. 10).

Далее при создании функций, описывающих объемное содержание воды в ненасыщенной области на основе кумулятивной кривой гранулометрического состава с использованием поправочных коэффициентов  $\chi$ ,  $\beta$  (рис. 11), будут

(P)-(T)-(K)		(P)-(Sr)-(K)	
(T)-(P)	(T)-(K)	(Sr)-(P)	(Sr)-(K)
Гравелистый грунт [G], [G-F], [GF] (JICE)	Гравелистый грунт [G], [G-F], [GF] (JICE)	Гравелистый грунт [G], [G-F], [GF] (JICE)	Гравелистый грунт [G], [G-F], [GF] (JICE)
Песчаный грунт [S], [S-F], [SF] (JICE)	Песчаный грунт [S], [S-F], [SF] (JICE)	Песчаный грунт [S], [S-F], [SF] (JICE)	Песчаный грунт [S], [S-F], [SF] (JICE)
Песчаный грунт [SF] (JICE)	Связный грунт [M], [C] (JICE)	Песчаный грунт [SF] (JICE)	Связный грунт [M], [C] (JICE)
Связный грунт [M], [C] (JICE)		Связный грунт [M], [C] (JICE)	

Обозначения:  
(P) – пьезометрический напор, м (Head, m);  
(T) – объемное содержание воды, или объемная влажность, д. ед. (Volume Water Content, VWC);  
(Sr) – коэффициент водонасыщения (Degree of Saturation);  
(K) – коэффициент водопроницаемости (Permeability Ratio, Permeability).

Рис. 7. Критерии и обозначения Японского института инженеров-строителей (JICE), используемые при задании функций зависимости между показателями свойств для неводонасыщенного материала (Unsaturated Property Function) с учетом типа грунта. Некоторые из приведенных обозначений использованы, например, на рисунке 8

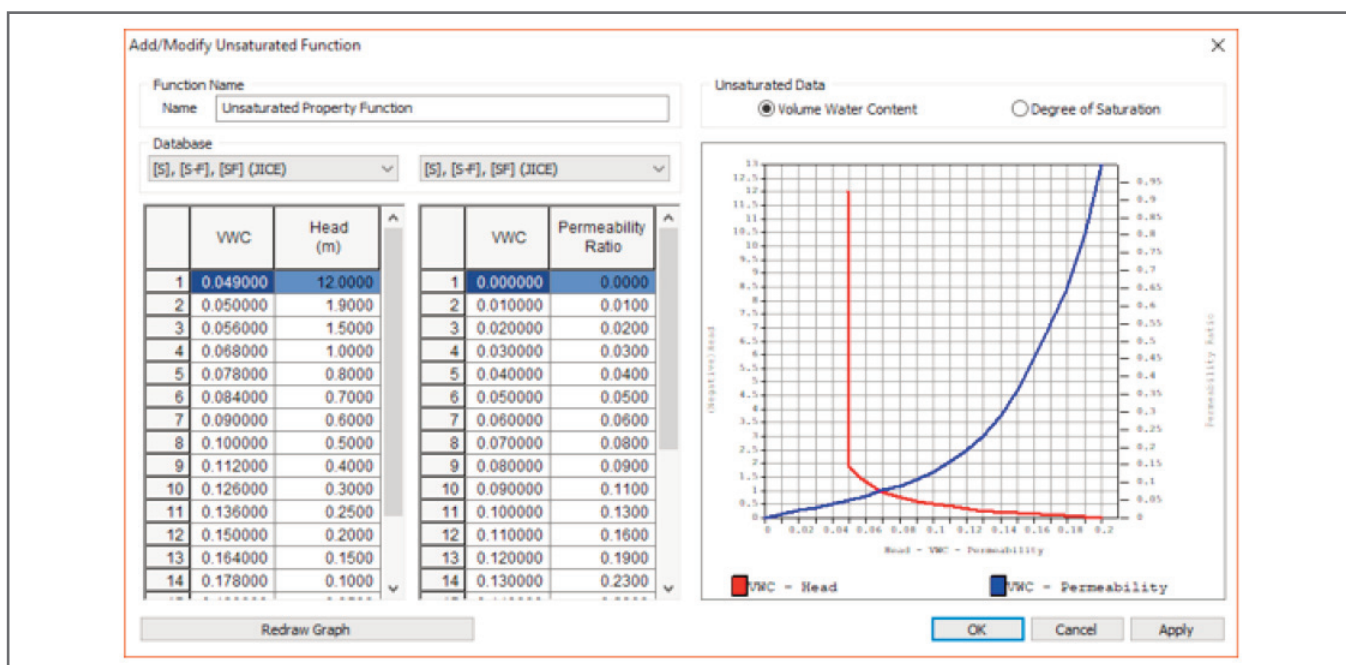


Рис. 8. Пример задания функций зависимости между объемным содержанием воды в долях единицы (VWC) и пьезометрическим напором в метрах (Head, m); объемным содержанием воды в долях единицы (VWC) и коэффициентом водопроницаемости (Permeability Ratio). Расшифровка всех нужных обозначений приведена на рисунке 7

учитываться зависимости, представленные на рисунке 12. (Для более подробного ознакомления с этим вопросом можно обратиться к следующей работе: Lee H., Lee S.J., Lee S.-R. Estimation of soil water characteristic curve for weathered granite soils considering structural characteristics. Nyeji (KAIST), 2005.)

### База данных для задания свойств неводонасыщенных грунтов

Как уже отмечалось ранее, свойства неводонасыщенного грунта можно задать путем введения данных испытаний. Но такой способ довольно затруд-

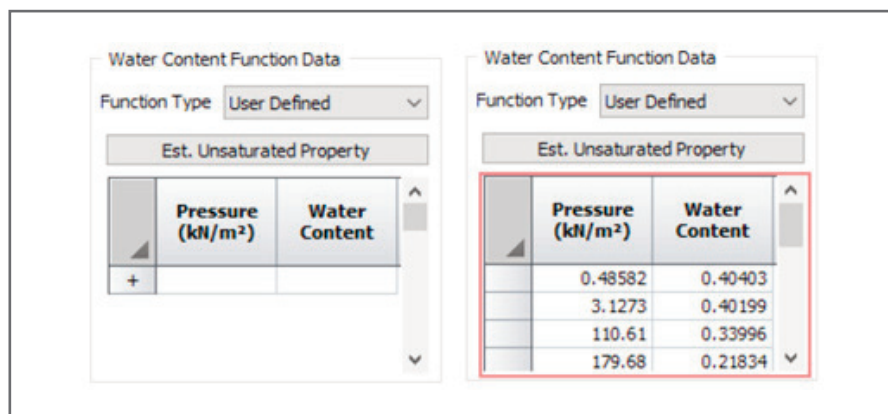


Рис. 9. Задание показателей свойств грунта ненасыщенной области на основе его гранулометрического состава



нителен, так как проведение необходимых испытаний требует затрат времени и средств. Чтобы пользователям было удобнее применять другие варианты задания свойств грунта ненасыщенной области (рассмотренные выше – с применением эмпирических коэффициентов или гранулометрического состава грунта), в программные комплексы midas GTS NX и midas FEA NX встроена база данных, из которой в зависимости от типа грунта можно получить необходимые значения эмпирических коэффициентов и автоматически построить кривые зависимостей коэффициента водопроницаемости и объемной влажности от отрицательного порового давления (рис. 13). В данном случае доступно два списка:

1. Van Genuchten Data (Van Genuchten, 1980) (источник: Van Genuchten M.Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils // Soil Sci. Soc. Am. J. 1980. Vol. 44. P. 892–898);

2. Van Genuchten Data (Carsel and Parrish, 1988) (источник: Carsel R.F., Parrish R.S. Developing joint probability distributions of soil water retention characteristics // Water Resources Research. 1988. Vol. 24. P. 755–769).

Таким образом, есть разные варианты описания кривых зависимостей коэффициента водопроницаемости и объемной влажности от отрицательного порового давления для учета свойств грунта в неводонасыщенной области. Выбор того или иного из них в первую очередь будет зависеть от имеющихся исходных данных. Если последних нет, то пользователь может воспользоваться базой данных, встроенной в midas GTS NX и midas FEA NX, и в зависимости от типа грунта получить необходимые коэффициенты для построения кривых.

### ВЛИЯНИЕ УЧЕТА СВОЙСТВ ГРУНТА В НЕВОДОНАСЫЩЕННОЙ ОБЛАСТИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Рассмотрим демонстрационную модель однородного склона (откоса), сложенного супесью. По левой границе расчетной области задан пьезометрический напор на 5 м ниже дневной поверхности, по правой – на 1 м ниже поверхности. По склону задано условие поиска точки высачивания грунтовых вод на поверхность. Левее поперечного сечения, проходящего через бровку склона, устраивается дренажная система.

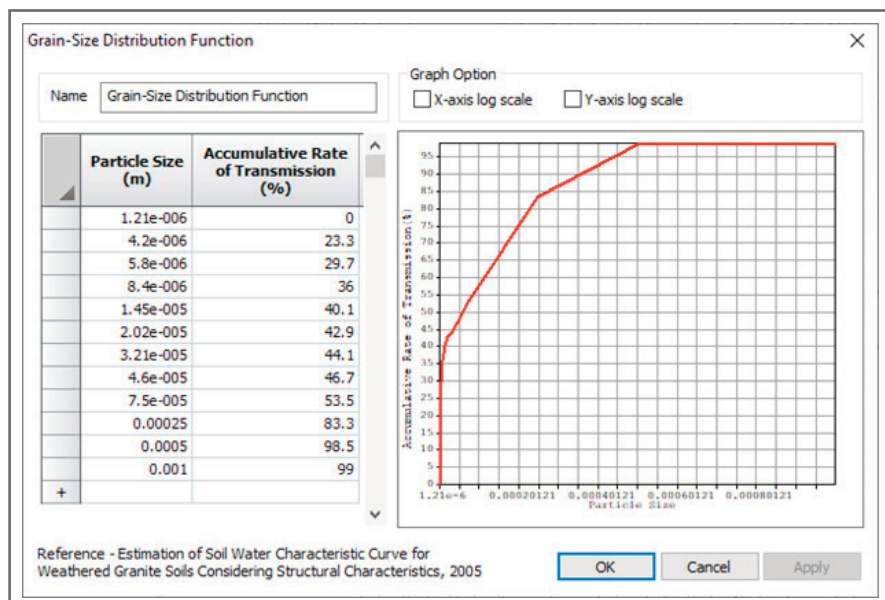


Рис. 10. Окно Grain-Size Distribution Function («Функция гранулометрического состава»)

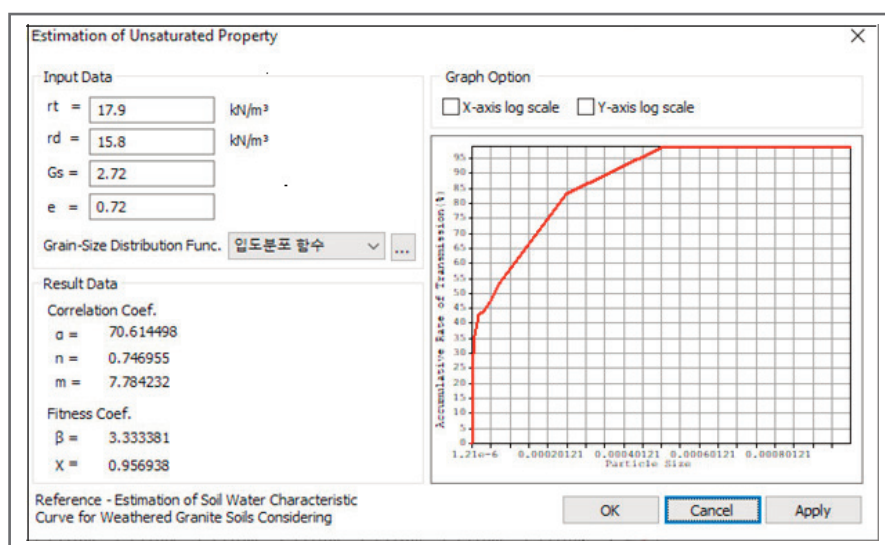


Рис. 11. Окно Estimation of Unsaturated Property («Оценка свойств грунта в неводонасыщенной области»)

Объемное содержание воды:

$$\theta_{vi} = \chi \sum_{j=1}^i \frac{V_{pj}}{V_b}; \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

где  $V_{vi} = \left(\frac{w_i}{\rho_s}\right) e$ ;  $V_{vi}$  – размер частиц (Particle Size);  $w_i$  – суммарное (кумулятивное) содержание частиц мельче данного диаметра (Rate of Transmission);  $\rho_s$  – плотность сухого грунта;  $e$  – коэффициент пористости.

Высота капиллярного поднятия (всасывания) по уравнению Жюрена:

$$\psi_i = 2 \sigma \cos \theta / \rho_w g r_i,$$

где  $\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения воды;  $\theta$  – угол смачивания;  $\rho_w$  – плотность воды;  $g$  – ускорение свободного падения;  $r_i$  – радиус капилляра (Radius of Void);  $r_i = R_i [4en_i^{(1-\xi)}/6]^{1/2}$ ;  $\xi = \beta / \lg(D_t)$  при  $D_t \geq 100$  мкм ( $\mu m$ ),  $\xi = \beta / \lg 100$  при  $D_t < 100$  мкм ( $\mu m$ ).

Рис. 12. Зависимости, учитываемые при создании функций, описывающих объемное содержание воды в грунте ненасыщенной области на основе кумулятивной кривой гранулометрического состава с использованием поправочных коэффициентов  $\chi$ ,  $\beta$  (см. рис. 11)

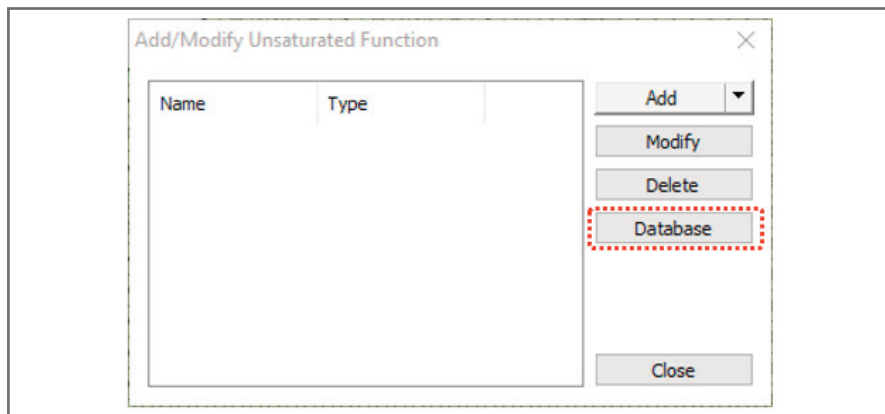


Рис. 13. Выбор базы данных в окне Add/Modify Unsaturated Function («Добавить/модифицировать функцию для грунта неводонасыщенной области»), из которой в зависимости от типа грунта можно получить необходимые значения эмпирических коэффициентов и автоматически построить кривые зависимости коэффициента водопроницаемости и объемной влажности от отрицательного порового давления

### Расчеты для начальной стадии фильтрации при ее установившемся режиме с определением равновесного положения кривой депрессии без учета свойств материала в неводонасыщенной области ►

Положение расчетной кривой депрессии на разрезе слагающего склон материала, полученное без учета свойств грунта в неводонасыщенной области (без учета Unsaturated Property) и приведенное на рисунке 16, выглядит логичным.

Но если оценить другие компоненты результатов для данного расчета, то ситуация будет выглядеть иначе.

На рисунке 17 показаны изополя коэффициента (степени) водонасыщения (Degree of Saturation) для начальной стадии фильтрации при ее установившемся режиме без учета свойств грунта в неводонасыщенной области. Ниже кривой депрессии коэффициент водонасыщения равен единице, то есть грунт считается полностью водонасыщенным, а выше этой кривой он равен

нулю, то есть грунт считается полностью сухим. О таком допущении (двух крайних состояниях), уже упоминалось в самом начале.

На рисунке 18 представлены изополя объемного содержания воды (Volumetric Water Content, VWC) для начальной стадии фильтрации при ее установившемся режиме без учета свойств грунта в неводонасыщенной области. По всей расчетной области выше и ниже кривой депрессии объемная влажность одинакова, что также является допущением. В этом случае (если свойства грунта в ненасыщенной области не заданы) программа вычисляет объемное содержание воды исходя из значения(-й) коэффициента пористости (для демонстрационной задачи коэффициент пористости  $e=0,6$  и  $VWC=e/(1+e)=0,375$ ):

На рисунке 19 показаны векторы результирующих скоростей фильтрационного потока (Seepage Flow Velocity Resultant) для начальной стадии фильтрации при ее установившемся режиме без учета свойств грунта в неводонасыщенной области. Выше кривой депрессии

имеет место движение воды, которое обусловлено наличием влаги в данной области. Это приведет к погрешности, если надо будет оценить приток/отток в рамках выполнения фильтрационных расчетов.

### Расчеты для начальной стадии фильтрации при ее установившемся режиме с определением равновесного положения кривой депрессии с учетом свойств грунта в неводонасыщенной области ►

Чтобы учесть свойств грунта в неводонасыщенной области (Unsaturated Property) для той же модели однородного склона (см. рис. 15), надо воспользоваться встроенной базой данных и выбрать данные для супеси. В результате получаются зависимости коэффициента водопроницаемости (K Ratio) и объемной влажности (Water Content) от отрицательного порового давления,  $m$  (Negative Pore-Pressure Head, m), отложенного в логарифмическом масштабе (рис. 20).

В этом случае, с одной стороны, положение кривой депрессии (рис. 21), получается аналогичным тому, что было рассчитано без учета свойств грунта в неводонасыщенной области (см. рис. 16). Однако прочие компоненты результатов для данного расчета отличаются.

На рисунке 22 показаны изополя объемного содержания воды (Volumetric Water Content, VWC) для начальной стадии фильтрации при ее установившемся режиме с учетом свойств грунта в неводонасыщенной области. Значения VWC совпадают с приведенными на графике зависимости объемной влажности от отрицательного порового давления на рисунке 20 (данные для построения этого графика можно экспортировать в файл Excel). Объемное содержание воды ниже кривой депрессии является максимальным и состав-

Unsaturated Function Database

DatabaseVan Genuchten data(Carsel and Parrish, 1988)

Select AllUnselect All

No	Soil	Ks (m/day)	Os(m³/m³)	Or(m³/m³)	a (1/m)	n	Select
1	Sand	7.128	0.43	0.045	14.5	2.68	<input type="checkbox"/>
2	Loamy Sand	3.502	0.41	0.057	12.4	2.28	<input type="checkbox"/>
3	Sandy Loam	1.061	0.41	0.065	7.5	1.89	<input type="checkbox"/>
4	Loam	0.2496	0.43	0.078	3.6	1.56	<input type="checkbox"/>
5	Silt	0.06	0.46	0.034	1.6	1.37	<input type="checkbox"/>
6	Silt Loam	0.108	0.45	0.067	2	1.41	<input type="checkbox"/>
7	Sandy Clay Loam	0.3144	0.39	0.1	5.9	1.48	<input type="checkbox"/>
8	Clay Loam	0.0624	0.41	0.095	1.9	1.31	<input type="checkbox"/>
9	Silt Clay Loam	0.0168	0.43	0.089	1	1.23	<input type="checkbox"/>
10	Sandy Clay	0.0288	0.38	0.1	2.7	1.23	<input type="checkbox"/>
11	Silty Clay	0.0048	0.36	0.07	0.5	1.09	<input type="checkbox"/>
12	Clay	0.048	0.38	0.068	0.8	1.09	<input type="checkbox"/>

Рис. 14. База данных Van Genuchten Data (Carsel and Parrish, 1988)

ляет 0,41. А, например, в левом верхнем узле выше кривой депрессии на 5 м величина  $VWC$  составляет 0,0797. Это резко отличается от представленного на рисунке 18, когда свойства грунта не учитывались.

На рисунке 23 представлены изополя коэффициента (степени) водонасыщения (Degree of Saturation, DS) для начальной стадии фильтрации при ее установившемся режиме с учетом свойств грунта в неводонасыщенной области. Ниже кривой депрессии коэффициент водонасыщения равен единице, то есть грунт считается полностью водонасыщенным. А выше кривой этот коэффициент (в отличие от показанного на рисунке 17, когда свойства материала не учитывались) вычисляется исходя из:

- объемной влажности насыщенного грунта  $VWC_{\text{нас.}}=0,41$  (принятой по графику зависимости  $VWC$  от отрицательного порового давления на рис. 20);
- минимальной объемной влажности  $VWC_{\text{мин.}}=0,065$  (принятой по графику

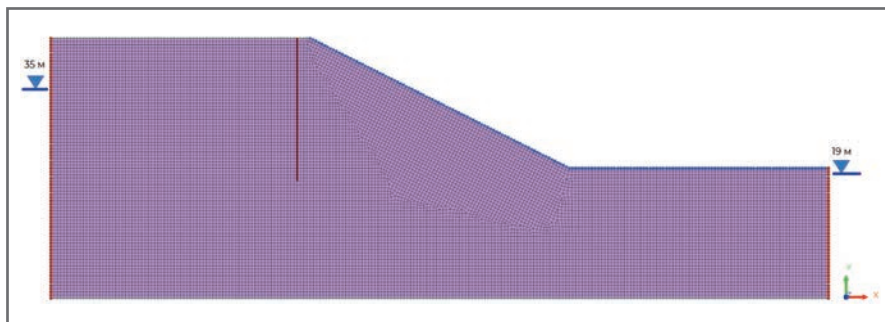


Рис. 15. Общий вид демонстрационной модели

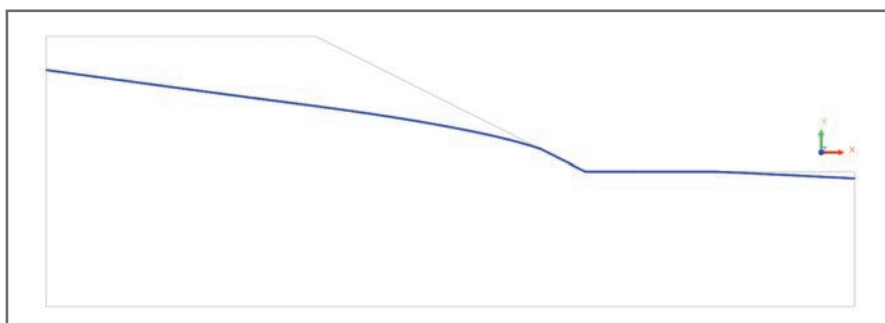


Рис. 16. Положение расчетной кривой депрессии на разрезе слагающего склон материала на начальной стадии фильтрации при ее установившемся режиме без учета свойств грунта в неводонасыщенной области

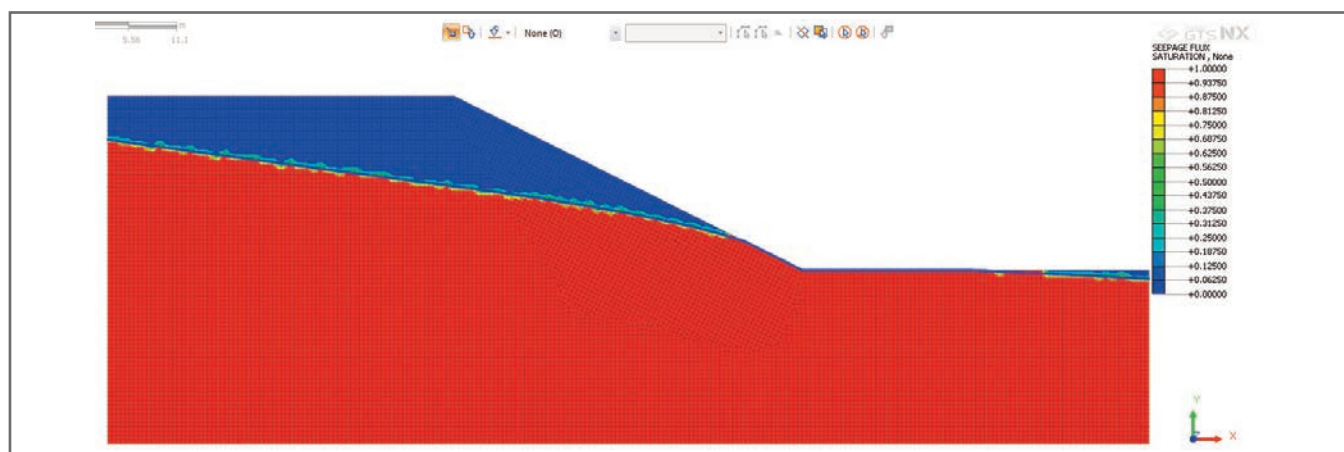


Рис. 17. Изополя коэффициента водонасыщения для начальной стадии фильтрации при ее установившемся режиме без учета свойств грунта в неводонасыщенной области

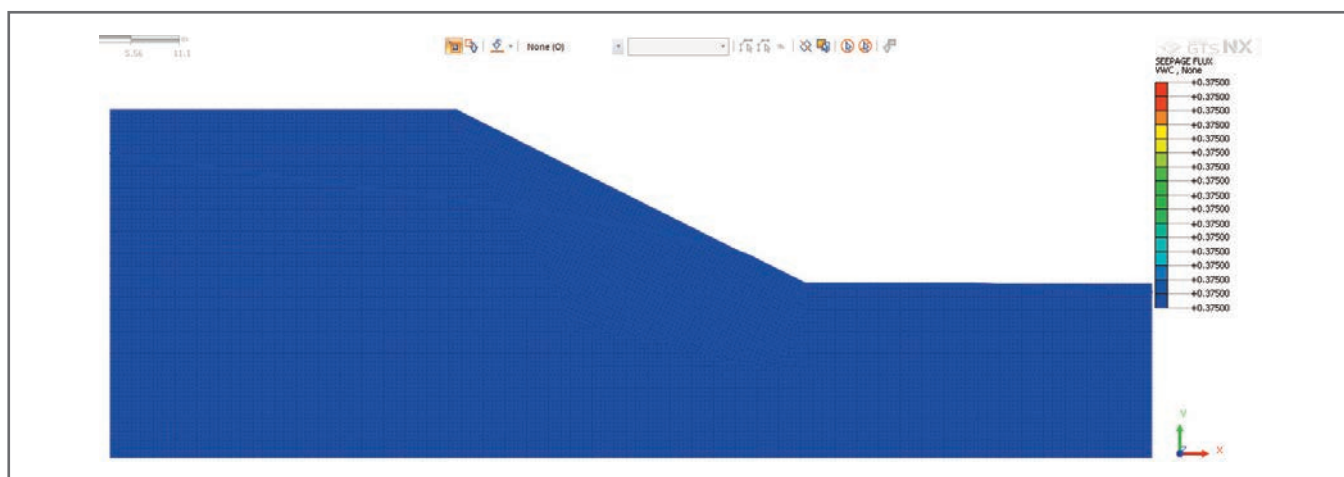


Рис. 18. Изополя объемного содержания воды для начальной стадии фильтрации при ее установившемся режиме без учета свойств грунта в неводонасыщенной области



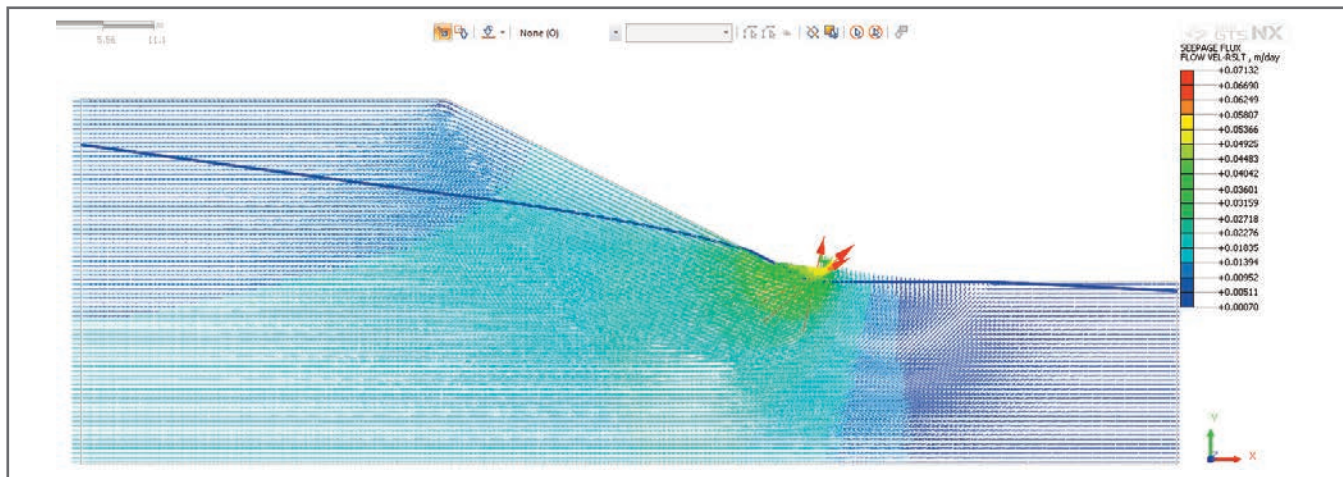


Рис. 19. Векторы результирующих скоростей фильтрационного потока для начальной стадии фильтрации при ее установившемся режиме без учета свойств грунта в неводонасыщенной области

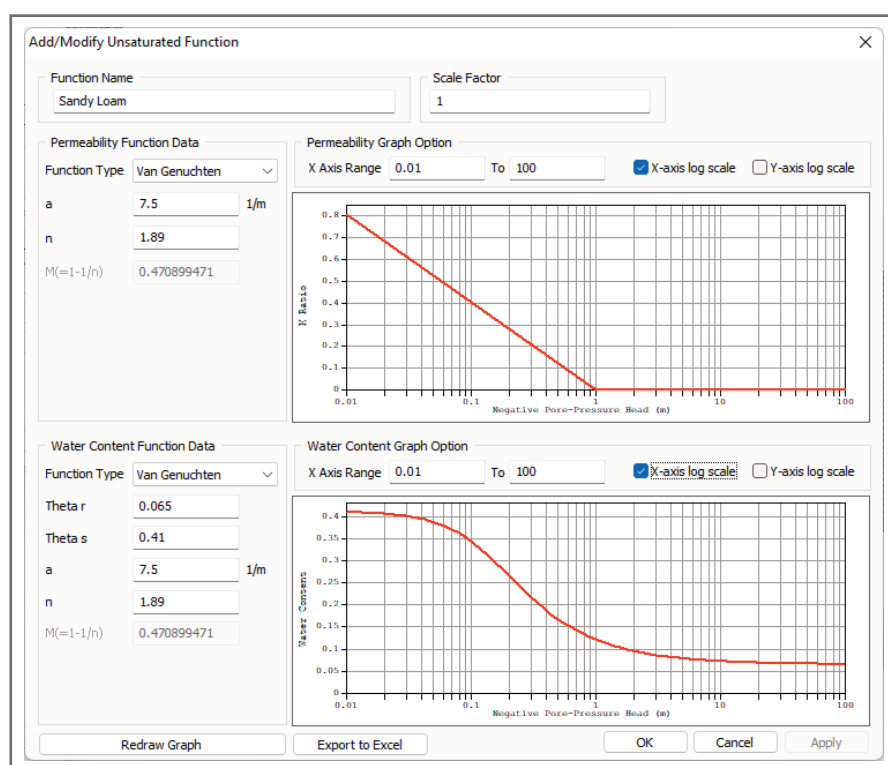


Рис. 20. Зависимости коэффициента водопроницаемости (K Ratio) и объемной влажности (Water Content) от отрицательного порового давления, m (Negative Pore-Pressure Head, m), встроженного в логарифмическом масштабе, принятые для супеси со свойствами из встроенной базы данных

зависимости WVC от отрицательного порового давления на рис. 20);

- текущей объемной влажности в искомом узле  $WVC_{тек.} = 0,0797$  (принятой по расчетной величине WVC в искомом узле на рисунке 22).

Например, в левом верхнем узле расчетной модели коэффициент водонасыщения DS составит (см. рис. 23):  $DS = (WVC_{тек.} - WVC_{мин.}) / (WVC_{нас.} - WVC_{мин.}) = 0,0426$ .

На рисунке 24 показаны векторы результирующих скоростей фильтрационного потока (Seepage Flow Velocity Re-

sultant) для начальной стадии фильтрации при ее установившемся режиме с учетом свойств грунта в неводонасыщенной области. Выше кривой депрессии движения воды практически нет (что резко отличается от представленного на рисунке 19, когда свойства материала не учитывались), и это обусловлено корректным описанием свойств грунта в этой зоне.

На рисунке 25 сопоставлены расчетные расходы грунтовой воды, которая протекает через сечение, проходящее через подошву склона, куб. м/сут (Flow

Quantity). Видно, что расход при неучете свойств грунта получился завышенным (поскольку за счет некорректного учета свойств грунта в ненасыщенной области выше кривой депрессии получилось некорректное описание движения воды).

Таким образом, можно сделать вывод, что если инженера-геолога или геотехника интересует определение только расчетного положения кривой депрессии и порового давления, то учетом свойств грунта в неводонасыщенной области можно пренебречь. Но если необходимо оценить гидравлический градиент, скорость фильтрационного потока или объем притока/оттока, то задание свойств грунта в ненасыщенной области (Unsaturated Property) при решении задачи стационарной (установившейся) фильтрации является обязательным.

### Расчет работы дренажной системы на стадии неустановившейся фильтрации с определением равновесного положения кривой депрессии в каждый момент времени без учета свойств грунта в неводонасыщенной области и с их учетом ►

Для принятой демонстрационной модели (см. рис. 15) рассмотрим вторую стадию, когда активируется дренажная система левее поперечного сечения, проходящего через бровку склона (или откоса).

В случае установившегося режима фильтрации при расчетах будет определяться новое равновесное положение кривой депрессии с учетом новых граничных условий, описывающих дренажную систему, а неучет или учет свойств грунта в неводонасыщенной области

даст результаты, аналогичные таковым для первой стадии при стационарном режиме фильтрации (см. выше).

Однако в случае расчета неустановившейся фильтрации неучет и учет свойств грунта в неводонасыщенной области приведут к разным результатам, что будет показано далее.

Зададим для нестационарного расчета продолжительность фильтрации в 50 суток и оценим положение кривой депрессии на разрезе слагающего склон грунта в каждый момент времени.

На рисунке 26 показано изменение положения кривой депрессии при нестационарной фильтрации за 50 суток без учета свойств слагающего склон грунта в неводонасыщенной области. На каждом промежуточном шаге учитывается только изменение внешних граничных условий, например уровней грунтовых вод, пьезометрических напоров или заданного притока/оттока, но не учитывается движение воды во времени, и положение этой кривой практически сразу приходит к равновесному состоянию. Другими словами,

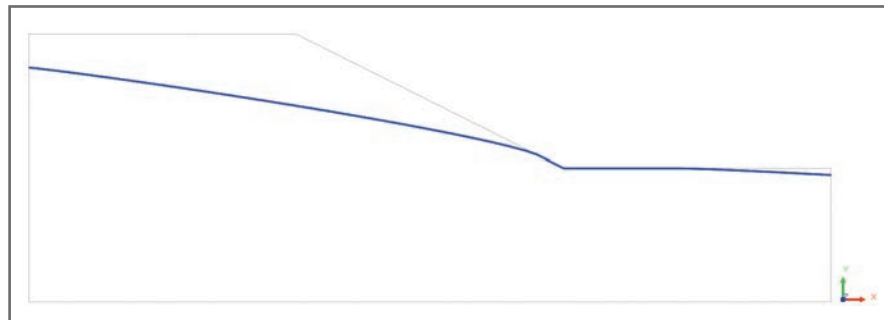


Рис. 21. Положение расчетной кривой депрессии на разрезе слагающего склон материала на начальной стадии фильтрации при ее установившемся режиме с учетом свойств грунта в неводонасыщенной области

положение кривой депрессии на каждом шаге будет близким к результатам расчетов, выполненных для случая установившейся фильтрации при таких же внешних граничных условиях без учета времени.

На рисунке 27 представлено изменение положения кривой депрессии при нестационарной фильтрации за 50 суток с учетом свойств слагающего склон грунт в неводонасыщенной области. Кроме изменения внешних граничных

условий, например уровней грунтовых вод, пьезометрических напоров или заданного притока/оттока, учитывается еще и движение воды в грунте во времени, и положение кривой депрессии вычисляется равновесно на каждом промежуточном шаге с учетом заданных свойств грунта. Поэтому различия результатов расчетов при учете и неучете свойств грунта в неводонасыщенной области, описанные ранее для установившегося фильтрационного потока, бу-

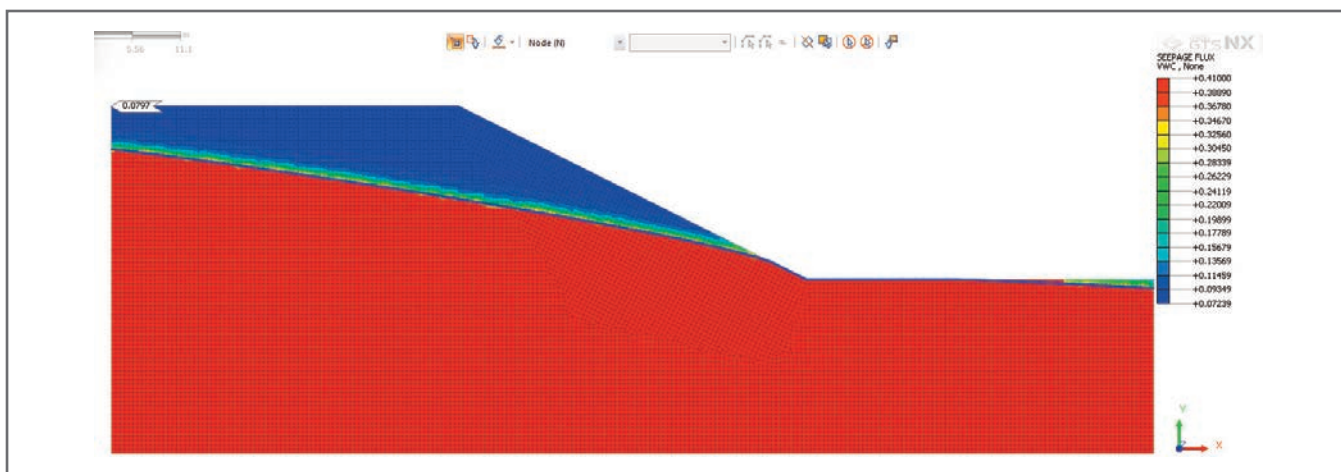


Рис. 22. Изополя объемного содержания воды для начальной стадии фильтрации при ее установившемся режиме с учетом свойств грунта в неводонасыщенной области

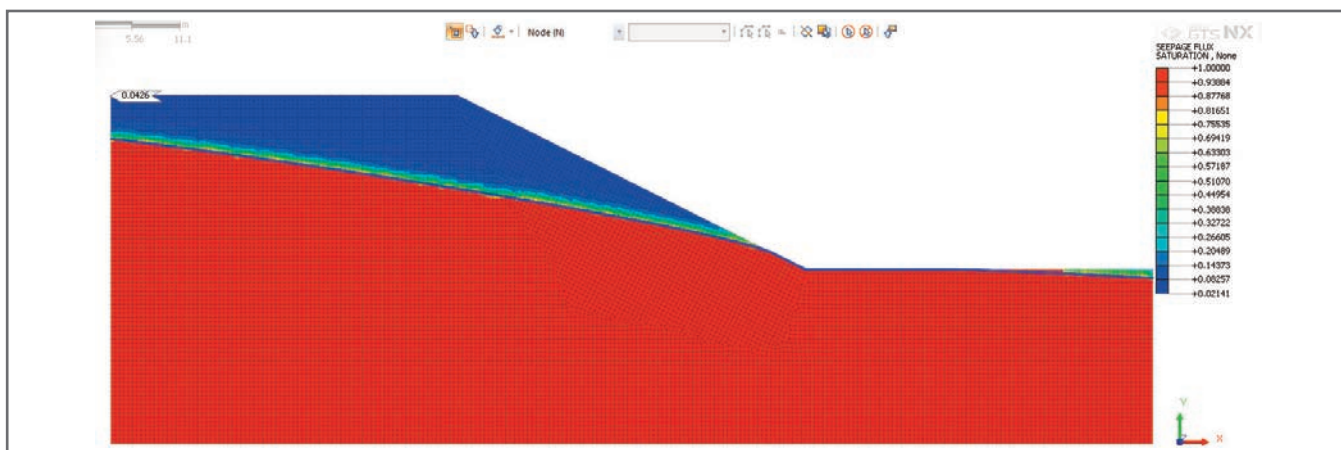


Рис. 23. Изополя коэффициента водонасыщения для начальной стадии фильтрации при ее установившемся режиме с учетом свойств грунта в неводонасыщенной области

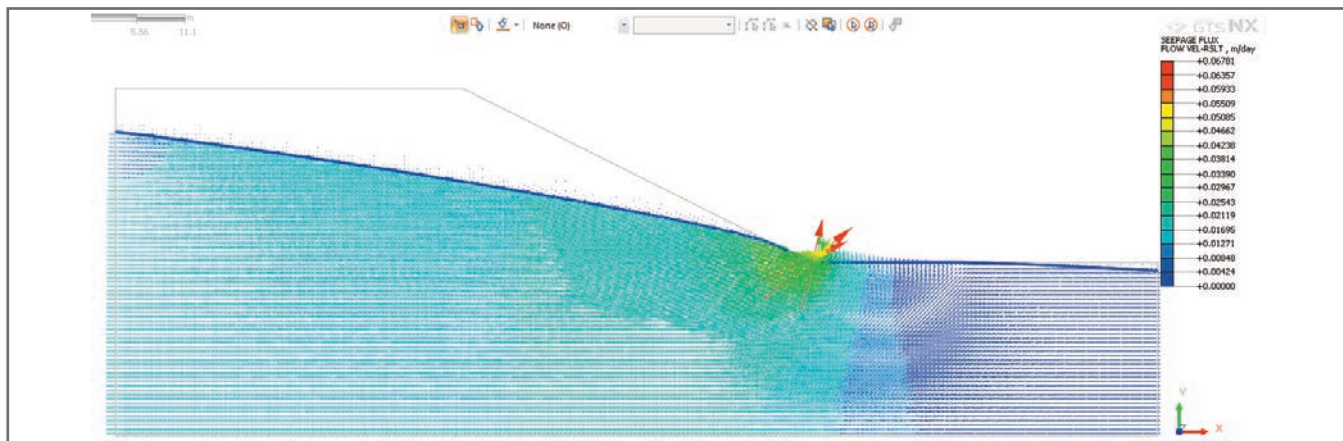


Рис. 24. Векторы результирующих скоростей фильтрационного потока для начальной стадии фильтрации при ее установившемся режиме с учетом свойств грунта в неводонасыщенной области

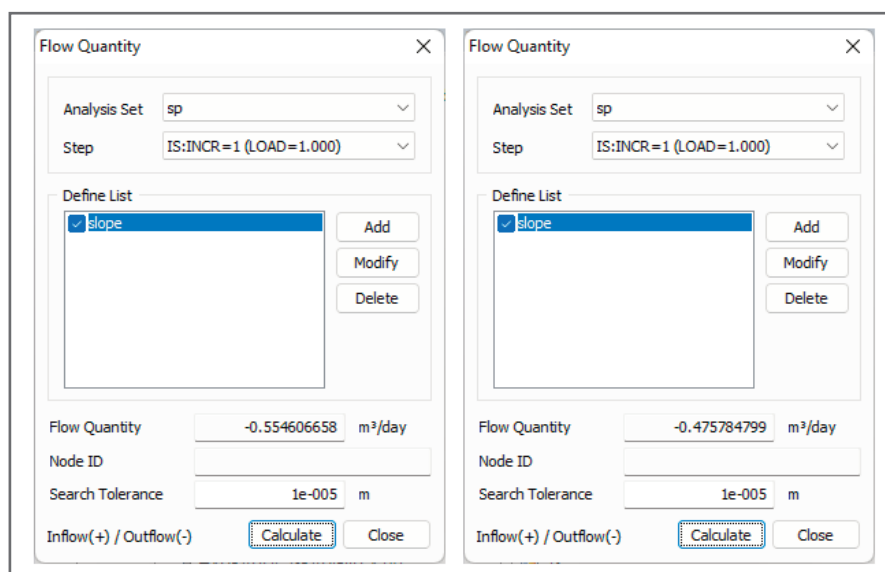


Рис. 25. Сопоставление расчетных расходов грунтовой воды, которая протекает через сечение, проходящее через подошву склона, куб. м/сут (Flow Quantity): слева – без учета свойств грунта в неводонасыщенной области, справа – с учетом

дуг справедливы и для случая нестационарной фильтрации.

## ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ►

Учет или неучет свойств грунта в неводонасыщенной области (Unsaturated Property) сказывается на результатах расчетов следующим образом.

1. Учет свойств грунта в неводонасыщенной области **не влияет** на положение

кривой депрессии в задаче установившейся фильтрации. Если требуется только оценить положение кривой депрессии и получить величину порового давления воды, то в этом случае свойства грунта можно не учитывать.

2. Учет свойств грунта в неводонасыщенной области **влияет** на положение кривой депрессии в задаче неустановившейся фильтрации. Чтобы учесть дви-

жение воды в массиве грунта во времени, в этом случае учет свойств грунта обязателен.

3. Без учета свойств грунта в неводонасыщенной области коэффициент водонасыщения ниже кривой депрессии равен единице, то есть грунт считается полностью водонасыщенным, а выше этой кривой он равен нулю, то есть грунт считается полностью сухим. В случае учета свойств грунта в неводонасыщенной области коэффициент водонасыщения ниже кривой депрессии равен единице, то есть грунт считается полностью водонасыщенным, а выше этой кривой данный коэффициент вычисляется исходя из значений объемного содержания воды (объемной влажности).

4. Без учета свойств грунта в неводонасыщенной области значение объемной влажности по всей расчетной области выше и ниже кривой депрессии одинаковое и вычисляется по значению коэффициента пористости. В случае учета свойств грунта в неводонасыщенной области значения объемной влажности принимаются по графику зависимости «объемная влажность – отрицательное поровое давление» (Water Content – Negative Pore Pressure Head).

5. Без учета свойств грунта в неводонасыщенной области имеет место движение воды выше кривой депрессии,

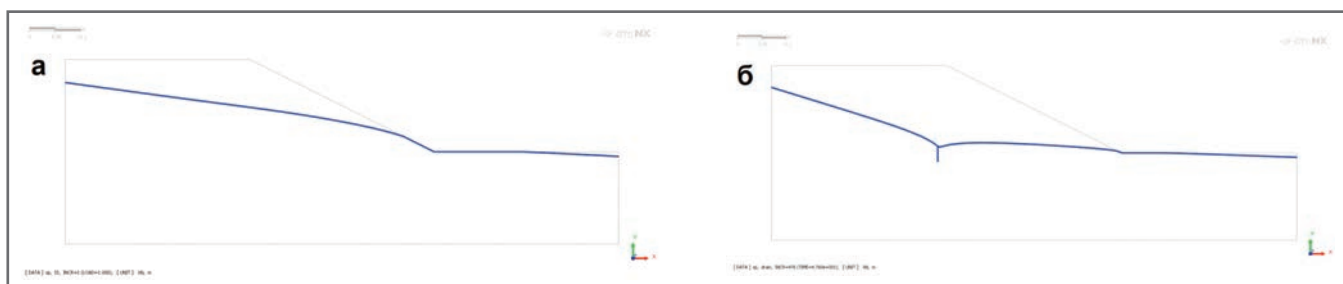


Рис. 26. Изменение положения кривой депрессии при нестационарной фильтрации за 50 суток без учета свойств слагающего склон грунта в неводонасыщенной области



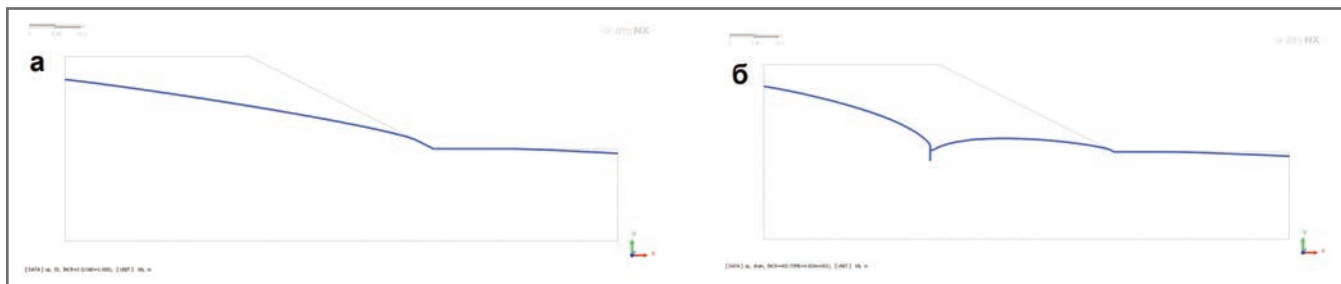


Рис. 27. Изменение положения кривой депрессии при нестационарной фильтрации за 50 суток с учетом свойств слагающего склон грунта в неводонасыщенной области

что приводит к погрешности при оценке объема притока/оттока в рамках выполнения фильтрационного расчета.

Результаты фильтрационных расчетов могут быть перенесены в расчеты напряженно-деформированного состояния, устойчивости (то есть могут выполняться совмещенные вычисления). Поэтому фильтрационные расчеты должны быть выполнены корректно,

для чего необходимо задать свойства грунта в неводонасыщенной области.

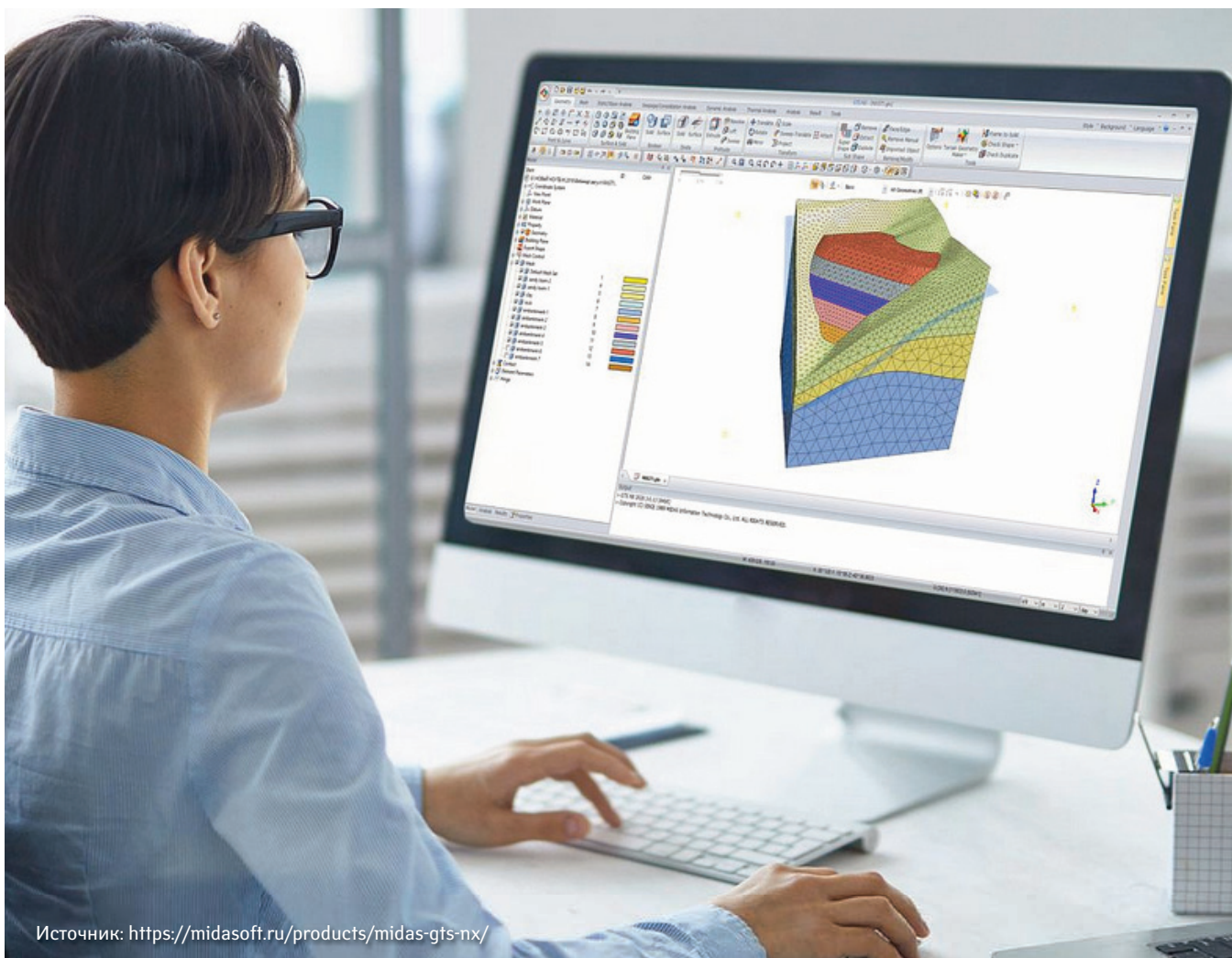
Свойства грунта в неводонасыщенной области часто необходимо учитывать и для решения задач консолидации.

Для анализа состояния и поведения грунта и влияния на него содержания и движения воды хорошо подходят расчетные комплексы midas GTS NX и midas FEA NX. Они обладают универсаль-

ными средствами и инструментами, имеющими множество настроек и режимов, выбор которых (и их сочетаний) определяет пользователь в зависимости от поставленных целей. При задании свойств грунта в неводонасыщенной области (Unsaturated Property) можно более достоверно оценить и учесть поведение слагающего грунтовый массив материала. **и**

#### Источник ►

1. Механика грунтов насыщенной и неводонасыщенной области грунта // Midasoft.ru.
2. <https://midasoft.ru/blog/rukovodstvo-po-mekhanike-gruntov/>



Источник: <https://midasoft.ru/products/midas-gts-nx/>



Заглавное фото: pixabay.com

# ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТОВ ЛИКВИДАЦИИ ОБЪЕКТОВ НАКОПЛЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВРЕДА

**ВЛАДИМИР ОЛЕГОВИЧ БЫСТРОВ**

Главный специалист отдела охраны окружающей среды Управления экологической экспертизы Главгосэкспертизы России

В настоящее время, в соответствии с целями национального проекта «Экология», активно проводятся работы по ликвидации объектов накопленного экологического вреда и несанкционированных свалок, а также по их рекультивации. Эта работа имеет свои особенности, требующие широкого обсуждения.

Републикация материала, опубликованного в журнале «Вестник государственной экспертизы» №2/2022.

**Н**ачнем с термина «рекультивация свалки/полигона ТКО», который часто используется применительно к подобным объектам, а также с Правил проведения рекультивации и консервации земель, утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации от 10 июля 2018 год №800 (далее – Правила рекультивации). На основе комплексного толкования норм Земельного кодекса Российской Федерации от 25 октября 2001 года №136-ФЗ; Единых требований к объектам обработки, утилизации, обезвреживания, размещения твердых коммунальных отходов, утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации от 12 октября 2020 года №1657; Правил рекультивации, использование термина «рекультивация» применительно к полигонам и свалкам отходов возможно в случае удаления с территории объекта всего объема отходов на лицензированные полигоны и последующего восстановления нарушенных земель – их рекультивации. В остальных случаях, предусматривающих консервацию отходов в месте их размещения, следует оперировать понятиями «вывод из эксплуатации» и «ликвидация» (п.п. 33-36 Единых требований к объектам обработки, утилизации, обезвреживания, размещения твердых коммунальных отходов, утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации от 12 октября 2020 года №1657).

В первом случае («рекультивация») разработка проектной документации в соответствии с требованиями Положения о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 16 февраля 2008 года №87, не требуется. Во втором случае («вывод из эксплуатации» и «ликвидация»), как правило (в зависимости от проектных решений), разрабатывается проектная документация и проводится государственная экспертиза.

В Главгосэкспертизу России подобные проекты начали поступать с середины 2019 года и практически сразу обратили на себя внимание из-за необычайно высокой стоимости реализации строительных работ, а также наличия целого ряда предусматриваемых проектировщиками избыточных технических решений, материалов и оборудования. Они тоже вели к значительному удорожанию работ. Целесообразность применения многих из таких решений,

по мнению экспертов Главгосэкспертизы, отсутствует, а отказ от их применения не скажется на безопасности сооружений (как экологической, так и технической). Позже выяснилось, что такие решения характерны для всех подобных объектов, финансируемых за счет средств федерального бюджета.

При этом подобные решения, как правило, не применяются во время реализации других аналогичных объектов, финансируемых без привлечения бюджетных средств, по которым Главгосэкспертиза выдавала ранее и выдает в настоящее время положительные заключения.

#### *Речь идет о следующих решениях:*

В проектной документации находит широкое применение использование многослойных геосинтетических экранов в верхнем изоляционном покрытии, предусматривающих: укладку дублирующих друг друга слоев гидроизолирующих материалов (бентомат и геомембрана); укладку армирующих георешеток; укладку противозрозионных геоматов; укладку гидроматов вместо использования природных минеральных материалов (дренажный мат (гидромат) вместо слоя песка (мелкого гравия)).

Типовые откосы полигонов (свалок), заложенные с соотношением сторон 1:4-1:3, являются устойчивыми и не требуют дополнительного укрепления армирующими материалами (дорожные георешетки, геосетки, геоматы).

Средняя стоимость избыточных слоев изоляционных экранов составляет порядка 20-25% от стоимости объекта. К примеру, общая стоимость изоляционного экрана на полигоне площадью 19 га составила 961 млн рублей, из них только 471 млн рублей можно признать обоснованными расходами. Только по одной позиции сметного расчета конкретного объекта экономия бюджетных средств могла бы составить более 490 млн рублей.

2. Другим примером необоснованного расходования бюджетных средств является строительство очистных сооружений ливневого стока с территорий изолированных (перекрытых мембраной) свалок (объектов накопленного вреда), на поверхности которых после завершения рекультивации должны отсутствовать какие-либо загрязнители или источники воздействия.

Вполне можно допустить, что через какое-то время после завершения ликвидации объекта в силу как естественных (смыва взвешенных частиц грунта),



Владимир Олегович Быстров

так и антропогенных причин (нарушения технологии производства работ - разлива ГСМ и др.) ливневой сток может содержать загрязнители. Это же предположение справедливо будет отнести и к любому другому земельному участку, территория которого рекультивируется после завершения производства работ. Разница только в том, что в одном случае ливневой сток считается естественным и не очищается, а в другом тратятся значительные средства на очистку практически незагрязненного стока.

Для контраста здесь можно привести пример со стоком с автомагистралей. В том, что этот сток значительно и постоянно загрязнен, ни у кого не вызывает сомнений. Но при этом он повсеместно (за исключением водоохранных зон, и то не везде) отводится с дорог без какой-либо очистки.

Средняя стоимость данных решений на ликвидируемых полигонах составляет около 10-20% (в зависимости от выбранного проектировщиком перечня загрязняющих веществ, по которым требуется очистка) от стоимости объекта. К примеру, на одном из рассмотренных объектов для очистки ливневого стока с ликвидируемого полигона площадью 55 га были заложены ЛОС производительностью 200 м³/час стоимостью 270 млн рублей и постоянными эксплуатационными расходами 3 млн рублей в год.

Эколого-экономически обоснованным является отведение ливневого стока без очистки с территорий изолированных (перекрытых мембраной) свалок (объектов накопленного вреда) в пониженные места – с учетом рельефа



местности при соблюдении мероприятий по защите от водной эрозии.

Еще одним спорным решением является разработка мероприятий по изоляции свалочных масс на месте их размещения вместо вывоза на существующие полигоны. Прежде всего это касается малых объектов (несколько гектар) с незначительным количеством накопленных отходов (несколько тысяч кубических метров) и сложными гидрогеологическими условиями.

К примеру, для ликвидации свалки площадью 3 га с объемом накопленных отходов 25 000 м<sup>3</sup> разрабатываются проектные решения со стоимостью реализации 240 млн рублей. Они включают в себя: выемку всего объема отходов на временную площадку, устройство многослойного противодиффузионного экрана в основании котлована с системой сбора фильтрата (по аналогии с строительством полигонов ТКО), обратное перемещение всего объема вынутых ранее отходов, устройство многослойного противодиффузионного экрана по аналогии с описанным в первом пункте данной статьи, устройство системы дегазации, строительство проездов, пожарных прудов и прочих сопутствующих сооружений.

При этом стоимость ликвидации этого же объекта путем вывоза отходов и последующей рекультивации земельного участка, по экспертной оценке, составила бы не более 50 млн руб., что практически в пять раз меньше заявленной стоимости работ.

4. Существует также ряд других примеров увеличения стоимости работ: строительство армогрунтовых подпорных стен по периметру полигона; избыточная перепланировка свалочного тела, в результате которойкратно увеличивается объем перемещаемых свалочных масс; применение некоторых видов технологий дегазации полигонов, стоимость которых на 30% превышает стоимость альтернативных; применение геосинтетических материалов и оборудования конкретных производителей, стоимость которых значительно превышает стоимость аналогов; применение сложных и дорогостоящих проектных решений на объектах, не представляющих значимой экологической опасности.

Приведу показательный пример.

Для обезвреживания (сжигания) накопленных на земельном участке нефтезагрязненных грунтов и нефтешламов 4-5 классов опасности общим объемом 7 000 м<sup>3</sup> проектом предусмотрено строительство на территории участка

завода по обезвреживанию отходов. Планируется, что он будет состоять из двух установок общей стоимостью 730 млн рублей. При этом общая продолжительность эксплуатации установок составит два года (полгода работает установка для жидких отходов и полтора года – установка для твердых отходов). Срок эксплуатации данных установок, согласно паспорту оборудования, составляет 12 000 часов. По мнению авторов проекта, оборудование полностью выработает свой ресурс за период его эксплуатации в рамках рассматриваемого проекта.

Учитывая незначительный объем нефтезагрязненных отходов (7000 м<sup>3</sup>), экономически целесообразным представляется вариант передачи данных отходов лицензированным организациям для обезвреживания или размещения. По экспертной оценке, проведенной специалистами Главгосэкспертизы, ориентировочная стоимость работ при условии вывоза отходов на существующие в районе объекты размещения/обезвреживания отходов с учетом дальнейшей рекультивации территории составит порядка 194 млн руб.

Также вызывает вопрос безальтернативности применения конкретных установок обезвреживания нефтезагрязненных грунтов, имеющих ограниченный срок службы (12 000 часов) и высокую стоимость (730 млн рублей). А ведь стоимость аналогов таких установок ниже в 4-15 раз, а срок службы гораздо больше (не менее 10 лет). По экспертной оценке, в результате применения альтернативного оборудования возможно оптимизировать сметную стоимость более чем в два раза (на 600 млн рублей).

Несмотря на фиксируемые экспертами завышения сметной стоимости работ, Главгосэкспертиза не обладает юридическими основаниями для выдачи отрицательных заключений по данным объектам. Причины этого такие:

- технические решения, обоснованность которых у экспертизы вызывает вопросы, зачастую закрепляются Заказчиком (а он одновременно является государственным распорядителем бюджетных средств) в задании на проектирование. Ему государственная экспертиза должна, в том числе, устанавливать соответствие проектных решений (п. 1 ч. 5 ст. 49 Градостроительного кодекса Российской Федерации от 29 декабря 2004 года №190-ФЗ). Внесение изменений в Задание на проектирование осуществляется, несмотря на прямые предупреждения Заказчиков о том, что это

приведет к необоснованному удорожанию работ;

- в действующих нормативных правовых актах отсутствуют основания для исключения из проекта избыточных технических решений;

- применение технических решений подтверждено заключением государственной экологической экспертизы, к чему апеллируют проектировщики всякий раз, когда заходит речь об исключении из проекта того или иного решения.

Стоит отметить, что Главгосэкспертиза России принимает участие в решении этой проблемы. В адрес Минприроды России было направлено информационное письмо с описанием фактов и способов завышения стоимости работ по ликвидации объектов накопленного экологического вреда и несанкционированных свалок. Также было предложено принять непосредственное участие в разработке рекомендаций по типовым технологическим решениям, материалам и оборудованию, применяемым для проведения работ по ликвидации свалок и наиболее опасных объектов накопленного вреда окружающей среде. Кроме того, с середины 2021 года Главгосэкспертиза стала в инициативном порядке уведомлять Минприроды России, как орган ответственный за реализацию национального проекта «Экология», о неэффективности капитальных вложений и расчетной стоимости (в процентах) избыточных технических решений по каждому из объектов, получившему положительное заключение.

Хотелось бы еще раз отметить, что приведенные в этой статье примеры не являются частными случаями одного объекта. В том или ином виде они характерны практически для всех рассмотренных Главгосэкспертизы проектов, реализуемых в рамках национального проекта «Экология», начиная с 2019 года.

Согласно проведенному анализу в среднем стоимость избыточных проектных решений составляет 35-50% от стоимости объекта. А в некоторых случаях – и выше. Стоимость избыточных технических решений в рамках одного проекта может варьировать от нескольких десятков до нескольких сотен миллионов рублей. В некоторых случаях эта цифра может превышать миллиард рублей. При этом наблюдается ситуация, когда проектировщик и Заказчик нацелены не на поиск оптимального решения, а на поиск правовых обоснований принятого неоптимального более дорогого варианта.

Известно, что в настоящее время рядом профильных организаций разрабатываются типовые конструктивные и технологические решения по ликвидации полигонов, которые, как мы надеемся, в ближайшей перспективе позволят ликвидировать имеющийся правовой вакуум, используемый проектировщиками и Заказчиками данных работ. Считаем также необходимым усилить ответственность государственных распорядителей бюджетных средств в регионах за выполняемые работы, за предъявляемые ими требования к проектированию (зачастую избыточные), а также

за поиск экономически оправданных решений.

Что же касается объектов с избыточными решениями, по которым государственные экспертизы уже завершены, а работы еще не реализованы или реализованы частично, то считаем, что при наличии соответствующих указаний (решений) Заказчики работ в рамках процедуры «экспертного сопровождения», проводимой Главгосэкспертизой, могут оперативно откорректировать проектные решения и их сметную стоимость. При этом они должны исходить из соблюдения требований не только экологической и технологиче-

ской безопасности объекта, но и экономической целесообразности. 

Данная статья из журнала «Вестник государственной экспертизы» (№2/2022) публикуется в рамках информационного сотрудничества журнала «ГеоИнфо» и Главгосэкспертизы России. С 2019 года «Вестник» доступен только по подписке. Получить всю подробную информацию и подписаться на журнал «Вестник государственной экспертизы» можно <https://vestnik.gge.ru/#catalog>.

## Telegram-канал журнала

Независимый электронный журнал  
**ГеоИнфо**

- Новости
- Статьи
- Обсуждения



Автор фото: Аптикаева Г.Ф.

## ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОТЧЕТНОСТИ

**ЛАВРЕНТЮК  
ВАЛЕНТИНА ВЛАДИМИРОВНА**

Руководитель отдела проектирования  
и консалтинга ООО «Искра. Эксперт»,  
г. Владивосток

Предлагаем вниманию читателей статью об экологической отчетности предприятий. Основные виды деятельности компании «Искра. Эксперт» относятся к сферам инженерных изысканий, инженерно-технического и экологического проектирования, управления архитектурно-строительными проектами, выполнения строительного контроля и авторского надзора. В том числе фирма предоставляет технические консультации в этих областях. Среди дополнительных видов ее деятельности – мониторинг загрязнения окружающей среды. В представленной статье В. Лаврентюк привела необходимые сведения, а также ответы на часто задаваемые вопросы заинтересованных лиц, связанные с экологической отчетностью, которые важно знать в том числе компаниям и организациям, работающим в изыскательской и строительной сферах, что на сегодняшний день весьма актуально для Владивостока и других российских городов, в которых ведется активное строительство.



**ВВЕДЕНИЕ ►**

Столица Приморского края Владивосток, основанный еще в 1860 году, играет сегодня огромную роль в развитии России. Там сходятся воздушные, наземные и морские пути. Этот город востребован и в экономическом, и в социальном, и в туристическом плане.

Однако к настоящему времени численность населения города уменьшилась с момента развала СССР (1991 г.) с 648 тысяч до 604 тысяч человек. И все же жилья там остро не хватает в том числе из-за ветхости старых домов и нежелания людей жить в общежитиях и квартирах гостиничного типа, строившихся для моряков в советские времена, а также в коммунальных квартирах. Большие проблемы имеются и с отсутствием грамотного благоустройства территории города, с плохой дорожной инфраструктурой без ливневой канализации, с нехваткой детских садов, школ, транспортных линий, парковок, спортивных сооружений, линий электропередачи, электрических подстанций, газопроводов и т. д.

Поэтому внесены изменения в генплан Владивостока в соответствии с Градостроительным кодексом, правилами землепользования и застройки, другими федеральными нормативно-правовыми документами, а также с учетом необходимости создания условий для устойчивого развития до 2036 года, к которому, по расчетам, население города должно вырасти до 845 тысяч человек. А разработчики стратегии «Владивосток – 2050» собираются способствовать увеличению численности его населения до 2,5 миллионов за счет строительства жилья, создания комфортной городской среды и пр. Стратегия развития Владивостока должна быть направлена на его превращение в еще более крупный морской порт, промышленный, административный, культурный, научно-образовательный и туристический центр Дальнего Востока, а также в центр международного сотрудничества России со странами Азиатско-Тихоокеанского региона.

Однако Владивосток, расположенный на сопках вытянутого полуострова, – не очень благоприятная в отношении рельефа зона для строительства, особенно высотного. Тем не менее в последнее время там активно идет строительство жилых домов и прочих объектов инфраструктуры для местных жителей и туристов, а также ведется реконструкция исторических зданий. Даже несмотря на кризисную ситуацию в экономике и других сферах темпы строительства в столице Приморского края не сбавляют

обороты. В том числе ведется коммерчески выгодное «втискивание» новых многоэтажных и высотных домов среди уже существующей застройки, несмотря на сейсмическую опасность.

Против такой точечной застройки активно возражают жители Владивостока, которые хотят жить в комфортной и экологичной городской среде с детскими площадками, скверами, бульварами, парками, зонами отдыха, рекреационными зонами. В том числе предлагают увеличивать жилищный фонд за счет более дешевой и безопасной малоэтажной застройки в северо-восточной части города и на островах, причем с сохранением лесов и лесопарков.

В этой связи важно отметить, что все организации, работающие в России, вне зависимости от их формы собственности и сферы деятельности, обязаны регулярно и вовремя сдавать отчеты по экологии в Росприроднадзор, иначе они подвергаются штрафам и внеплановым проверкам. Эта так называемая экологическая отчетность регулируется рядом нормативно-правовых документов.

Несомненно, это касается и строительной отрасли, что на сегодняшний день весьма актуально для Владивостока и других российских городов, в которых ведется активное строительство. Поэтому далее в настоящей статье, написанной на основе опыта работы отдела проектирования и консалтинга владивостокского ООО «Искра. Эксперт», приводятся необходимые сведения, а также ответы на часто задаваемые вопросы заинтересованных лиц, связанные с экологической отчетностью,

**ЗАЧЕМ СДАВАТЬ ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ ОТЧЕТНОСТЬ? ►**

Экологическая отчетность необходима для защиты окружающей среды от нарушений, вызванных негативным воздействием хозяйственной и производственной деятельности предприятий. В ней прежде всего содержится информация:

- о негативном воздействии на воздух, об объемах и количестве выбрасываемых в атмосферу загрязняющих веществ;
- о негативном воздействии на водные объекты, об объемах и количестве сбросов в них загрязняющих (вредных) веществ;
- о количествах образующихся, хранящихся, размещаемых (захораниваемых) отходов I–V классов опасности.

Каждый отчет по экологии является обязательным документом, и за своевременное и достоверное предоставление сведений предприятия несут ответственность.

Неправильно оформленные отчеты, их несдача, неоплата за загрязнение окружающей среды влекут за собой крупные штрафы и даже приостановку деятельности предприятия сроком на 90 суток.

По итогам переданных в соответствующие органы отчетов осуществляется контроль соблюдения норм и принятия мер для защиты окружающей среды.

Также на основе переданных отчетов формируется бюджет региона, который будет направлен на улучшение экологической ситуации.

С 2002 года основные принципы охраны окружающей среды изложены в Федеральном законе от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды».

**НЕМНОГО ИСТОРИИ ►**

Основы научного подхода в области охраны природы были заложены в России во второй половине XIX века такими учеными, как А.И. Воейков, Д.Н. Анучин, В.В. Докучаев, И.П. Бородин.

В 1917 году В.П. Семёнов-Тян-Шанский представил на рассмотрение Природоохранительной комиссии Русского географического общества первый научно обоснованный проект географической сети заповедников России.

После революции в стране были созданы природоохранные комиссии, занимавшиеся координацией работ по охране природы на местном уровне.

В 1924 году было организовано Всероссийское общество охраны природы.

17 февраля 1925 года был принят Декрет Совета народных комиссаров Российской Советской Федеративной Социалистической Республики (правительства РСФСР в 1917–1946 гг.) «Об утверждении списка научных, музейных, художественных и по охране природы учреждений и обществ, находящихся в ведении Главного Управления научных и научно-художественных учреждений Народного Комиссариата Просвещения РСФСР».

Новый период активизации природоохранной деятельности пришелся на 1960–1980-е годы.

В 1960 году был принят Закон РСФСР от 27.11.1960 «Об охране природы в РСФСР».

В 1970 году вышли Земельный кодекс РСФСР (от 01.12.1970) и Постановление Центрального комитета Коммунистической партии Советского Союза и Совета Министров СССР от 29.12.1972 № 898 «Об усилении охраны природы и улучшении использования природных ресурсов».

В Конституцию СССР 1977 года вошла статья об охране природы, в которой в отличие от предыдущих редакций было написано: «Граждане СССР обязаны беречь природу, охранять ее богатства».

В августе 1978 года был утвержден Лесной кодекс РСФСР, а также вышло в свет первое издание «Красной книги СССР», где содержались сведения о редких и исчезающих видах животных и растений, встречающихся на территории Советского Союза (выпуск книги приурочили к открытию проходившей в Ашхабаде XIV Генеральной ассамблеи Международного союза охраны природы).

В 1983 году была опубликована «Красная книга РСФСР». В 1984 году вышло второе издание «Красной книги СССР», существенно расширенное.

В 1991 году появился Закон РСФСР от 19.12.1991 № 2060-1 «Об охране окружающей природной среды».

В 2001 году вышла «Красная книга Российской Федерации», за научную основу которой была принята «Красная книга РСФСР» 1983 года. В нее были включены редкие и исчезающие животные, растения и грибы, обитающие (постоянно или временно) в пределах РФ и нуждающиеся в специальных государственно-правовых действиях.

В 2002 году были установлены правовые основы природоохранной деятельности Федеральным законом от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды».

В июне 2016 года было объявлено о создании Региональной природоохранной прокуратуры на Дальнем Востоке для соответствующего надзора на территориях Приамурья, Приморья и Хабаровского края.

С 2004 по 2010 год всю экологическую отчетность в РФ сдавали в Федеральную службу по экологическому, технологическому и атомному надзору, а с 2010 года – в Федеральную службу по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзор).

## ВИДЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОТЧЕТНОСТИ ►

### Отчетность по формам государственного статистического наблюдения (разг. – «статистика») ►

#### Атмосферный воздух (выбросы в атмосферу)

В форме 2-тп (воздух) отражаются сведения об охране атмосферного воздуха (о конкретных веществах и их

объемах, об источниках выбросов, о предпринимаемых мерах по уменьшению выбросов). Под сдачу такого отчета попадают, например, такие производственные процессы, как сжигание топлива, ручная сварка, использование синтетических чистящих средств и т. д., если имеются стационарные источники выбросов с объемом загрязняющих веществ более 10 т/год и от 5 до 10 т/год, если выбросы содержат вещества I или II классов опасности.

#### Отходы (обращение с отходами I–V классов опасности)

В форме 2-тп (отходы) отражается информация об образовании, обработке, утилизации, обезвреживании, размещении отходов производства и потребления. Такой отчет сдают любые организации и предприятия, в результате деятельности которых образуются отходы (офисы, магазины, рынки, торговые центры, промышленные предприятия и др.) или которые ведут деятельность в области обращения с отходами (операторы по обращению с твердыми коммунальными отходами и др.).

#### Вода (использование воды)

В форме 2-тп (водхоз) отражаются сведения об использовании воды при заборе (изъятии) ее из водного объекта, о ее сбросе (водоотведении) в водный объект, о системах оборотного водоснабжения. Любые предприятия, которые осуществляют вышеперечисленные действия с водой, обязаны сдавать данную форму отчета.

#### Водные биологические ресурсы

В форме 5-ОС отражаются сведения об искусственном воспроизводстве водных биологических ресурсов. Эту форму отчета обязаны сдавать любые предприятия, которые осуществляют искусственное воспроизводство водных биоресурсов:

- на основании договоров, заключенных с Росрыболовством;
- в целях компенсации ущерба, нанесенного водным биоресурсам и среде их обитания и т. д.

#### Земля (рекультивации земель, снятие и использование плодородного слоя почвы)

В форме 2-ТП (рекультивация) отражается информация о нарушении и рекультивации земель, о снятии и использовании плодородного слоя почвы. Любые предприятия, разрабатывающие месторождения полезных ископаемых,

осуществляющие строительные, мелиоративные, лесозаготовительные, изыскательские работы, а также размещение промышленных, строительных и твердых бытовых отходов, должны сдавать эту форму отчета.

#### Затраты на меры для защиты окружающей среды

В форме 4-ОС отражается информация о текущих затратах на охрану окружающей среды. Заполняют эту форму только те предприятия, у которых затраты природоохранного назначения составляют более 100 тысяч рублей в год.

#### Недра (питьевые и технические подземные воды)

В форме 4-ЛС отражается информация о выполнении условий пользования недрами при добыче питьевых и технических подземных вод. Данную форму обязаны заполнять любые предприятия – пользователи недр, имеющие лицензии на геологическое изучение, разведку и разработку месторождений питьевых и технических подземных вод.

#### Декларация о плате за загрязнение окружающей среды ►

Организации и предприятия, чья деятельность ведется на объектах I, II или III категорий негативного воздействия на окружающую среду (НВОС) и на некатегорируемых объектах НВОС, обязаны вносить плату за загрязнение окружающей среды и сдавать такой отчет, как декларация о плате за загрязнение окружающей среды. В этом отчете отражается негативное воздействие конкретного предприятия (образование вредных отходов и обращение с ними, выбросы загрязняющих (вредных) веществ в атмосферный воздух, сбросы загрязняющих веществ в водные объекты). По данному отчету формируется годовая картина негативных воздействий предприятия на атмосферу, воду, почву и подпочвенные грунты.

По сдаче этого отчета законодательством предусмотрены исключения.

Декларация о плате не сдается и плата не вносится для объектов IV категории НВОС (оказывающих минимальное негативное воздействие на окружающую среду).

Если юридические лица и индивидуальные предприниматели передают твердые коммунальные отходы (ТКО) региональному оператору по обращению с ТКО, то они не вносят плату за

размещение этих отходов – ее вносит принимающий их на размещение (на полигон) региональный оператор.

### **Отчет об организации и результатах производственного экологического контроля ▶**

*Отчет по производственному экологическому контролю (ПЭК)* – это отчет о контроле предприятием обращения с отходами, выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, сбросов сточных вод в водные объекты и о комплексе принимаемых мер по соблюдению природоохранных норм. Этот отчет сдают объекты I, II и III категорий НВОС.

### **Отчет для регионального кадастра отходов ▶**

*Отчет для регионального кадастра отходов* – это свод данных о происхождении, количестве, свойствах и классах опасности отходов, а также об объемах отходов, переданных другим организациям для обработки, утилизации, обезвреживания, хранения и захоронения.

Региональный кадастр отходов формирует Министерство природных ресурсов на основе данных, предоставленных в соответствующих отчетах объектами I, II, III и IV категорий НВОС.

От предоставления такой информации освобождены предприятия, в результате деятельности которых образуются только твердые коммунальные отходы.

### **Отчет по утилизации отходов ▶**

*Отчет по утилизации отходов* – это отчет о выполнении производителями и импортерами нормативов утилизации отходов от использования товаров, за которую они несут расширенную ответственность. Этот документ содержит сведения о производителе или импортере, информацию о товарах и их упаковках, подлежащих утилизации после утраты ими потребительских свойств. Его сдают производители и импортеры по группам товаров и упаковок.

От уплаты экосбора и сдачи отчетности освобождаются:

- производители упаковки, реализующие ее другим производителям для упаковки их продукции (например, завод, который продал бумажные пакеты кондитерской);
- производители и импортеры упаковки, которая впоследствии используется для собственных нужд (например, завод, который производит или импортирует коробки, чтобы транспортировать в них детали из одного цеха в другой);

- экспортеры товаров и упаковки.

Компании, которые самостоятельно утилизируют свои товары и упаковку в объемах не менее предусмотренных на отчетный год, освобождены только от уплаты экосбора, однако не освобождаются от сдачи отчета по экосбору.

### **ОТВЕТЫ НА ЧАСТО ЗАДАВАЕМЫЕ ВОПРОСЫ ▶**

#### **В какой орган надо сдавать экологические отчеты? ▶**

• *Отчеты по формам государственного статистического наблюдения («статистику»)* сдают в территориальный орган государственной статистики, межрегиональное управление Росприроднадзора, территориальное подразделение Роснедр, территориальный отдел водных ресурсов.

• *Декларацию о плате за загрязнение окружающей среды* – в межрегиональное управление Росприроднадзора.

• *Отчет по производственному экологическому контролю (ПЭК)* – в межрегиональное управление Росприроднадзора, территориальное управление Министерства природных ресурсов и экологии (Минприроды).

• *Отчет для регионального кадастра отходов* – в территориальное управление Минприроды.

• *Отчет по утилизации отходов* – в межрегиональное управление Росприроднадзора, в центральный аппарат Росприроднадзора.

#### **Как и в каком виде сдаются отчеты? ▶**

С 01.01.2022 все отчеты предоставляются в форме электронных документов, подписанных усиленной квалифицированной электронной подписью (УКЭП). Формирование и прием отчетов осуществляются в личном кабинете природопользователя.

#### **Как часто необходимо сдавать отчеты? ▶**

Отчеты сдаются в соответствующий контролирующий орган ежегодно не позднее установленной даты года, следующего за отчетным (предельного срока, который согласно регламентирующим документам устанавливается для каждой формы отчетов).

#### **Кто проверяет, сдан отчет или нет? ▶**

Проверяет соответствующий надзорный орган, когда проходит срок сдачи отчета. Есть определенное время на про-

верку. Если отчет не сдан, то природопользователю придет уведомление о вывозе его на комиссию для административного расследования в целях определения нарушения и ответственности.

### **Что выгоднее для природопользователя – единоразово заказать подготовку отчета или заключить годовой договор на консалтинг? ▶**

Для малого бизнеса (например, если у организации имеется только офис) выгоднее единоразово заказать составление отчета. А если природопользователь осуществляет производственную деятельность (с воздействием на атмосферный воздух, водные объекты, почву, подпочвенные грунты, грунтовые воды) и ему необходима правовая экологическая поддержка, то ему лучше заключить договор на годовое оказание консультационных услуг.

### **Какие бывают самые интересные отчеты в практике отдела проектирования и консалтинга ООО «Искра. Эксперт»? ▶**

Сложные и в то же время интересные отчеты бывают у предприятий по захоронению отходов. Сложность здесь заключается в том, что в их отчетах необходимо отразить всю цепочку по обращению с отходами, а для этого нужно собрать и проанализировать документы по каждому приему отходов от юридических и физических лиц (вычислить массу и объем отходов, отнести к соответствующему наименованию по федеральному классификационному каталогу отходов (ФККО), перевести в нужные единицы измерения объема и суммировать). Размер подобного отчета может достигать 100 страниц.

Один такой заказчик находится в ООО «Искра. Эксперт» на ежегодном консалтинговом сопровождении и регулярно получает помощь в сборе и сопоставлении всей информации о его негативном воздействии на окружающую среду, а также по соблюдению всех норм и требований природоохранного законодательства.

### **Какого типа отчеты бывают самыми большими по содержанию? ▶**

Самые большие отчеты составляются для крупных предприятий, которые имеют множество источников выбросов загрязняющих веществ в окружающую



среду (в атмосферу, водные объекты, грунты), большой перечень видов отходов I–IV классов опасности, очистное оборудование. Любой отчет крупного предприятия является многостраничным.

**Какое количество отчетов составляется и подается в контролирующие органы отделом проектирования и консалтинга ООО «Искра. Эксперт»?** ►

В направлении «отчетность и консалтинг» отдела проектирования и консал-

тинга ООО «Искра. Эксперт» работают профессионалы своего дела, которые помогают заказчикам из Владивостока и других городов собирать нужные исходные данные для составления и своевременной сдачи отчетов любой сложности. В 2021 году за отчетный 2020 год командой было составлено и подано 1100 отчетов, а в 2022 году за отчетный 2021 год – уже в десять раз больше.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ ►

Автор надеется, что информация, приведенная в статье, будет полезной

для компаний, работающих в строительной отрасли, которая без должного контроля может оказывать сильное и разнообразное негативное воздействие на окружающую среду как во Владивостоке, так и в любом другом городе или более мелком населенном пункте, где ведется активное строительство, а также в местах отдельного возведения предприятий, транспортных сооружений и т. д. **И**

#### ИСТОЧНИКИ ►

1. 111bashni.ru/novosti/novoe-stroitelstvo-vo-vladivostoke-v-2020-godu.
2. abt.ru/news/ekologicheskaya-otchetnost-v-rosprirrodnadzor/.
3. deita.ru/article/521377.
4. ecomagazine.ru/pro-otchetnost-na-predpriatii.html.
5. iskra.expert/news/tpost/otxti4fcr1-chitaite-nashu-pervuyu-statyu-v-tematich.
6. konkurent.ru/article/16360.
7. list-org.com/company/1315583.
8. oktmo.ru/stati/8529-arhitektura-vladivostoka.html.
9. primorsky.ru/news/245219/.
10. vc.ru/u/1119209-iskra-ekspert/382270-vse-pro-ekologicheskuyu-otchetnost-na-predpriatii.
11. vestiprim.ru/news/ptrnews/55129-novyy-genplan-vladivostoka-zaschitit-territorii-lesov-ot-zastroyki.html.
12. vladivostok.bezformata.com/listnews/vladivostoka-protiv-tochechnoy-zastroyki/97585037/.
13. vostok.today/39995-vlasti-vladivostoka-poobeschali-rost-naselenija-goroda-do-25-mln-chelovek-k-2050-godu.html#:~:text=30%20лет%20назад%2C%20в%201991,В%20минусе%2047%20129%20человек.
14. vostokmedia.com/article/general/02-05-2021/minus-lesa-plyus-parkovki-kak-vyglyadit-novyy-genplan-vladivostoka.

Telegram-канал журнала

Независимый электронный журнал  
**ГеоИнфо**

- Новости
- Статьи
- Обсуждения



Институт  
экологического  
проектирования  
и изысканий

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



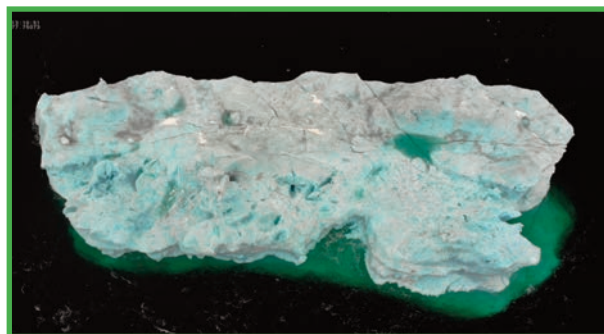
119234, г. Москва,  
Ленинские горы, д. 1, стр. 75Г  
Телефон: +7 (495) 930-8751  
E-mail: [info@iepi.ru](mailto:info@iepi.ru)

**WEB: [WWW.IEPI.RU](http://WWW.IEPI.RU)**



Институт  
экологического  
проектирования  
и изысканий

ИЭПИ зарегистрированный товарный знак







Автор фото: Аптикаева Г.Ф.

# ГОРОДА-ГУБКИ. УЧИМСЯ У ПРИРОДЫ

АНАЛИТИЧЕСКАЯ СЛУЖБА  
«ГЕОИНФО»  
[info@geoinfo.ru](mailto:info@geoinfo.ru)

«Город-губка» – это новая модель строительства или модернизации городов для борьбы с наводнениями и улучшения экологической инфраструктуры, предложенная в Китае в начале XX века, а теперь взятая на вооружение в очень многих мегаполисах мира. Конечно, ее элементы использовались при градостроительстве и раньше. Но полная реализация новой модели предполагает имитацию естественного круговорота воды в пределах целого города за счет устойчивой дренажной системы в масштабе всей его территории. Атмосферные осадки в такой системе не сбрасываются в водные объекты через ливневую канализацию, а на большой площади захватываются «губчатыми телами» – почвой, растениями и городскими водоемами, которые потом отдают эту воду за счет испарения в жаркую погоду и охлаждают воздух. Часть дождевой воды по возможности накапливается, сохраняется, очищается и используется для городских нужд. Предлагаем читателям ознакомиться с кратким обзором на эту тему из доступных источников.





Рис. 1. Круговорот воды в природе [16]

В естественной среде дождевая вода впитывается почвой и всасывается растениями, попадает в водоемы, а затем испаряется и охлаждает воздух, поэтому люди так комфортно чувствуют себя в лесу или на зеленом берегу (рис. 1). Но в городах вода не может проникнуть через асфальт, бетон, сталь и стекло (рис. 2) и попадает в ливневую канализацию, откуда безвозвратно выводится в водные объекты, загрязняя их. Из-за этого во время сильных и продолжительных дождей (или активного снеготаяния) в городах случаются наводнения, а в сухую погоду особенно тяжело переносится жара (рис. 3). И это особенно актуально в условиях современных изменений климата с ростом температуры и количества осадков, когда имеющиеся системы ливневой канализации уже не справляются с потоками попадающей в них воды.

Поэтому профессор Пекинского университета Кунцзян Юй (Kongjian Yu) предложил вместо очень дорогого пере-



Рис. 2. «Серая» инфраструктура города [17]

устройства и расширения систем ливневой канализации строить новые или модернизировать существующие горо-

да или их районы таким образом, чтобы они начали функционировать «как губки».



Рис. 3. То наводнение, то засуха в Китае [4, 27]



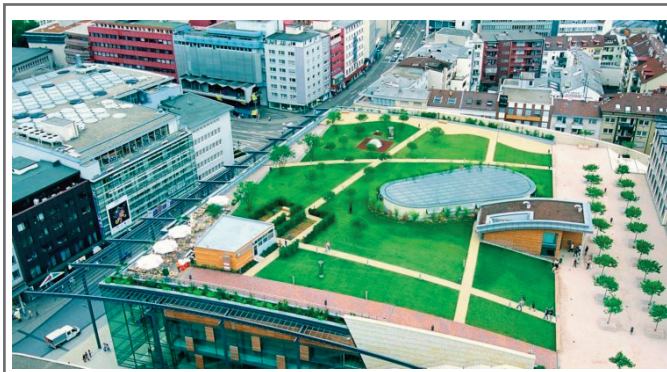


Рис. 4. Озелененные крыша и фасад в Германии [13, 14]



Рис. 5. «Парки-губки» в Шанхае и в провинции Хайнань (Китай) [18, 21]



Рис. 6. Дорожка, вымощенная дренажным бетоном [5]



Рис. 7. Дорожка, вымощенная водопроницаемым покрытием Porous Pave из переработанной старой резины, гранитного заполнителя и жидкого связующего [7]



Рис. 8. Дорожки, вымощенные водопроницаемым кирпичом [6]

Концепция «городов-губок» основана прежде всего на устойчивой дренажной системе за счет «зелено-голубой инфраструктуры», то есть на использовании ландшафтных решений – на создании и увеличении площадей и количеств таких биодренажных систем, как озелененные крыши и фасады зданий (рис. 4), дождевые сады вдоль дорог, газоны, скверы, бульвары, парки (рис. 5), а также на устройстве городских водоемов, искусственных водно-болотных угодий, фильтрационных бассейнов и т. д. Более того, могут создаваться водопроницаемые покрытия дорог и тротуаров (рис. 6–10).

При системном подходе все это поможет создать необходимый круговорот воды в масштабе всего города и решить его экологические проблемы – справиться с наводнениями, засухой, сильной жарой, нехваткой воды и загрязнением водоемов, а также увеличить биоразнообразие, количество и красоту природных ландшафтов в пределах мегаполисов.

Методы поглощения, фильтрации, хранения и очистки дождевой воды в «городе-губке» позволяют не выводить ее за пределы города через ливневую канализацию, а полностью использовать для создания условий, комфортных для

проживания, работы и отдыха. Это помогает избегать наводнений во время сильных дождей и при этом сохранять влагу, которая будет испаряться и охлаждать воздух при жаркой погоде. Кроме того, можно собирать, накапливать и очищать дождевую воду (например, в подземных резервуарах, рис. 11), чтобы затем использовать ее для орошения в сухую погоду, для технических и бытовых нужд и т. д. Но все же в «городах-губках» не придется строить такие гигантские и безумно дорогие противопаводковые коллекторы, спасающие города в сезоны дождей и тайфунов, как, например, в Японии (рис. 12)



Таким образом, основные цели превращения городов в гигантские «губки» – это смягчение экстремальных погодных условий и предотвращение связанных с ними стихийных бедствий.

Активнее всего модели «городов-губок» развивают в Китае и Германии, но постепенно к этой технологии подключаются и в других странах (в США, Канаде, Перу, Австралии, Сингапуре, Кении, Бангладеш и пр.).

В столице Германии Берлине уже более 18 тысяч крыш и множество фасадов прекрасно озеленены. То же наблюдается и во многих других немецких городах (см. рис. 4).

В Китае концепцию «городов-губок» начали реализовывать с 2000 года, но наводнение в Пекине 21 июля 2012 года (когда погибло 79 человек, пострадало более 1,6 млн человек, было разрушено более 8,2 тыс. домов, эвакуировано почти 57 тыс. человек, а общий ущерб составил более 10 млрд юаней, или 1,6 млрд долларов США) побудило высшие власти вывести эту концепцию на уровень общенациональной политики. Китайский институт строительных стандартов и исследований создал стандартную систему проектирования и строительства «городов-губок». Началось с крупных пилотных проектов в 16 китайских городах в 2015 и 2016 годах. На них в сумме было выделено 12 млрд долларов. К 2030 году планируется превратить в «губки» 80% городских районов в мегаполисах с «повторным» использованием до 70% дождевой воды, на что в сумме уйдет 230 млрд долларов (на одну пятую – за счет государства, а в остальном – за счет средств от частных инвесторов). Сейчас эту технологию применяют уже более чем в 30 городах Китая, включая Шэньчжэнь, Тяньцзинь, Пекин, Ухань, Сямынь, Чунцин, Харбин, Линган, Шанхай и провинцию Хайнань (см. рис. 5, рис. 13).

Но даже тем мегаполисам, которые не испытывают слишком больших проблем от неблагоприятных изменений климата или резких изменений погодных условий, было бы полезно изучить и использовать на практике возможности природных экосистем сохранять температурный баланс и такой ценный ресурс, как дождевая вода, создавая полезную для городской экологии «синезеленую» инфраструктуру.

Кстати, старую часть Зеленоградского административного округа города Москвы, которая начала строиться еще в конце 1960-х годов, вполне можно бы-



Рис. 9. Дорожка, вымощенная тротуарной плиткой, уложенной на песок (вода проникает через стыки между плитками) [2]



Рис. 10. Дорожка, вымощенная водопроницаемой плиткой «ЛУЖИNET» [27]

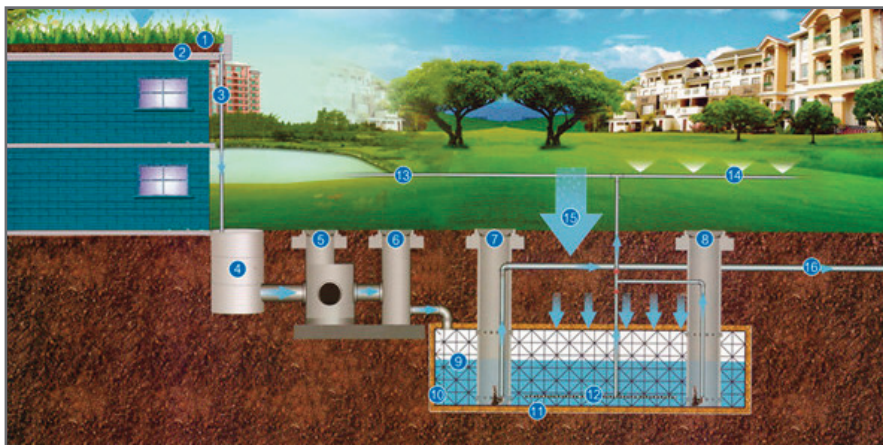


Рис. 11. Пример системы для сбора, хранения и использования дождевой воды [19]



Рис. 12. Крупнейший в мире подземный противопаводковый коллектор в японском городе Касукабе, представляющий собой гигантскую разветвленную систему тоннелей и резервуаров размером с восьмизатяжные дома для сбора воды во время разливов рек из-за сильных ливней и тайфунов с ее при последующей перекачкой в реку Эдо [20]

ло бы отнести к «городам-губкам». Это уникальный случай в истории советско-

го градостроительства. Здесь широко озелененные жилые кварталы, улицы,





Рис. 13. Город Санья на китайском острове Хайнань (автор фото: Аптикаева Г.Ф.)



Рис. 14. «Старый город» Зеленоградского административного округа города Москвы. Вид из окна жилого дома (автор фото: Аптикаева Г.Ф.)



Рис. 15. Благоустроенный для прогулок лес в самом центре «Старого города» Зеленоградского административного округа города Москвы. Вид из окна жилого дома (автор фото: Аптикаева Г.Ф.)

площади, фонтаны и предприятия перемежаются с рощами, лесами, прудами, озерами и ручьями.

При правильном выполнении инженерных изысканий для анализа участков, тщательном проектировании, от-

ветственном подборе растений и при биодренажные системы («губки») могут хорошо функционировать даже в районах с холодным климатом. Это принесет массу пользы для хорошего настроения и здоровья жителей. **И**

*Отметим, что в ближайшее время редакция журнала «Геоинфо» планирует опубликовать ряд переводных статей по поводу развития и практического применения концепции «городов-губок».*

## Источники ►

1. [argumenti.ru/zharkoye\\_iz\\_blogov/2021/09/738336](http://argumenti.ru/zharkoye_iz_blogov/2021/09/738336).
2. [bazilika-stroi.ru/pravila-ukladki-trotuarnoj-plitki/](http://bazilika-stroi.ru/pravila-ukladki-trotuarnoj-plitki/).
3. [bigpicture.ru/navodnenie-posle-zasuxi-v-kitae/](http://bigpicture.ru/navodnenie-posle-zasuxi-v-kitae/).
4. [bigpicture.ru/navodnenie-v-kitae/](http://bigpicture.ru/navodnenie-v-kitae/).
5. [build-experts.ru/preimuschestva-drenazhnogo-betona-dorozhek-osobennosti/](http://build-experts.ru/preimuschestva-drenazhnogo-betona-dorozhek-osobennosti/).
6. [building-tech.org/%D0%A1%D0%BE%D0%BE%D0%B1%D1%89%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE/kak-zashchityt-goroda-ot-navodneniy---%C2%ABgorod-kak-gubka%C2%BB](http://building-tech.org/%D0%A1%D0%BE%D0%BE%D0%B1%D1%89%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE/kak-zashchityt-goroda-ot-navodneniy---%C2%ABgorod-kak-gubka%C2%BB).
7. [econet.ru/articles/165069-razrabotana-tehnologiya-sozdaniya-dolgovechnogo-dorozhnogo-pokrytiya](http://econet.ru/articles/165069-razrabotana-tehnologiya-sozdaniya-dolgovechnogo-dorozhnogo-pokrytiya).
8. [econet.ru/articles/177697-goroda-gubki-budut-nalazhivat-mikroklimat-v-germanii-i-kitae](http://econet.ru/articles/177697-goroda-gubki-budut-nalazhivat-mikroklimat-v-germanii-i-kitae).
9. [ecosphere.press/2021/11/26/goroda-gubki-pomogut-borotsya-s-navodneniyami-i-zasuhami/](http://ecosphere.press/2021/11/26/goroda-gubki-pomogut-borotsya-s-navodneniyami-i-zasuhami/).
10. [en.wikipedia.org/wiki/July\\_2012\\_Beijing\\_flood](http://en.wikipedia.org/wiki/July_2012_Beijing_flood).
11. [en.wikipedia.org/wiki/Kongjian\\_Yu](http://en.wikipedia.org/wiki/Kongjian_Yu).
12. [en.wikipedia.org/wiki/Sponge\\_city](http://en.wikipedia.org/wiki/Sponge_city).
13. [engineering-ru.livejournal.com/531697.html](http://engineering-ru.livejournal.com/531697.html).
14. [hi-news.ru/technology/sponge-city-gorod-budushhego-kotoryj-zashhitit-ot-navodnenij-i-zhary.html](http://hi-news.ru/technology/sponge-city-gorod-budushhego-kotoryj-zashhitit-ot-navodnenij-i-zhary.html).
15. [kommersant.ru/doc/4141342](http://kommersant.ru/doc/4141342).
16. [o-nashey-planete.ru/gidrosfera-zemli-i-ee-osnovnye-chasti/](http://o-nashey-planete.ru/gidrosfera-zemli-i-ee-osnovnye-chasti/).
17. [pxhere.com/ru/photo/1410481](http://pxhere.com/ru/photo/1410481).
18. [ru.futuroprossimo.it/2021/09/citta-spugna-cosa-sono-come-funzionano-e-perche-ci-salveranno/](http://ru.futuroprossimo.it/2021/09/citta-spugna-cosa-sono-come-funzionano-e-perche-ci-salveranno/).
19. [ru.greening-solution.com/product/stormwater-storage-module-rainwater-harvesting-tank-system/](http://ru.greening-solution.com/product/stormwater-storage-module-rainwater-harvesting-tank-system/).
20. [ru.wikipedia.org/wiki/Токийский\\_противопаводковый\\_коллектор](http://ru.wikipedia.org/wiki/Токийский_противопаводковый_коллектор).
21. [strelkamag.com/ru/article/gubchatyi-gorod](http://strelkamag.com/ru/article/gubchatyi-gorod).
22. [tass.ru/plus-one/4625111?utm\\_source=yandex.ru&utm\\_medium=organic&utm\\_campaign=yandex.ru&utm\\_referrer=yandex.ru](http://tass.ru/plus-one/4625111?utm_source=yandex.ru&utm_medium=organic&utm_campaign=yandex.ru&utm_referrer=yandex.ru).
23. [travelask.ru/blog/posts/12447-gorod-gubka-kak-spastis-ot-navodneniya-i-sohranit-lishnyuyu](http://travelask.ru/blog/posts/12447-gorod-gubka-kak-spastis-ot-navodneniya-i-sohranit-lishnyuyu).
24. [trends.rbc.ru/trends/green/606dbd429a7947becb920e66#:~:text=Серая%20инфраструктура%20—%20это%20инженерные,рассчитана%20с%20учетом%20изменения%20климата](http://trends.rbc.ru/trends/green/606dbd429a7947becb920e66#:~:text=Серая%20инфраструктура%20—%20это%20инженерные,рассчитана%20с%20учетом%20изменения%20климата).
25. [vo-da.ru/articles/livnevoy-stok-prom-predpriyatij](http://vo-da.ru/articles/livnevoy-stok-prom-predpriyatij).
26. [yandex.ru/images/search?text=Китай.%20Линган.%20Водопроницаемые%20мостовые%20и%20тротуары%20фото&stype=image&lr=213&source=serp&pos=23&img\\_url=http%3A%2F%2Fsc01.alicdn.com%2Fkf%2FHTB1qIFERXXXXXaXXFXXq6XXFXXW%2F200155016%2FHTB1qIFERXXXXXaXXFXXq6XXFXXW.jpg&rpt=simage](http://yandex.ru/images/search?text=Китай.%20Линган.%20Водопроницаемые%20мостовые%20и%20тротуары%20фото&stype=image&lr=213&source=serp&pos=23&img_url=http%3A%2F%2Fsc01.alicdn.com%2Fkf%2FHTB1qIFERXXXXXaXXFXXq6XXFXXW%2F200155016%2FHTB1qIFERXXXXXaXXFXXq6XXFXXW.jpg&rpt=simage).
27. [zaborekran.ru/lujinet.html](http://zaborekran.ru/lujinet.html).



# 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





# В ЗАЩИТЕ ОТ ОПАСНЫХ СКЛОНОВЫХ ЯВЛЕНИЙ **ЗАЛОГОМ БЕЗОПАСНОСТИ ЯВЛЯЕТСЯ КОМПЕТЕНЦИЯ**

АНАЛИТИЧЕСКАЯ СЛУЖБА «ГЕОИНФО»  
[info@geoinfo.ru](mailto:info@geoinfo.ru)

АВСТРИЙСКАЯ КОМПАНИЯ «TRUMER  
SCHUTZBAUTEN GMBH» / ООО «РТ ТРУМЕР»  
Спонсор «ГеоИнфо»  
[info@trumer.su](mailto:info@trumer.su)

Предлагаем вниманию читателей рассказ об истории развития и основных направлениях деятельности австрийской компании Trumer Schutzbauten («Трумер Шутцбаутен») и ее филиалов в других странах. Этот рассказ очень показателен для тех, кто работает в сфере инженерной защиты от опасных склоновых процессов и явлений. Консультационную помощь редакции оказал Игорь Ильтуганов – руководитель проектно-изыскательской группы ООО «РТ ТРУМЕР».



В 1960-х годах в небольшом австрийском городе Обертрум возникло семейное предприятие Франца Ойхтнера. Эта фирма занималась металлообработкой и одна из первых в мире начала применять металлические тросово-сетчатые конструкции для защиты от камнепадов и других видов оползневых явлений (рис. 1), а также от селей и лавин, опасность которых постоянно присутствовала в тех краях, поскольку Обертрум находится рядом с горным массивом Унтерсберг (северным отрогом Альп).

В первой половине 1990-х годов на основе предприятия Франца Ойхтнера была создана компания Trumer Schutzbauten («Трумер Шутцбаутен»), специализирующаяся на инженерных решениях по защите от опасных склоновых явлений и является безусловным лидером в этой отрасли. На заводах компании существует многоступенчатый контроль качества производимой продукции. Но Trumer Schutzbauten не просто производит, а постоянно разрабатывает, испытывает, патентует и сертифицирует новые усовершенствованные системы инженерной защиты. В компании работают собственные проектное и производственное подразделения.

В настоящий момент Trumer Schutzbauten предлагает более 200 сертифицированных по международным нормам защитных систем и имеет большое количество патентов, в том числе на такую разработку, как «омега-сетка» для защитных ограждений (Omega Net), которая сплетена из условно бесконечно длинного металлического троса с защитным покрытием. В сетке жестких сопряжений в ячейках, напоминающих по форме большую греческую букву «омега» (рис. 1). При этом она хорошо держит форму, а за счет своей конструкции является более гибкой по сравнению с традиционной кольчужной сетью (состоящей из переплетенных между собой колец) и лучше воспринимает динамические нагрузки, поскольку они рассеиваются по всей площади сетчатого полотна. «Омега-сетка» может выдержать даже высокоскоростной удар торцом бревна (например, при камнепаде или селе), чего не могут другие типы сетей. Разработанная в компании технология производства такой сетки уникальна, она позволяет многократно изгибать трос, который в результате остается в заданной форме, не теряя своих прочностных характеристик. Другие фирмы не раз пытались воспроизвести нечто подобное, но пока ни-



Рис. 1. Пример сработавшего противокамнепадного барьера компании Trumer Schutzbauten



Рис. 2. Участок «омега-сетки» крупным планом

кому это не удалось, даже в Китае. Обычно «омега-сетку» используют в комбинации со вторым слоем из более мелкоячеистой сети другого типа.

В 2000 году у подножия горы Эрцберг на территории федеральной земли Штирия на юго-востоке Австрии был открыт центр испытаний и разработок компании Trumer Schutzbauten. Все системы, произведенные компанией и ее филиалами, проходят натурные испытания, в ходе которых подвергаются максимальным нагрузкам, превышающим требования нормативных документов.

Все конструкции Trumer Schutzbauten имеют высокое качество и как минимум 10%-ный запас прочности, что вносит основной вклад в надежность работы смонтированных из них систем инженерной защиты. При испытаниях новых разработок используется самое современное оборудование, привлекаются независимые эксперты. Отличительной особенностью испытаний в компании является то, что тестовый каменный блок бросается на сетчатую конструкцию не вертикально вниз, а вдоль наклонной плоскости, как это происходит





Рис. 3. Испытание аттенуаторного (ослабляющего) сетчатого барьера

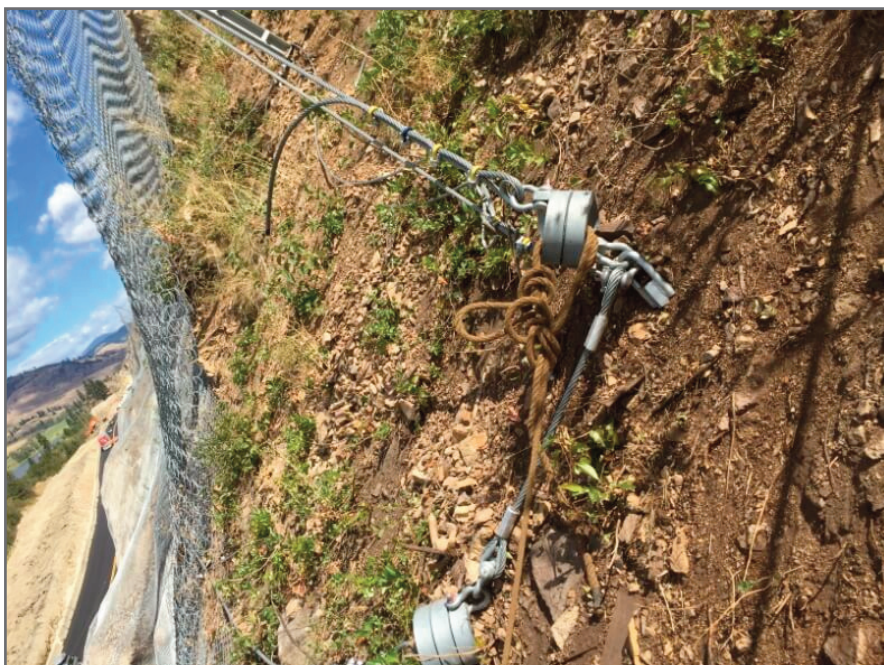


Рис. 4. С помощью грунтовых анкеров устанавливается большинство тросово-сетчатых конструкций

когда камень катится вниз по склону (рис. 2). Это позволяет испытывать защитные системы в условиях, максимально приближенных к реальным. На официальном сайте компании имеются видеоролики с записями таких испытаний.

Кроме того, используется неразрушающий метод контроля качества устройства строителями грунтовых анкеров (с помощью которых устанавливается большинство тросово-сетчатых конструкций (рис. 3)) в местах реализации заказанных проектов. Этот метод позволяет с высокой точностью проверить соблюдение технических условий

установки, прежде всего определив длину каждого анкера и равномерность покрытия его металлического стержня инъекционным раствором (по нормам после установки требуется тестирование лишь определенного процента анкеров, но это не дает гарантии правильного устройства остальных). Данная технология основана на фиксации вибраций металлического стержня анкера в ответ на осевой удар с последующей обработкой полученных данных в специально разработанном программном комплексе.

На сегодня компания Trumer Schutzbauten имеет отделения в Австрии, Гер-

мании, Канаде и России. В общей сложности с учетом всех филиалов в ней работает более 100 человек.

В России в 2011 году начало работать российское представительство Trumer Schutzbauten, которое поначалу занималось исключительно прямыми продажами систем защиты от опасных склоновых явлений, но в итоге столкнулось с проблемой невысокого качества проектных работ, выполнявшихся его российскими партнерами. Поэтому в 2018 году было принято решение об образовании дочернего предприятия компании Trumer Schutzbauten – ООО «РТ Трумер». А в 2020 году силами Trumer Schutzbauten GmbH и ООО «РТ Трумер» была создана российско-австрийская проектная компания ООО «Маунтин Риск Консалтинг», которая специализируется на оценке рисков, планировании и проектировании мер инженерной защиты от опасных склоновых явлений, а также занимается адаптацией разработанных проектов к российским нормативно-правовым документам.

По словам руководителя проектно-изыскательской группы ООО «РТ ТРУМЕР» Игоря Ильтуганова, компания не предлагает стандартных решений, одинаковых проектов. Каждый проект для каждого конкретного места установки защитной системы требует индивидуального подхода и по-своему уникален. В каждом случае требуется пять основных этапов:

- инженерные изыскания на местности;
- камеральная обработка полученных данных изысканий;
- проектирование на основе обработанных результатов изысканий;
- строительно-монтажные работы;
- консультирование организаций, эксплуатирующих защитные системы, строгий технический и авторский надзор за состоянием и работой этих систем.

По рассказу Игоря Ильтуганова, хорошим примером такого подхода был проект ООО «РТ ТРУМЕР», реализованный на перегоне Аша – Минярь (1727–1737 км) Куйбышевской железной дороги ОАО «РЖД» для защиты от камнепадов, но со специальной адаптацией конструкций к снеговым нагрузкам. Тогда впервые в России в качестве основы для проектирования были использованы австрийские стандарты, однако с соблюдением и российских норм. Подрядная организация ООО «ТГС» смонтировала более 6,5 км противокампедных и противолавинных защитных систем, поставленных ООО «РТ ТРУМЕР».



По мнению И. Ильтуганова, наиболее сложно решаемой задачей является инженерная защита от оползней. Прежде всего необходимо выяснить природу оползня, его реальные размеры и характеристики. И тут на первый план выходит исследовательская работа, а технические решения принимаются на основе результатов изысканий.

Например, 13–14 июня 2015 года проливные дожди на территории бассейна реки Вере в Грузии привели к внезапному крупномасштабному оползню у поселка Цхнети. Это привело к разрушительному селу, сошедшему на столицу страны Тбилиси. Тогда погибли 22 человека, пострадали около 700 человек, потеряли свои дома 67 семей. Разрушилась значительная часть тбилисского зоопарка, где погибло большинство животных. Было повреждено около 40 дорог, многие жилые дома, значительная часть городской инфраструктуры и систем связи. Во время последующего ремонта поврежденных дорог в районе Цхнети текущим работам стали угрожать новые обвалы и камнепады. Поэтому требовалось создать системы инженерной защиты от них, в чем активное участие принял и российский филиал Trumer Schutzbauten, проведя полный комплекс проектных мероприятий и поставив конструкции для монтажа систем противокамнепадной и противооползневой защиты.

Как сообщил И. Ильтуганов, в программе поставок российского филиала имеется несколько типов противоселевых барьеров. Но выбором их типа и проектированием с адаптацией к конкретным условиям занимается проектное подразделение компании.

Trumer Schutzbauten работает также в сфере укрепления откосов и склонов, в том числе подрезанных (рис. 5). Системы, предлагаемые этой компанией и ее филиалами, не только оберегают людей и инфраструктуру от потенциальных опасностей, но и дают природе возможность снова завоевать защищенные поверхности благодаря развитию на них растительного покрова. Для этого используются высокопрочные сетки (см. рис. 5) и габионные конструкции (рис. 6).

Кроме того, компания занимается защитой берегов от эрозии. В настоящий момент она использует высокопрочные сетки HPN+, Sigma, Omega Net, а также высокопрочные габионные конструкции. Однако этого не всегда бывает достаточно, поэтому активно ищутся новые технологические решения.



Рис. 5. Стабилизация склона с помощью закрепленного грунтовыми анкерами сеточного покрытия



Рис. 6. Поддержка склона габионными конструкциями

Для защиты от лавин Trumer Schutzbauten предлагает проекты применения противолавинных барьеров и высадки деревьев на склонах, а часто одновременно и того, и другого. Протилавинные инженерные системы, как правило, устанавливаются в зоне зарождения лавин, в том числе в верхних частях склонов (рис. 7). Однако в некоторых случаях это бывает либо сложно реализуемым, либо экономически нецелесообразным. Поэтому в 2018 году в Австрии непосредственно в зоне транзита лавин была установлена первая экспериментальная система Snow Catcher, которая подверглась неоднократному воздействию как «легких» пылевых, так и тяжелых мокрых лавин (рис. 8). Задача

этой системы – максимально снизить разрушительную энергию лавины. Такие системы устанавливаются в непосредственной близости от защищаемых объектов, где невозможно реализовать другие решения.

При проектно-изыскательских работах компания использует и такую передовую технологию, как картирование с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), что существенно ускоряет и облегчает проведение полевых изысканий. Для обработки фото- и видеоматериалов инженерных изысканий для получения детальной информации, например о трещиноватости, подвижках и деформациях скальных пород и пр., применяются самые современные





Рис. 7. Противолавинный барьер в зоне зарождения лавин

программные продукты. Эти данные впоследствии используются при компьютерном моделировании опасных склоновых явлений.

Trumer Schutzbauten понимает свою высокую ответственность за конечные результаты, поэтому ее специалисты участвуют не только в проектных, но

и в строительных работах (в качестве консультантов и контролеров качества). Как правило, установленные конструкции не требуют частого обслуживания, но регулярные проверки и ремонт в случае, например, падения камней, конечно, необходимы. И специалисты компании всегда готовы оказать в этом максимальное содействие эксплуатирующим организациям. Все это обеспечивает ей безупречную репутацию.

Проекты компании уже реализованы в Австрии, Непале, Грузии, России и еще более чем в 20 странах мира. В год Trumer Schutzbauten участвует в 100–150 проектах, и каждый из них выполняется безупречно. Сейчас развиваются масштабные проекты в Австрии, Германии, Болгарии, Канаде, Непале, Индии и России.

Закончить статью хотелось бы девизом компании Trumer Schutzbauten, который должны взять на вооружение и другие фирмы, работающие в той же сфере: «Компетентность – залог безопасности».



Рис. 8. Сработавший при испытании противолавинный барьер в зоне транзита лавины

Независимый электронный журнал  
**ГеоИнфо**



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

**WWW.GEOINFO.RU**





**TRUMER**  
Schutzbauten

[www.trumer.cc](http://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](mailto: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.





Автор фото: С.И. Сериков

# НЕЖДАНИНКА.

## ЭКОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕЖДАНИНСКОЕ (СЕВЕРО-ВОСТОЧНАЯ ЯКУТИЯ)

### ШАЦ МАРК МИХАЙЛОВИЧ

Ведущий научный сотрудник ФГБУН  
Институт мерзлотоведения  
им. П.И. Мельникова, СО РАН, к.г.н.,  
mmshatz@mail.ru

### СЕРИКОВ СЕРГЕЙ ИВАНОВИЧ

Научный сотрудник ФГБУН Институт  
мерзлотоведения им. П.И. Мельникова,  
СО РАН

В статье освещены современные природные и технологические условия освоения рудного золотосурьмяного месторождения «Нежданинское» в Северо-Восточной Якутии – одного из крупнейших в России. Показано, что природные условия района экстремально суровы, что в значительной степени сдерживает его развитие. Отмечено, что освоение месторождения серьезно усложняется также из-за отсутствия в России технологий извлечения золота из концентрата. Необходимо создание в стране специальных центров по его переработке. Подчеркнуто, что на базе месторождения вполне реально создание единого центра переработки сложно-компонентных руд и концентратов упорных руд в Якутии.

## Введение ►

Республика Саха (Якутия) – субъект России, по своим природным условиям и минеральным ресурсам не имеющий аналогов на планете. Одновременно он является важнейшим золотодобывающим регионом страны, располагающим сложившейся на протяжении многих десятилетий горнодобывающей промышленностью, крупной подготовленной минерально-сырьевой базой и реальным прогнозным потенциалом для ее развития на долгосрочную перспективу.

Основу экономики Республики Саха (Якутия) составляет промышленность, развитие которой связано, прежде всего, с освоением богатейших природных ресурсов. Удельный вес запасов Республики Саха (Якутия) в минерально-сырьевом потенциале России составляет: по алмазам — 82%, по золоту — 17%, по урану — 61% и др.

Минерально-сырьевая база республики по золоту является одной из наиболее крупных в России, районы его добычи широко распространены на всей территории Якутии, однако промышленная золотоносность сконцентрирована в восточной и южной Якутии, в основном, в бассейнах рек Индигирка, Яна и Алдан.

Запасы золота в республике сосредоточены в 794 месторождениях, из которых около 67% находятся в коренном залегании, причем 15% коренного золота пригодно к отработке открытым способом. Условная обеспеченность предприятий золотодобычи балансовыми запасами золота составляет в целом по Республике Саха (Якутия) 67 лет, в том числе рудным золотом – свыше 200 лет, россыпным – 34 года [12].

Опорными объектами развития рудной золотодобычи являются месторождения «Куранах», «Нежданинское» и «Кючус», где сосредоточены 96,3% золоторудной сырьевой базы по запасам промышленных категорий С2. Из них лишь Куранахское месторождение осваивается относительно полноценно и там имеются резервы наращивания золотодобычи за счет вовлечения в отработку бедных руд и отвалов с применением кучного выщелачивания, что расширяет потенциал месторождения в 2,5 раза. На золоторудных месторождениях «Нежданинское» и «Кючус» с мышьяковистыми упорными рудами имеются большие запасы для создания крупных предприятий с разработкой и внедрением прогрессивных технологий обогащения руд.

Максимальные объемы золотодобычи в Якутии достигали 36 тонн в 1975-

76 годах. Из них около 70% приходилось на россыпное и около 30% на рудное золото. Цветная металлургия республики в послесоветский период подверглась воздействию экономического кризиса, выразившемся в резком снижении объема производства, в финансовой несостоятельности и закрытии многих предприятий. Это, в свою очередь, повлекло за собой серьезные негативные последствия – отток населения из районов, специализирующихся на производстве минерального сырья. Недостаточная работа по приросту запасов нарушила баланс их погашения и прироста, объемы погашения стали намного превышать прирост.

В последние годы уровень добычи в республике постепенно стабилизировался, сформировались крупные и средние предприятия, вносящие основной вклад в годовые объемы золотодобычи. Этому способствовало принятие в 1998 году Федерального Закона «О драгоценных металлах и драгоценных камнях», создавшего работающий механизм кредитования золотодобывающих предприятий, движения драгоценного металла и т.д. Однако в связи с истощением запасов россыпного золота, снижением качества сырья и отсутствием перспектив его воспроизводства, важным условием золотодобычи в республике является дальнейшее увеличение добычи из коренных месторождений.

Одним из эффективных подходов является привлечение новых технологий. В частности, перспективным направлением является освоение метода кучного выщелачивания, приобретение модульных фабрик для вовлечения в эксплуатацию небольших рудных месторождений и т.д.

Перспективы роста добычи золота в республике связаны с реализацией крупных проектов ОАО «Полюс Золото» по расширению мощностей на Куранахском рудном поле, вовлечению в промышленную отработку Нежданинского и Кючусского месторождений. На Нежданинском месторождении намечается перестройка всей концепции разработки с переходом на комбинированный способ добычи [4], однако к широкомасштабному освоению пока не приступили.

Цель настоящей статьи показать криотехническую и геоэкономическую проблематику на начальной стадии периода освоения. Статья предназначена для студентов и специалистов в области комплексной оценки и освоения месторождений полезных ископаемых.

## Природные условия района месторождения ►

Природные условия Якутии во многих отношениях характеризуются как экстремальные, и в первую очередь это касается климата: республика является самым холодным из обитаемых регионов планеты. Максимальная амплитуда средних температур самого холодного месяца – января и самого теплого – июля составляет 70–75°C. Собственно Нежданинское золоторудное месторождение в административном отношении находится в Томпонском районе Республики Саха (Якутия), в 160 км к востоку от районного центра – п. Хандыга.

Большую часть территории месторождения занимает система горных узлов юго-западных и южных отрогов Верхоянского хребта, представленного здесь несколькими мощными горными грядами, которые служат водоразделами бассейнов рек Алдан, Яна и Индигирка. Среди них выделяются Брюнгадинский хребет – 2324 м, Янско-Тукулано-Бараинский хребет – 2200 м, Хунхадинский хребет – 1802 м. Плоскогорные массивы района представлены северной оконечностью Лено-Алданского плоскогорья, а равнинная часть является продолжением Центральной Якутской низменности, которая тянется вверх по долине р. Алдан и ее притоков до начала плоскогорий [1,5,6].

Рельеф района месторождения представлен типичным расчлененным среднегорьем с абсолютными отметками водоразделов 1200–1900 м и сравнительно узкими, глубоко врезанными долинами с абсолютными отметками 500–1150 м (рис.1).

Выделяется три ландшафтных пояса: лесной или таёжный (высотные отметки 800–1200 м), горно-тундровый или подгольцовый (1200–1600 м) и гольцовый горных арктических пустынь (более 1600 м, рис. 2), со значительными отличиями температур грунтов.

На диаграмме видно, что в интервале высот от 800 до 1200 м распределение температуры пород на глубине 1 м имеет широкий диапазон, т.е.  $\Delta T_{\max}$  составляет 6,1°C (от -3,9 до -10,0°C) и образует, так называемый пояс интенсивного распределения температур (I), относящийся к таёжной зоне.

На высотах от 1200 до 1600 м этот диапазон сужается до  $\Delta T_{\max}$  1,2°C (от -6,2 до -7,4°C) и формируется пояс умеренного распределения температур (II), это подгольцовая зона и зона альпийских лугов.



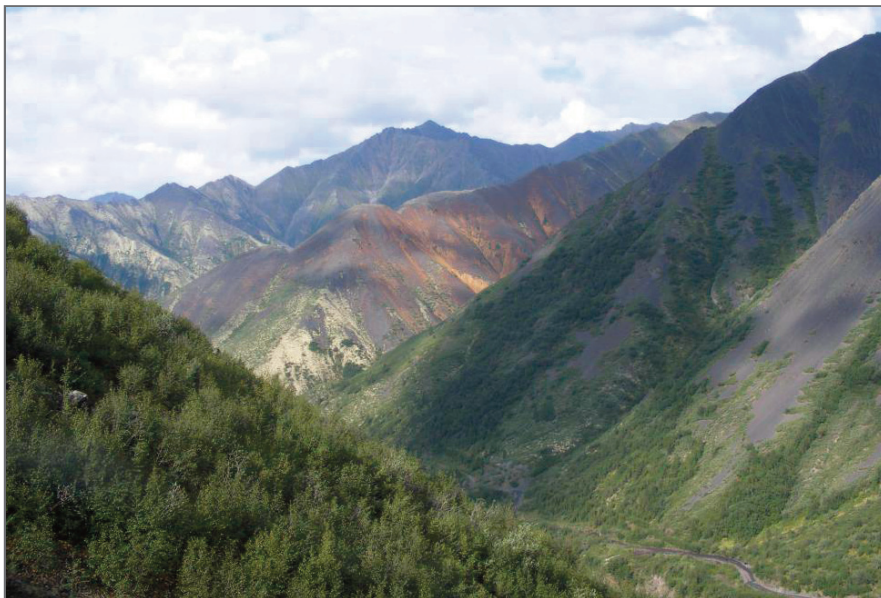


Рис. 1. Характер рельефа в районе месторождения «Нежданское». Фото С.И. Серикова

Особенно показательны температуры пород на вершине скалистого водораздела. Здесь среднегодовая температура имеет более высокое значение  $-5,2^{\circ}\text{C}$  по сравнению с расположенными в нижележащие области участками. Данная область (III), располагающаяся выше абсолютных отметок 1600 м, относится к гольцовой зоне, а в целом наблюдается классическое проявление закономерности инверсионной (перевернутой) высотной поясности, когда вместо обычного понижения температуры пород выше определенной высоты фиксируется ее повышение.

Карьер месторождения «Нежданское» расположен в межсочной седловине примерно в двух километрах от русла ручья Мал. Кидерики, в его среднем течении. Поверхность в районе карьера слабо задернована, участками покрыта мхом и лишайниками с кедровым стлаником.

Климат района резко континентальный, среднегодовые температуры воздуха колеблются в пределах  $-10$ – $12^{\circ}\text{C}$ , а максимальные  $+31$ – $+32^{\circ}\text{C}$ , минимальные  $-50^{\circ}\text{C}$ . Продолжительность зимы 7–8 месяцев. Основная часть осадков вы-

падает в июне–сентябре, их среднегодовое количество – порядка 700 мм.

Гидрографическая сеть района работ принадлежит бассейну р. Тыра, впадающей в р. Алдан. Ближайшие водотоки, на которые может негативно повлиять отработка месторождения и строительство карьера – ручьи М. Кидерики и Курум, притоки р. Тыра. В зимнее время водотоки полностью перемерзают. Месторождение находится на северном фланге Аллах-Юньской золотоносной полосы в области сопряжения Западной и Центральной структурных зон синклиория. Оно приурочено к сводовой части Дыбинской антиклинали в месте ее пересечения региональными субмеридиональным Кедерикским, субширотным Тыринским и северо-восточным Сунтарским разломами глубокого заложения.

В геологическом отношении верхний ярус разреза сложен породами верхоянского терригенного комплекса /верхний карбон — средняя юра; верхний — вулканогенной верхнеюрской-меловой толщей [1,5,6,9].

Оруденение локализуется в толще ниже-верхнепермских отложений алевритового состава, регионально метаморфизованных до начальных ступеней зеленосланцевой фации. Среди них выделяются две свиты: нижняя – джунтагинская мощностью 600–700 м и верхняя – дыбинская мощностью 1400 м. Джунтагинская свита является рудовмещающей. Снизу она сложена глини-

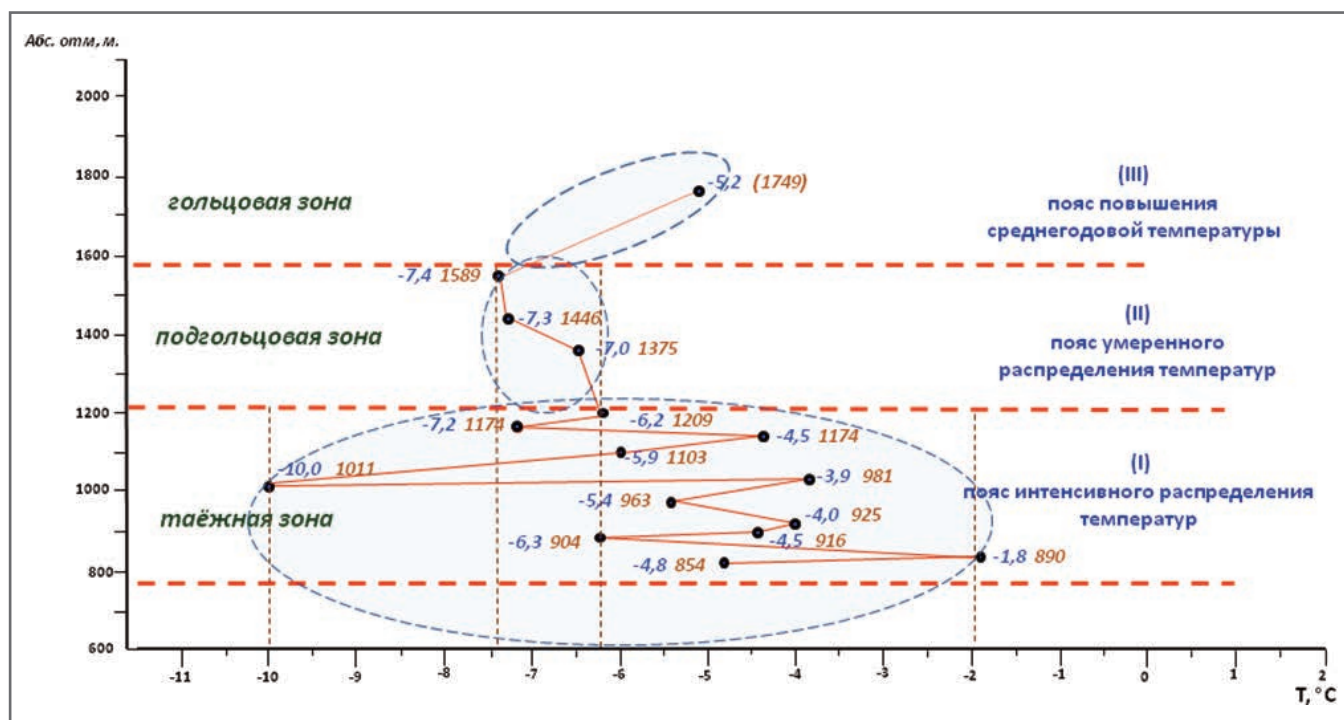


Рис. 2. Среднегодовые температуры пород на глубине 1,0 м: сине-коричневые цифровые обозначения – среднегодовая температура горных пород

Таблица 1. Среднегодовые температуры грунтов на разных уровнях и элементах рельефа

Элементы рельефа	Абсолютные отметки, м	Данные по [9]		Данные по замерам 2016 г.
		Мощность криолитозоны, м	Температура горных пород, °С	
Долины рек на высотах	800	-	-	-1,7
	900	-	-	-4,0
Высокие террасы долин рек	900 - 1000	-	-	-4,2
	1000	-	-	-4,5
Долины рек на высотах	1200	100 - 200	до -4,0	-4,3
	1400	200 - 300	до -6,0	-
Склоны и водораздельные участки в интервале высот	1100 - 1300	200 - 250	-	-5,6
	1300 - 1400	200 - 300	от -6,0 до -7,5	-7,4
	1400 - 1600	300 - 400	от -6,0 до -8,0	-6,2
	1600 - 2000	400 - 500	от -7,0 до -10,5	-5,2

стыми сланцами, переходящими в песчанистые алевролиты с пластами песчанников. Дыбинская свита образована углистыми алевролитами и глинистыми песчаниками с пластами алевролитов. Изверженные породы не имеют широкого распространения и представлены дайковым комплексом: диоритовыми порфиритами и лампрофирами. Свод Дыбинской антиклинали сильно деформирован и разбит многочисленными разрывными нарушениями, соответствующими региональным разломам глубокого заложения, упомянутым выше. Основными рудовмещающими являются структуры субмеридиональной ориентировки с крутым падением на запад. На месторождении выделены два основных морфологических типа рудных тел: протяженные минерализованные зоны дробления, сложенные гидротермально измененными катаклазированными и метаморфизованными породами с вкрапленным и прожилково-вкрапленным типом сульфидной минерализации и кварцевые жилы и жильные зоны пестрого строения.

Оба типа рудных тел в залежах сопровождаются минерализованными оруденелыми зонами прожилкования, приобретающими в узлах сочленения штокверкообразный вид. Всего насчитывается около 80 крутопадающих рудных тел, из которых 10 основных. Рудные зоны имеют длину 270–3500 м, мощность 3,9–11 м; жилы и жильные зоны соответственно 50–340 м и 1,3–3,4 м. Более 90% руды и металлов заключено в рудной зоне №1 длиной 3500 м при средней мощности 11 м. Общий

размах оруденения по вертикали составляет 1330 м., при содержании в руде сульфидов до 6%, арсенопирита – 3%, пирита – 1%, сфалерита – 0,9, галенита – 0,6, блеклых руд – 0,3, халькопирита и пирротина – 0,1% [1,2,9]. Нерудные минералы представлены: кварцем – 53%, глинистыми и полевошпатовыми минералами – 29%, слюдами – 6,8, карбонатами – 3, углистым веществом – 1,7%. Промышленную ценность имеют только золото и серебро, а вредными составляющими являются мышьяк и углерод. Золото встречается в самородном и связанном с сульфидами и кварцем состоянии. Размер золотинок 0,002–1,2 мм, пробы 680–840, отношение золота к серебру 1:3–1:10. Серебро находится в тонкодисперсном и изоморфном состояниях и рассеяно в сульфидах. В районе карьера до глубин его отработки – 120 м – развиты практически безводные мерзлые толщи горных пород.

Вся территории характеризуется сплошным и слабопрерывистым распространением многолетнемерзлых пород (ММП). Температуры горных пород в деятельном слое во многом зависят от экспозиции склона, абсолютной отметки, растительного покрова и вещественного состава пород. Подошва слоя ММП грубо повторяет дневную поверхность в привершинных и склоновых частях рельефа. В долинах рек за счёт формирования подрусловых таликов, мощность мерзлоты значительно уменьшается.

Мощность ММП (табл.1) в районе месторождения меняется от 100–150 м

на склонах южной до 200–210 м на склонах северной экспозиции, а на водоразделах достигает до 400–500 м при величине геотермической ступени 29,5–40,6 м/град. Глубина сезонного оттаивания грунтов неравномерна и зависит в основном от экспозиции участка, характера почвенно-растительного покрова, и обычно не превышает 0,5–1,5 м. В пределах русловых отложений современных водотоков сезонное протаивание гораздо значительнее и может достигать 1–3 м.

В долинах крупных водотоков на отдельных участках русел распространены постоянные талики, формирующие в зимний период обширные наледы (рис.3). Гораздо шире в пределах русел рек и ручьев развиты сезонные летние таликовые зоны. Из криогенных явлений широко распространены бугры пучения высотой до 1,5 м, подземные льды (рис.4), у подножий склонов – оползни (рис.5).

В хозяйственном отношении земли и угодья района работ используются только в охотничьем направлении, а для сельскохозяйственной деятельности они не пригодны.

### История реализации проекта ►

Добыча золота на территории Республики Саха (Якутия) имеет давнюю, практически столетнюю историю. В течение многих лет республика является одним из ведущих золотодобывающих регионов страны, где ежегодно добывается более 10% золота. По объему добычи по итогам 2018 г. Якутия заняла четвертое место в России.





Рис. 3. Речная наледь. Январь 2014 г. Фото С.И. Серикова



Рис. 4. Повторно-жильный лёд в борту карьера в водно-ледниковых отложениях высокой древней, боковой морены, 2016 г. Фото С.И. Серикова



Рис. 5. Оползень криогенного скольжения на южном склоне по подстилающим глинистым сланцам. Июнь 2015 г. Фото С.И. Серикова

В 1963 году в районе месторождения Нежданинское был построен жилой поселок и с этого времени началось детальное геологическое изучение объекта. В 1975 году на месторождении

был запущен подземный рудник и перерабатывающая фабрика мощностью 180 тысяч тонн руды в год. В добычу и переработку были вовлечены легкообогащаемые рудные тела, и одновременно

проводились экспериментальные технологические испытания на упорных рудах. Переработка руды осуществлялась на обогатительной фабрике с опытно-промышленным цехом пирометаллургическим способом переработки золотомышьяковых концентратов.

За период с 1974 по 1999 годы из золото-кварцевых руд было добыто около 25 т золота. Однако опытно-промышленная переработка гидрометаллургическим переделом мышьяковистых руд в г. Пласт Челябинской области оказалась малоэффективной. К 1993 году на месторождении уже была создана хорошая техническая база, функционировало горнодобывающее предприятие — АО «Нежданинское золото», а в поселке Нежданинский проживало более двух тысяч человек [1,4,7].

В сентябре 1996 года было создано российско-ирландское предприятие, зарегистрированное в форме ЗАО «Южно-Верхоянская горнодобывающая компания». По условиям заключенного соглашения, ирландская сторона должна была подготовить технологию разработки Нежданинского месторождения, а также профинансировать строительство обогатительной фабрики на сумму 200 млн долларов с производительностью 1 млн тонн руды в год.

В 2006 году был одобрен новый план развития месторождения «Нежданинское» и началась разработка схем обогащения рудного сырья, а также производились геологоразведочные работы по переоценке запасов. В 2007 году компания «Полюс Золото» продолжила геологоразведочные работы, были защищены обоснование временных кондиций и впервые предварительно оценены запасы для открытой добычи в объеме 200 тонн золота со средним содержанием 3,6 г/т. По результатам завершенных в 2008 году геологоразведочных работ по месторождению прирост запасов по категориям C1+C2 составил 50 тонн.

В 2010 году в рамках технического альянса с Kinross Gold Corporation были завершены полупромышленные испытания переработки концентратов руд в компании SGS Canada. На месторождении были выполнены пилотные испытания по биоокислению гравито- и флото-концентратов обогащения, сформированы исходные данные для разработки технологического регламента переработки руды.

В январе 2016 года официально было объявлено, что компания «Полиметалл» получила 15,3% акций совместного с



«Полюс Золото» предприятия для разработки Нежданнинского месторождения. Второй этап совместного проекта предполагает строительство подземного рудника и перерабатывающего комплекса. В июле 2017 года «Полиметалл» опубликовал результаты первичной оценки ресурсов Нежданнинского месторождения. Так, общие минеральные ресурсы Нежданнинского месторождения составляют 10,7 млн унций золота и 29,7 млн унций серебра [8,10,11,13-15]. В ноябре 2018 года компания Polymetal International plc объявила о завершении сделки по приобретению оставшейся доли в размере 82,3% в проекте разработки Нежданнинского золоторудного месторождения.

### Геотехнологические условия месторождения ▶

По информации «Полиметалла», ресурсы Нежданнинского золото-полисульфидно-кварцевого месторождения на основе последней ресурсной оценки составляют 55,9 млн тонн минерализованного материала, содержащего 8,9 млн унций золотого эквивалента при среднем содержании 5,0 г/т (золотой эквивалент). При этом для открытой добычи рудные запасы месторождения составляли на 1 июля 2017 года 15,5 млн тонн руды (среднее содержание золота – 3,8 г/т, серебра – 20 г/т), или 1,9 млн унций золота и 10 млн унций серебра.

Осваивать Нежданнинское месторождение «Полиметалл» планирует открытым способом в двух крупных карьерах в течение 11 лет с применением традиционного буровзрывного метода [1,2,4]. Переработка руды в концентрат будет производиться на флотационной фабрике на месторождении, последующая его переработка по технологии автоклавного выщелачивания – на Амурском ГМК. Предусмотрен вариант продажи концентрата сторонним покупателям.

В соответствии с текущим проектом, производительность флотационной фабрики составит 1,5 млн тонн руды в год, в ее состав войдут участки дробления, двухступенчатого измельчения, флотации и гравитации. Извлечение золота в концентрат составит 85%, а коэффициент выхода концентрата – 5,3%. Хвосты будут фильтроваться и после сушки складироваться в хвостохранилище [7,8].

### Современное состояние и перспективы проекта ▶

Золоторудные месторождения типа минерализованных зон дробления весь-



Рис. 6. Вскрыша рудного тела на месторождения Нежданнинское [7]

ма сложны по геологическому строению, поскольку в процессе многостадийного рудообразования создаются различные по природе и по золотоносности типы руд. Все это в полной мере относится к Нежданнинскому месторождению, общая площадь которого составляет 60 км<sup>2</sup>, а количество разведанных рудных тел с подсчетом запасов – 34 [1,4,7,8].

1. Система разработки – транспортная – вывозка пород вскрыши в отвалы, а руды на ЗИФ.

2. Общая схема работ заключается в следующем:

3. вскрытие карьера, выполнение горно-капитальных работ;
4. вскрышные работы (рис.6);
5. добычные работы;
6. рекультивация.

Что касается собственно ГОКа, то там продолжается монтаж основного элемента – ЗИФ. Готово отделение измельчения, в самом большом отделе – флотации – установлены в несколько ярусов 16 огромных флотационных машин, а в отделе гравитации – три 6-тонных грохота. Недалеко от основного корпуса смонтирована дробилка – две плиты, которые будут разбивать прибывшую с карьера руду.

Установленная мельница монтировалась в России впервые, и строителям сполна достались все сложности перепроходцев. Жесткие требования производителей к установке можно понять: от качества монтажа будет зависеть вся работа ГОКа. Мельница весом 3,5 тыс. т с опорами на двух точках должна свободно вращаться с десятками тонн руды. Даже такая мелочь, как болт, требует внимания. А их тысячи, и каждый затягивается в определенной последовательности в три этапа: сначала

на 30%, потом на 70%, и лишь потом на все 100%.

На момент написания статьи тепловой контур будущего ГОКа был закрыт, шел монтаж и установка основных компонентов фабрики [10,11].

В начале 2020 года было получено положительное заключение госэкспертизы на строительство обогатительной фабрики. Первый золотой концентрат ожидался здесь по планам в конце 2021 года.

Обогатительная фабрика производительностью 1,8 млн тонн в год включает в себя участки дробления, двухступенчатого измельчения, гравитации, флотации и производства концентратов. Концентраты стущаются, фильтруются и после сушки упаковываются в мешки для последующей переработки за пределами фабрики. Хвосты стущаются, фильтруются и после сушки складываются в полностью гидроизолированном хвостохранилище. Извлечение золота в концентрат составит 85%, а коэффициент выхода концентрата 4,8%. Ожидается, что средние содержания в концентрате составят 61 г/т.

Флотационный концентрат будет продаваться сторонним покупателям, а гравитационный концентрат перерабатываться в сплав с высоким содержанием золота Доре на Амурском ГМК.

При подготовке текущего ТЭО не учитывалась вторая очередь Амурского ГМК, которая потенциально сможет перерабатывать флотационный концентрат.

Освоение Нежданнинского месторождения осуществляется в несколько этапов. В частности, в 2020 году начались горно-капитальные работы с сопутной добычей, на 2021 год были запланированы ввод в эксплуатацию карьеров и запуск обогатительной фабрики [13,15].





Рис. 7. Общий вид промышленной зоны месторождения Нежданинское [8]

Работу наряду с большими расстояниями, плохими дорогами, сложной логистикой и суровым климатом региона осложняли особые дважды упорные руды месторождения. Однако «Полиметалл» последовательно преодолевает эти трудности.

Строительство ведется в сложных климатических условиях с экстремально низкими температурами воздуха и горных пород, частично в горной труднодоступной местности.

В настоящий момент общий ожидаемый срок добычных работ составляет 27 лет и может быть продлен еще на 10 лет после проведения дополнительной геологоразведки, которая позволит повысить разведанность дополнительных ресурсов.

В соответствии с текущим проектом открытых горных работ, годовой объем добычи составит до 2,2 млн тонн руды в год при среднем коэффициенте вскрыши 9 (рис. 7). При проведении подземных горных работ будет использоваться метод выемки камер с твердеющей обратной закладкой. В настоящий момент Полиметалл успешно использует данный метод на подземном руднике Албазино.

### Геозкологические условия месторождения ►

Воздействие на различные компоненты природной среды в отдельные периоды отработки месторождения существенно отличается. В истории реализации проекта, особенно на его начальных стадиях, незначительно нарушались в основном внешние компоненты поверхностных геосистем – почвенно-

растительный покров и микрорельеф. Позднее по мере перехода к разведке, степень преобразования геосистем становилась все масштабнее и глубже. Трансформация захватила глубокие горизонты горных пород, а также приземные слои атмосферы и гидросферу.

История освоения месторождения была сложной, этапы отработки не чередовались поступательно в обычной последовательности от съемки, поисков к разведке и эксплуатации. Периодически этапы активной эксплуатации чередовались с периодами относительного «покоя», когда основное внимание уделялось вспомогательным объектам – энергетическим, транспортным и т.п., также имеющим принципиальное значение для основного производства, особенно в условиях изолированности месторождения.

В общем виде, разработка месторождения связана с комплексным воздействием на отдельные компоненты природной среды [1,2,7].

**1. Воздействие на атмосферу.** Источниками загрязнения атмосферного воздуха при добыче являются буровые, погрузочно-транспортные и взрывные работы, приводящие к залповым выбросам токсичных веществ. Для их уменьшения предусмотрено:

- сухое пылеулавливание в процессе бурения;
- гидроподавление пыли – орошение автодорог, отвалов и забоев.

Расчеты и анализ величин приземных концентраций загрязняющих веществ показывают, что превышения ПДК на площадке карьера и границе са-

нитарно-защитной зоне (500 м) не ожидается. Для уменьшения залповых выбросов предусматривается орошение взрывааемых блоков.

**2. Воздействие на водные объекты.** Очистка стоков поверхностных вод проводится с сооружением двух накопительных емкостей (отстойников) в северной и в южной частях промзоны. Верхние части откосов дамб и дно отстойников покрывается песчано-гравийным слоем толщиной 0,5 м. Осветление воды происходит за счет её фильтрации через тело дамбы.

Для очистки ливневых стоков на промплощадке сооружается емкость с укладкой монолитного бетона по бортам и дну, а на верховой откос отсыпается песочно-гравийный слой.

Водопотребление на хозяйственно-питьевые нужды и пылеподавление осуществляется с использованием привозной воды.

Для предотвращения загрязнения поверхностного стока в местные водотоки продуктами ГСМ с промплощадки карьера площадью 2000 м<sup>2</sup>, где находятся стоянки горнотранспортного оборудования, предусмотрен сбор и очистка сточных вод в очистных сооружениях. Очистка производится за счет их отстаивания в горизонтальном отстойнике с последующей фильтрацией на механических фильтрах.

**3. Рекультивация нарушенных земель** предусматривает следующие мероприятия:

- отработанный карьер огораживается колючей проволокой для предотвращения попадания в него животных;
- откосы отвалов выполаживаются бульдозером;
- ликвидируется промплощадка карьера;
- демонтируются линии электропередач, промышленных сооружений, оборудования;
- производится уборка территорий от строительного мусора, металла и пр.

Выполнение этих мероприятий предусмотрено после полной отработки карьера в течении 6 месяцев.

В целом, значительному преобразованию пока подвержено около 60% площади месторождения.

Таким образом, степень последствий воздействий на природную среду на данной стадии освоения месторождения может быть оценена как **пока умеренная с последующим увеличени-**

ем по мере активизации и расширения масштабов эксплуатации [8,14].

### Заключение ►

Основу экономики Республики Саха (Якутия) составляет промышленность, развитие которой связано, прежде всего, с освоением богатейших природных ресурсов. Удельный вес запасов Республики Саха (Якутия) в минерально-сырьевом потенциале России составляет: по алмазам – 82%, по золоту – 17%, по урану – 61% и др.

Минерально-сырьевая база республики по золоту является одной из наиболее крупных в России, районы его добычи широко распространены на всей территории Якутии, однако промышленная золотоносность сконцентрирована в восточной и южной Якутии, в основном, в бассейнах рек Индигирка, Яна и Алдан.

В последние годы удалось стабилизировать объемы добычи золота, прежде всего, за счет рудной составляющей, доля которой возросла от трети до более чем половины. Из-за отсутствия соответствующей

эффективной технологии обогащения и энергетической инфраструктуры, добыча золота на одном из крупнейших в РФ Нежданинском месторождении, находящемся в распределенном фонде, долгое время не производилась. В настоящее время прорабатывается вариант освоения этого месторождения от автономного энергоисточника и производится оценка капитальных и эксплуатационных затрат для варианта отработки месторождения от собственной ТЭС на угле или дизельном топливе. На месторождении намечается перестроить всю концепцию разработки и перейти на комбинированный способ добычи, однако к широкомасштабному освоению пока не приступили.

В геокриологическом отношении в районе развиты сплошные и слабо прерывистые ММП мощностью 250–300 м, с температурой на подошве слоя годовых колебаний (10–12 м) около –6°С. Глубина сезонно-талого слоя грунтов составляет в долинах ручьев от 0,2–0,5 м, на террасах до 1,5–2,0 м, и более в пределах низкой поймы.

В настоящее время продолжается создание ГОКа, в том числе завершается монтаж его основного элемента – обогатительной фабрики. На месторождении Нежданинское, ресурсы которого составляют 385,7 тонн, новый этап добычи золота был начат в 2021 году, в 2022 году планировалось вывести его на полную проектную мощность.

Произведенный на месте гравитационный золотой концентрат будет перерабатываться на Амурском ГМК, а флотационные концентраты будут продаваться сторонним покупателям. Среднее годовое производство товарного золота составит 155000 унций в течение первых полных 15 лет эксплуатации предприятия, при этом в первые три полных года работы ежегодное производство составит 180000 унций.

Таким образом одно из крупнейших месторождений золота начнет приносить реальный вклад в золотодобывающую отрасль Якутии и значительно повысит уровень ее экономического развития. ■

### Библиографический список ►

- Амузинский В.А. Металлогенические эпохи и золотоносность рудных комплексов Верхоянской складчатой системы // Якутск. 2005. 248 с.
- Бортников Н.С., Гамянин Г.Н., Алпатов В.В., Наумов В.Б., Носик Л.П., Миронова О.Ф. Минералого-геохимические особенности и условия образования Нежданинского месторождения золота (Саха-Якутия, Россия) // Геология рудных месторождений. 1998. Т.40. №2. С. 137-156.
- Брайко В.Н., Иванов В.Н. О результатах работы золотодобывающей отрасли в 2010 году. Бюллетень Золотодобыча. Иргиредмет — 2011, №4. 136 с.
- В 2021 году на месторождении в Томпонском районе ожидается ввод фабрики. Электронный ресурс. URL: <https://news.ykt.ru/article/113013>. Источник: <https://news.ykt.ru>. Дата обращения: 12.11.2020
- Геокриология СССР. Северо-Восток Сибири. –М.: «Недра», 1989 – 414 с.
- Геологический словарь // СПб.: Изд. ВСЕГЕИ. 2011. Т.2. 221 с.
- На месторождении Нежданинское Полиметалл в 2021 году начнет добычу золота. Электронный ресурс. URL: <https://yakutia-daily.ru/na-mestorozhdenii-nezhdaninskoe-polimetall-v-2021-godu-nachnet-dobychu-zolota>/Источник: Yakutia-Daily.ru. Дата обращения: 07.11.2020.
- Наталья Шахурдина Упорный характер Нежданинского. Электронный ресурс. URL: <https://www.vnedra.ru/glavnaya-tema/upornyj-harakter-nezhdaninskogo-11976/?yclid=7549715835423590144>. Источник: <https://www.vnedra.ru/>. Дата обращения: 15.10.2020.
- Некрасов И.А., Максимов Е.В., Климовский И.В. Последнее оледенение и криолитозона Южного Верхоянья. – Якутск: Якутское кн. изд-во, 1973. 150 с.
- Нежданинское месторождение. Электронный ресурс. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>. Источник: <https://ru.wikipedia.org/>. Дата обращения: 15.12.2020.
- «Полиметалл» запустит рудник на Нежданинском месторождении в IV кв 21г. Электронный ресурс. URL: <https://nedradv.ru/nedradv/investsp?obj=345e642bddc6b9e33d15a47e5808fe8c#services>. Источник: <https://nedradv.ru/nedradv/>. Дата обращения: 12 ноября 2018 .
- Стратегический курс ЯКУТИИ Электронный ресурс. URL: <https://www.vnedra.ru/o-regionah/strategicheskij-kurs-yakutii-79>. Источник: ГЛОБУС: ГЕОЛОГИЯ И БИЗНЕС. Дата обращения: 23.11.2018
- \$2,6 млрд вложит Polymetal на развитие производства до 2025 года Электронный ресурс. URL :<https://biznes-gazeta.ru/?id=news.view&obj=ec29bb880b8060c1c6d3f467e989cb22#:~:text=10.11.2020%20%242%2C6,%D0%98%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%BA%3A%20NEDRADV>. Источник: NEDRADV. Дата обращения: 10.11.2020 //
- Соложенкин П. М. Экологические аспекты рациональной переработки золотосурьмяных руд // ВИНТИ. 2006. № 2. С. 2–122.
- 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.





IV МЕЖДУНАРОДНАЯ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ И ВЫСТАВКА  
**РОССИЙСКИЙ ФОРУМ  
ИЗЫСКАТЕЛЕЙ**

[www.rusufo.ru](http://www.rusufo.ru)

Организатор  
**НОПРИЗ**  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
СТРОИТЕЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

При поддержке  
МИНСТРОЙ  
РОССИИ  
РОССТРОЙНА  
РОСНИИСТРОЙ  
РОСНИИСТРОЙ

Соорганизаторы  
НИИ СТРОИТЕЛЬСТВО  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР

Официальный спонсор  
ОБЩЕСТВЕННЫЙ СОВЕТ  
ПО ПОДДЕРЖКЕ САМОУПРАВЛЕНИЯ

Спонсор  
ЦЕНТРИЗЫСКАНИЯ  
АССОЦИАЦИЯ СРО

МОСКВА  
**15-16 СЕНТЯБРЯ**  
2022 г.

Место проведения: НИУ МГСУ  
г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

# УЧАСТНИКИ РОССИЙСКОГО ФОРУМА ИЗЫСКАТЕЛЕЙ ОБСУДЯТ ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛЕВОЙ НАУКИ И **ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

## АНАЛИТИЧЕСКАЯ СЛУЖБА

15-16 сентября 2022 года в Москве, в здании Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (НИУ МГСУ) состоится IV Международная научно-практическая конференция «Российский форум изыскателей». Форум пройдет при поддержке Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, Русского географического общества, Фонда содействия реформированию жилищно-коммунального хозяйства и Российского общества по механике грунтов, геотехнике и фундаментостроению. Организаторами конференции выступают Национальное объединение изыскателей и проектировщиков (НОПРИЗ), Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет и Научно-исследовательский центр «Строительство».

**В** течение двух дней работы конференции в НИУ МГСУ будет развернута выставка современного изыскательского оборудования, пройдут мастер-классы и презентации от производителей отечественного оборудования и разработчиков программных продуктов. Для участников конференции будет организована экскурсия по университету.

В нынешнем году мероприятие будет проходить под знаком юбилея сразу двух очень важных событий в истории инженерных изысканий, определивших развитие этой сферы деятельности на многие годы вперед. 7 июля исполнилось ровно 60 лет с момента принятия в 1962 году Постановления Совета Министров РСФСР № 905 «Об упорядочении организации инженерно-строительных изысканий для промышленного и жилищно-гражданского строительства на территории РСФСР». В соответствии с этим Постановлением, осенью 1962-го и в начале 1963 года в 14-ти российских регионах была создана большая группа трестов инженерно-строительных изысканий (ТИСИЗов). 27 ноября исполнится 50 лет с момента принятия Приказа Госстроя РСФСР № 80 о формировании Всероссийского производственного объединения «Стройизыскания», в состав которого были включены все тресты, которые на тот момент были созданы уже практически во всех регионах России.

Формирование к началу 70-х годов на территории РСФСР, а затем и всего Советского Союза системы территориальных изыскательских организаций позволило консолидировать производственный потенциал небольших изыскательских отделов, ранее входивших в состав проектных организаций, быстро осуществить техническое перевооружение, организовать на более системной основе практическое взаимодействие отраслевой науки и производственной сферы, создать современную нормативную базу. Впервые в нашей стране была решена задача накопления и обобщения материалов изысканий прошлых лет, выполняемых на территориях, входивших в сферу ответственности ТИСИЗов. Значительно повысилось качество и достоверность изысканий для проектирования и строительства ответственных объектов промышленности и инфраструктуры. Была обеспечена комплексная изученность природных условий на обширных территориях, на которых, в течение всего период 60-80-х годов прошлого века

осуществлялось беспрецедентное по масштабам жилищное строительство.

В связи с юбилеем в ходе конференции будут рассмотрены возможности творческого переосмысления опыта старших поколений изыскателей нашей страны и его использования для решения задач обновления территориальных фондов, их цифровизации, включения в территориальные системы ГИСОГД.

### ВСЕРОССИЙСКОЕ СОВЕЩАНИЕ ПО ВОПРОСАМ РАЗВИТИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ ►

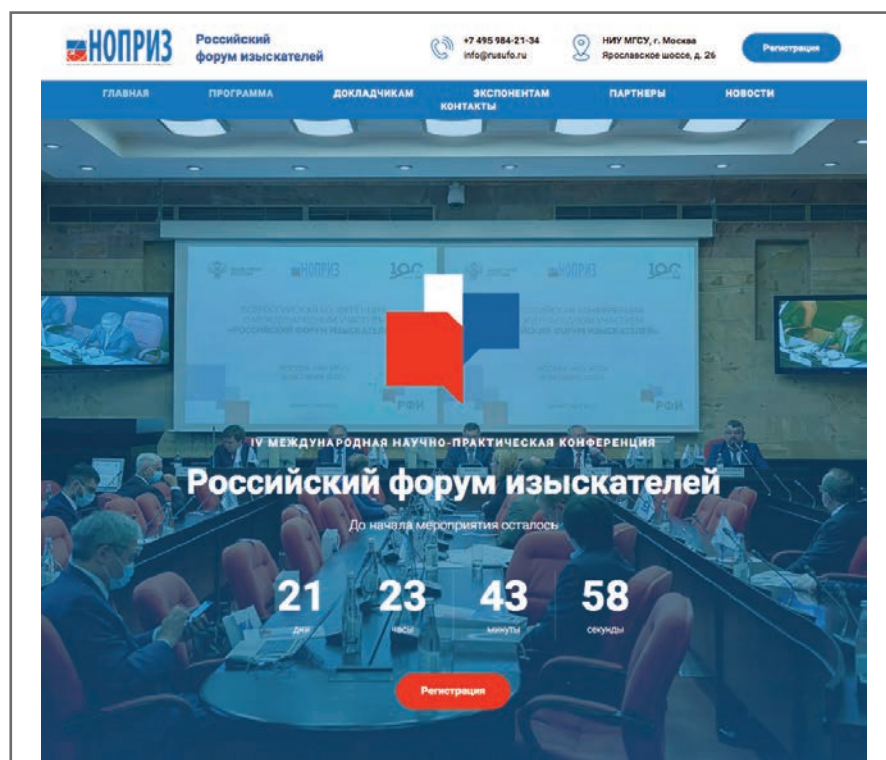
Это центральное событие Форума, участники которого рассмотрят актуальные задачи изыскателей в разрезе реализации национальных проектов, связанные с повышением производительности труда, качества и достоверности результатов инженерных изысканий. Будут обсуждены вопросы развития отраслевой нормативной базы, в том числе связанные с проведением изыскательских работ на предпроектных этапах и в интересах обоснования документов градостроительного планирования, развития региональных информационных систем, включения инженерных изысканий в новый технологический уклад, связанный с информационным моделированием, законодательного закрепления практики проведения полевого контроля за проведением изыскательских работ.

Всероссийское совещание пройдет под председательством Минстроя России.

### СТРАТЕГИЧЕСКАЯ СЕССИЯ «НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ В ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЯХ. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ СУВЕРЕНИТЕТ» ►

В ходе стратегической сессии, которая состоится во второй день работы конференции, будут представлены основные направления научных исследований по направлениям, актуальным с точки зрения проведения инженерных изысканий для проектирования ответственных объектов в сложных природно-климатических условиях в рамках задач, связанных с реализацией национальных проектов. Особое внимание будет уделено включению в научные исследования молодого поколения изыскателей. Прежде всего, студентов. Ведущие специалисты отрасли расскажут о достижениях в области разработки и внедрения современных высокопроизводительных технических средств и программного обеспечения. Основной задачей сессии является обсуждение подходов, связанных с поддержкой на государственном уровне отечественных разработок по технологическим направлениям, которые уже получили развитие в нашей стране или должны быть открыты в качестве приоритетных в связи с необходимостью обеспечения технологического суверенитета России. **h**

С подробной программой Форума можно ознакомиться на сайте <https://rusufo.ru/#program>







Заглавное фото: [geoinfo.ru/product/olejnichenko-roman-yurevich/geodezicheskie-sistemy-budushchego-kak-besplotniki-razvivayut-geodeziyu-v-rossii-46687.shtml](https://geoinfo.ru/product/olejnichenko-roman-yurevich/geodezicheskie-sistemy-budushchego-kak-besplotniki-razvivayut-geodeziyu-v-rossii-46687.shtml)

# ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ДРОНА ДЛЯ **КОНТРОЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ** РАБОТ В ЗОЛОТОРУДНОМ КАРЬЕРЕ

АНАЛИТИЧЕСКАЯ СЛУЖБА  
«ГЕОИНФО»  
[info@geoinfo.ru](mailto:info@geoinfo.ru)

На сегодняшний день беспилотные летательные аппараты активно используются в инженерных изысканиях, в том числе инженерно-геодезических, и во многих других сферах человеческой деятельности, поскольку их технологические преимущества позволяют экономически эффективно, точно и быстро выполнять самые разные виды съемок на очень больших и зачастую труднодоступных территориях. Сегодня мы расскажем об использовании геодезического дрона для контроля эффективности работ в золоторудном карьере на конкретном примере.

**Б**еспилотные летательные аппараты (БПЛА, дроны) стали популярными инструментами для самых разных видов съемок во многих сферах науки и производства. В том числе они получили широкое применение в геодезии, картографии, горнодобывающей промышленности.

По мнению Сергея Заверткина, директора по развитию промышленных решений компании Skymec, традиционные методы геодезических исследований по-прежнему остаются востребованными, однако БПЛА позволяют гораздо быстрее собирать качественные данные за счет использования новых функциональных возможностей оборудования и программного обеспечения для фотограмметрической обработки, 3D-моделирования, топографической съемки и многого другого. Поэтому сегодня отмечается постоянно растущий спрос на беспилотные технологии.

Эффективность использования беспилотных летательных аппаратов для того или иного типа съемки (или даже сразу для нескольких ее видов) определяется правильно подобранным комплексом интегрированного или навесного специализированного оборудования. Например, геодезические дроны для полноценной работы могут быть оборудованы компактной камерой и GNSS приемником геодезического класса для профессиональной аэрофотосъемки. Беспилотники для аграриев оснащаются мультиспектральной камерой для получения изображений в разных спектральных диапазонах для мониторинга роста сельскохозяйственных культур. Для инспекций инфраструктуры и в системах безопасности применяются дроны с тепловизорами, которые позволяют дистанционно определять температуру поверхности исследуемого объекта или выявлять нарушения в охраняемой зоне.

Геодезические дроны позволяют оперативно получать точные геопространственные данные в том числе для объектов горнодобывающей промышленности.

Например, инженеры огромной японской транснациональной корпорации Komatsu для анализа эффективности работы карьерной техники использовали дроны DJI, оснащенные GNSS приемниками геодезического класса. Фотограмметрическая обработка материалов аэрофотосъемки оказалась очень эффективной при создании цифровых двойников разрезов с детальной прорисовкой в трехмерной среде моде-

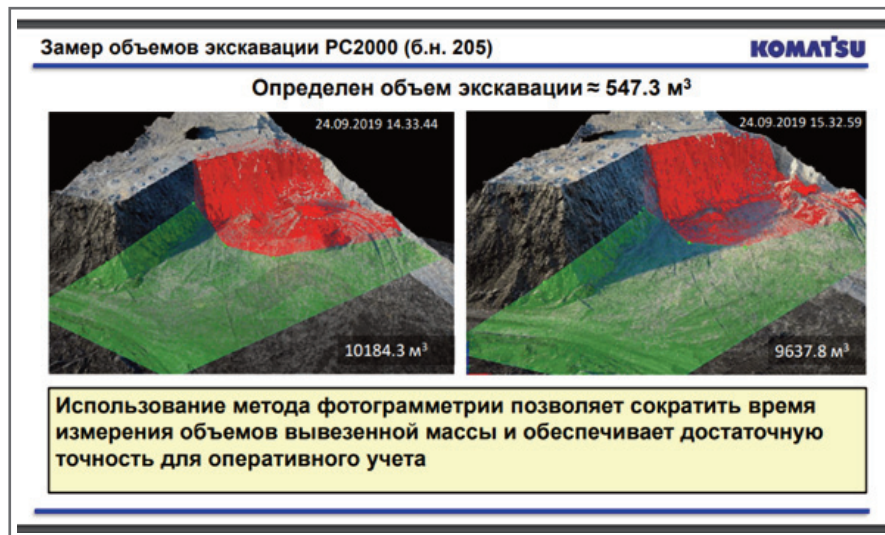


Рис. 1. Инженеры компаний Komatsu и Skymec определяли точные объемы породы, извлекаемой экскаватором за каждую смену, с помощью аэрофотосъемки с дрона DJI Phantom 4 RTK и последующей фотограмметрической обработки полученных материалов

лирования трасс дорог и конфигураций карьеров. Для маркшейдерского обеспечения горных работ такая технология тоже имеет хорошие перспективы в дополнение к традиционным методам получения геопространственных данных с помощью тахеометров и мобильных GNSS приемников.

В районе Усть-Каменогорска (Казахстан, зона степей и предгорий) специалисты вышеупомянутых компаний Komatsu и Skymec использовали БПЛА для аэрофотосъемки с последующей фотограмметрической обработкой полученных материалов не только для построения геопространственной модели карьера на золоторудном месторождении, но и для мониторинга динамики открытых горных работ. Они опробовали новую методику оценки производительности одного из экскаваторов, произведенных в Komatsu. Для этого в начале и в конце смены в воздух поднимался дрон Phantom 4 RTK производства китайской компании DJI и выполнялась съемка участка работ. Путем сравнения трехмерных моделей этого участка, полученных до и после смены, с высокой точностью рассчитывался объем извлеченной экскаватором породы (рис. 1).

Затем инженеры компаний Komatsu и Skymec применили облет беспилотным летательным аппаратом DJI Phantom 4 RTK и съемку почти всей территории ведения горных работ (около 5 кв. км) на высоте 350 м и со скоростью 8 м/с и степенью перекрытия 60% в поперечном направлении и 80% в продольном (рис. 2). Для повышения

точности и качества детализации земной поверхности в чаше карьера был выполнен дополнительный пролет на высоте 175 м с использованием режима следования рельефу (Terrain Awareness Mode). Такой гибкий подход к планированию маршрутов съемки стал возможен благодаря новому приложению DJI GS RTK, разработанному специально для выполнения задач аэрофотосъемки для картографирования, геопространственных исследований и 3D моделирования. Достаточно загрузить матрицу высот и ввести основные параметры съемки (высоту, курсовой угол, степень перекрытия, выдержку), чтобы траектория полета и скорость были рассчитаны автоматически. После фотограмметрической обработки полученных материалов аэрофотосъемки была построена 3D-модель карьера для внедрения системы контроля эффективности работы техники. Если говорить о временных затратах, то в сумме было потрачено всего 90 минут на полет и 4 часа на обработку собранных данных.

Для имитационного моделирования работы горнодобывающего предприятия компания Komatsu использует специальную компьютерную программу, в которую вводятся данные о геопространственных характеристиках карьера и о каждой единице работающей там техники – экскаваторах, погрузчиках, самосвалах.

Импорт геопривязанной 3D-модели разреза, полученной в результате фотограмметрической обработки данных аэрофотосъемки, в формате OBJ в программу имитационного моделирования



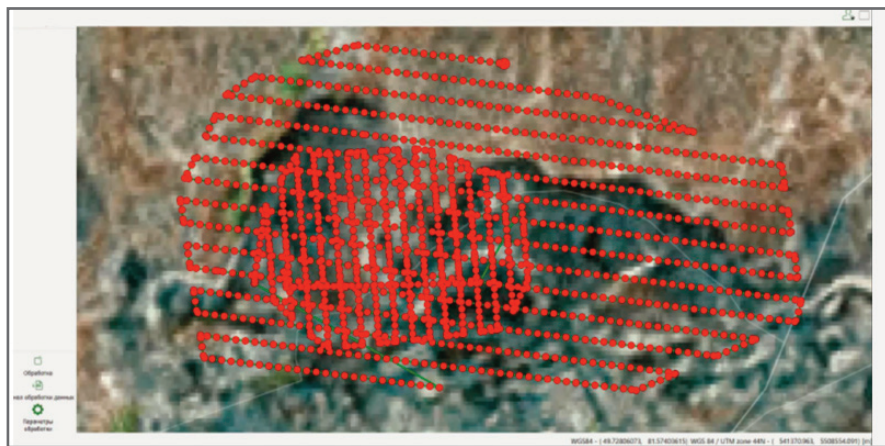


Рис. 2. Инженеры компаний Komatsu и Skymec применили облет беспилотным летательным аппаратом почти всей территории ведения горных работ с последующей фотограмметрической обработкой полученных материалов и построения 3D-модели разреза для внедрения системы контроля эффективности работы карьерной техники

позволило на качественно новом по точности уровне рассчитывать уклоны технологических дорог, оптимальность трасс вывоза пустой породы и анализировать эффективность работы карьерной техники. Отдельно нужно отметить и огромный прогресс в качестве визуализации процессов на фотореалистичной модели. С помощью имитационного моделирования можно спрогнозировать производительность и результаты работы карьера за разные промежутки времени от одного дня до года и более. Изменяя различные параметры, например, схему расстановки техники, трассы движения самосвалов,

уклоны технологических дорог, можно найти оптимальную конфигурацию, при которой производительность будет максимальной.

Помимо очевидных экономических преимуществ точного прогнозирования объемов выработки стало возможным выявлять причины потерь эффективности производства и работать непосредственно над их устранением. По статистике до 50% себестоимости открытых горных работ на любом карьере составляют затраты на вывоз пустой породы. Поэтому оптимизация работы карьерной техники и сокращение именно этих затрат хотя бы на 10% уже даст суще-

ственную экономию, которая позволит окупить вложения на внедрение современных методов имитационного моделирования для анализа функционирования карьера.

Таким образом, для создания детализированных геопривязанных трехмерных моделей работающих карьеров с помощью фотограмметрической обработки необходимы аэрофотосъемка (которую дешевле всего делать с дронов) и специализированное программное обеспечение для последующей обработки фотоснимков. В результате обработки получают цифровые модели рельефа на разные моменты времени, анализируя которые, можно рассчитывать объемы вывозимой породы в период между разными съемками при минимальном количестве полевых работ и привлечения большого количества маркшейдеров. Также появляется возможность визуализации изменений рельефа в карьере и динамики открытых горных работ, а интеграция с программами имитационного моделирования позволяет еще и оптимизировать производственные процессы.

С. Заверткин подчеркивает, что основанный на этой технологии мониторинг производительности отдельной единицы или всего парка карьерной техники практически за любой промежуток времени открывает новые горизонты в области работы объектов горнодобывающей отрасли.

# Независимый электронный журнал ГеоИнфо



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

[WWW.GEOINFO.RU](http://WWW.GEOINFO.RU)



# МЕЖДУНАРОДНЫЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ САММИТ **КАЗАХСТАН**

МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

26 СЕНТЯБРЯ | АЛМАТЫ





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](mailto:office@mountain-risk.ru)  
<https://www.mountain-risk.ru>



«ГеоИнфо» 08-2022  
подписан в печать  
31.08.2022

**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.

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

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

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

**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.