

Независимый электронный журнал

ГеоИнфо

АПРЕЛЬ • 04-2022



100+

TECHNO BUILD

IX Международный
строительный форум
и выставка

forum-100.ru

18-21 октября 2022
Екатеринбург



стать экспонентом

13 000
посетителей

235
экспонентов

500
спикеров

120
секций

25
стран

*показатели 2021 года

МЕХАНИКА ГРУНТОВ И ГЕОТЕХНИКА

- Модель Хука – Брауна с разупрочнением сделает геотехнические решения более надежными** 6
- ИОВЛЕВ ГРИГОРИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ
Ассистент кафедры СГПиПС Санкт-Петербургского горного университета, к. т. н.
- Интеграция геотехнических программ от компании Rocscience облегчает проектно-изыскательские работы** 20
- АНАЛИТИЧЕСКАЯ СЛУЖБА «ГЕОИНФО»
- Численное моделирование обрушений бортов карьеров поможет избежать катастроф** 28
- АНАЛИТИЧЕСКАЯ СЛУЖБА «ГЕОИНФО»

ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ТЕРРИТОРИИ

- Сохранение устойчивости климата при гидротехническом строительстве с помощью «Матрацев Рено Плюс»** 32
- АРНДТ МИХАЭЛЬ (ARNDT MICHAEL)
Исполнительный директор компании Secon Systems, г. Берлин, Германия
- МАСОЛА ФРАНЧЕСКО (MASOLA FRANCESCO)
Инженер-строитель, ответственный за проекты в сферах развития водных путей, берегозащиты и сооружений из армированного грунта в компании Secon Systems (г. Берлин, Германия)
- О перемещении материала в условиях многолетней мерзлоты и оледенения в высокогорье** 40
- АНАЛИТИЧЕСКАЯ СЛУЖБА «ГЕОИНФО»

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

- Геодезические системы будущего: как беспилотники развивают геодезию в России** 62
- РОМАН ОЛЕЙНИЧЕНКО
Инженер-геодезист Skymec

ПРИЛОЖЕНИЕ «ДИСКУССИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ИНТЕРВЬЮ»

- АЛЕКСАНДР НАЗАРОВ: Наш мост выстоял, возможно, благодаря нашему контролю строительства** 66
- Грунтоведение и механика грунтов дополнили друг друга. В Санкт-Петербурге прошли XXIII Сергеевские чтения** 70
- МИХАИЛ ВАСИН
Обозреватель
- ИЛЬЯ ИДРИСОВ: Рассматриваем вариант контрактного производства электроники в Китае** 76

ПРИЛОЖЕНИЕ «БИЗНЕС. ЭКОНОМИКА. ЮРИСПРУДЕНЦИЯ»

- Нетворкинг-сессия для изыскателей и проектировщиков: как влиять на глобальные изменения** 78
- ЛЮДМИЛА ДЬЯЧЕНКО
Специальный корреспондент
- Теория поколений: чем 20-летние сотрудники отличаются от тех, кому 30, 40 и 50 лет** 82
- ЛЮДМИЛА ДЬЯЧЕНКО
Специальный корреспондент

ГЕНЕРАЛЬНЫЕ СПОНСОРЫ ПРОЕКТА



ООО «ПЕТРОМОДЕЛИНГ»



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



Институт
экологического
проектирования
и изысканий

АО «ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИЗЫСКАНИЙ»



Maccaferri / ГАБИОНЫ МАККАФЕРРИ СНГ



ООО НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

ООО НПП «ГЕОТЕК»



Компания
Mountain Risk Consultancy

СПОНСОРЫ ПРОЕКТА



Геотехническая лаборатория
АО «МОСТДОРГЕОТРЕСТ»



НИЖЕГОРОДСТРОЙИЗЫСКАНИЯ

ООО «НИЖЕГОРОДСТРОЙИЗЫСКАНИЯ»



ООО «ГЕОИНЖЕРВИС» / FUGRO

EngGeo

Обработка и хранение результатов
инженерно-геологических
изысканий

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС «ENGGEO»



ПрогрессГео
ЛАБОРАТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

ООО «ПРОГРЕССГЕО»



НПО «ТЕРРАЗОНД»



ООО «КОМПАНИЯ «КРЕДО-ДИАЛОГ»

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ



Программный комплекс RosScience

ADVANCED SURVEY
TECHNOLOGIES

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



ООО «КБ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ»

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

ПРИБОРЫ КРИОЛОГИЧЕСКИЕ СЕРИИ СТАНДАРТ

ХИТ продаж

Прибор компрессионный криологический ГТ 1.1.11



Прибор срезной криологический ГТ 1.2.14



Прибор шариковый штамп криологический ГТ 1.6.2



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

ВОЗМОЖНОСТИ:

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

ПРИБОРЫ ОБЕСПЕЧИВАЮТ ПРОВЕДЕНИЕ СЛЕДУЮЩИХ ИСПЫТАНИЙ:

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

ПОЧЕМУ ВЫБИРАЮТ НАС



Высокое качество



Выгодная цена



Надежный сервис



Экономия бюджета испытаний

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

* На правах рекламы



Заглавное фото: pixabay.com/ru/photos/швейцария-сустен-пасс-проколу-2984863/

МОДЕЛЬ ХУКА – БРАУНА С РАЗУПРОЧНЕНИЕМ СДЕЛАЕТ ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ БОЛЕЕ НАДЕЖНЫМИ

ИОВЛЕВ ГРИГОРИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ
Ассистент кафедры СГПиПС Санкт-Петербургского горного университета,
к. т. н.
lovlev_ga@pers.spmi.ru

В 2019 году появилась одна из возможностей описания процесса разупрочнения скального грунта при переходе к остаточной прочности на запредельной стадии деформирования. Эту возможность дает использование модели Хука – Брауна с разупрочнением (Hoek & Brown model with softening – HBS). Ее применение в конечноэлементных программных комплексах позволяет повышать качество геомеханических прогнозов и принимать наиболее надежные и рациональные геотехнические решения (например, в отношении устойчивости забоя и прилегающего свода горной выработки, влияния выбранной технологии проходки на негативные геомеханические процессы во вмещающих скальных грунтах, поведения подземных выработок при сейсмических нагрузках и т. д.).

Предлагаем нашим читателям ознакомиться с обзором, написанным на основе адаптированного перевода наиболее важных разделов руководства по использованию модели HBS [15] и дополнительной информации.

Введение ►

На текущий момент большинство геомеханических прогнозов, использующих численные конечноэлементные методы, базируется на применении упругопластических моделей, работающих исключительно с допредельной стадией деформирования. При достижении предельного состояния такими моделями описывается либо последующее идеально-пластическое течение, либо идеально-пластическое течение с упрочнением за счет дилатансии. Исключение составляют программные комплексы, способные учитывать идеально-хрупкое разрушение и остаточную прочность, но не рассматривающие процесс разупрочнения.

Включение описания поведения скальных грунтов на запредельной стадии деформирования позволит уточнить размер и форму зон предельного состояния и, кроме того, разбить эту стадию на две части в соответствии с протекающими на ней процессами. В первой из них еще идет процесс разупрочнения, то есть происходит развитие пластических деформаций при незначительных изменениях напряженного состояния. Во второй части скальные породы уже перешли к остаточной прочности.

При этом разупрочнение (плавное снижения прочности до остаточной) может не проявляться при испытаниях образцов ненарушенной структуры, а возникать только в массивах скальных грунтов со средней или значительной трещиноватостью (что характерно для большинства массивов скальных пород), а это очень важно учитывать при геотехническом проектировании.

Одна из возможностей описания процесса разупрочнения скального грунта при переходе к остаточной прочности появилась в 2019 году за счет использования модели Хука –

Брауна с разупрочнением (Hoek & Brown model with softening – HBS), разработанной за счет усовершенствования известной модели Хука – Брауна (Hoek & Brown model – HB).

Модель Хука – Брауна ►

Наибольшее распространение для описания массивов трещиноватых скальных грунтов получила модель Хука – Брауна (Hoek-Brown model – HB). (В публикациях на русском языке практически с одинаковой частотой встречаются разные написания фамилии Hoek – Хук, Хёк, Хоук, Хоек, Хок. – *Ред.*)

Это изотропная линейно-упругая идеально-пластическая модель с критерием прочности Хука – Брауна [1, 10]. Она включена в большинство программных комплексов для геотехнических расчетов на основе метода конечных элементов (МКЭ).

Критерий Хука – Брауна является развитием критерия прочности Мора – Кулона. Усовершенствование заключается в нелинейной форме зависимости « $\tau - \sigma$ », которая для критерия Мора – Кулона является линейной. Широко известно, что нелинейная форма в большей степени соответствует результатам лабораторных испытаний скального грунта, а также заложена в основу построения паспорта прочности скальной породы.

Для определения момента возникновения пластических деформаций используется критерий Хука – Брауна 2002 года [10]:

$$f_{HB} = \sigma_1 - \sigma_3 - \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a, \quad (1)$$

где σ_1 , σ_3 – соответственно наибольшее и наименьшее главное напряжение; σ_{ci} – предельная прочность ненарушенной породы при отсутствии бокового давления (в наиболее актуальной рабо-

те [9] Хук отличает предел прочности на одноосное сжатие UCS от σ_{ci}); m_b , a , s – безразмерные параметры, которые не имеют физического смысла, но влияют на форму и степень нелинейности предельной огибающей Хука.

Параметры m_b , a , s зависят от геологического индекса прочности GSI и от коэффициента нарушенности D [17] в соответствии со следующими уравнениями:

$$\begin{cases} m_b = m_i \cdot \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right) \\ s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right) \\ a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left[\exp\left(-\frac{GSI}{15}\right) - \exp\left(-\frac{20}{3}\right) \right] \end{cases}, \quad (2)$$

где m_i – параметр ненарушенной породы, который в значительной степени влияет на степень нелинейности предельной огибающей Хука в плоскости « $\sigma_1 - \sigma_3$ » и который снижается до величины m_b в зависимости от степени нарушенности массива (при $GSI = 100$ $m_b = m_i$).

По величине σ_{ci} можно определить предел прочности на одноосное сжатие и на двухосное растяжение. При $\sigma_3 = 0$ уравнение (1) приобретает вид:

$$f_{HB}^c = \sigma_{ci} \cdot s^a \text{ и } f_{HB}^t = -s\sigma_{ci}/m_b. \quad (3)$$

При использовании в большинстве программных продуктов в уравнениях (3) меняется знак.

На рисунке 1 представлена поверхность текучести Хука – Брауна в пространстве главных напряжений и на девиаторной плоскости. Эта поверхность не гладкая, поэтому при использовании ассоциированного закона пластического течения возникает известная проблема расчета пластических деформаций в ее углах. В руководстве к программному комплексу Plaxis [2] частично описывается подход к решению этой проблемы углов. Он аналогичен используемому для поверхности текучести Мора – Кулона и заключается в том, что вместо одной функции текучести и пластического потенциала используется шесть (в соответствии с количеством плоскостей, формирующих поверхность текучести).

Наиболее существенным отличием при использовании модели в программных комплексах является учет упрочнения, которое реализуется до предельной прочности, и разупрочнения, которое происходит после разрушения и стремится к остаточной прочности. В Plaxis для учета упроч-

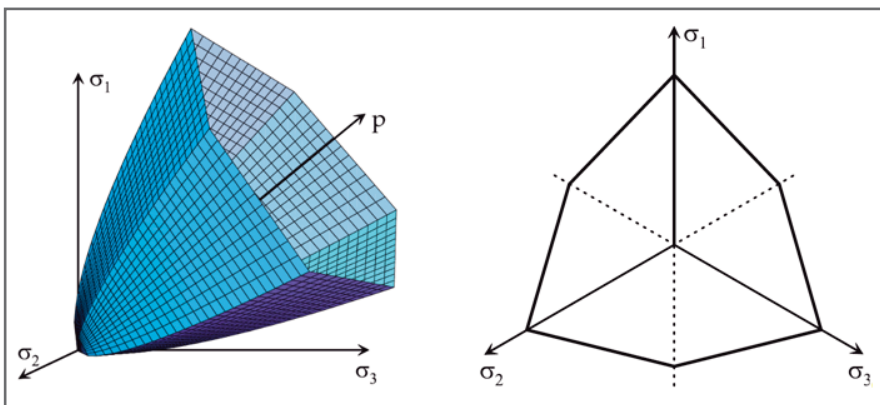


Рис. 1. Поверхность текучести Хука – Брауна в пространстве главных напряжений и на девиаторной плоскости

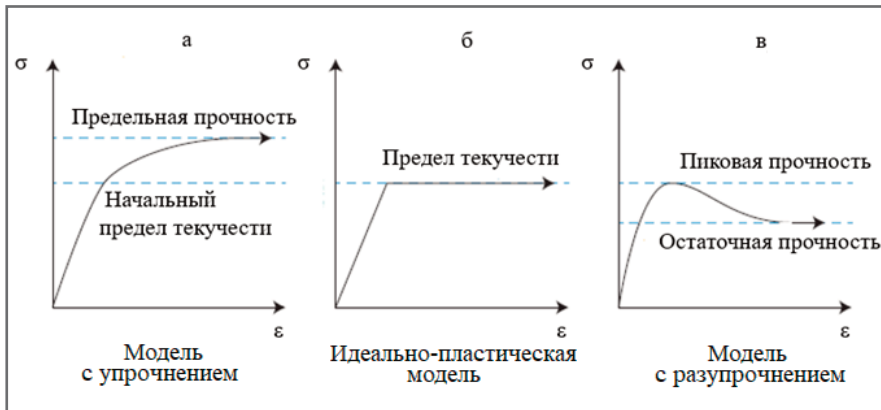


Рис. 2. Способы описания поведения материала при пластическом деформировании

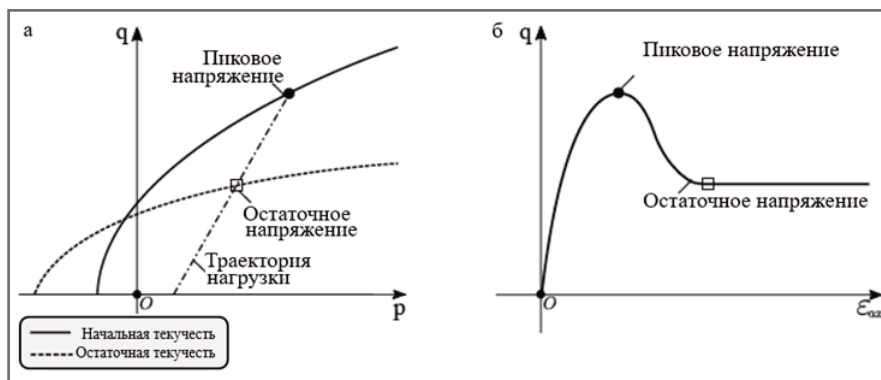


Рис. 3. Механическое поведение материала при трехосном нагружении: а – начальное и конечное положение поверхности текучести в процессе нагружения; б – пиковая и остаточная прочность в осях «напряжение – деформация»

нения/разупрочнения необходимо использовать пользовательскую модель, которая появилась в этой программе лишь в последние годы.

Важной частью любой механической модели является то, каким образом она описывает пластическое деформирование. На рисунке 2 представлены три основных варианта поведения материала при пластическом деформировании. В первом из них (см. рис. 2, а) материал достигает предела упругости, после чего его прочность повышается до предельной без ярко выраженного пика. Второй вариант (см. рис. 2, б) представляет собой идеализацию реального поведения. Что касается третьего случая, то, как отмечали Вермеер и Де Борст [21], феномен пиковой прочности, который на графике отражает характерная точка перегиба (см. рис. 2, в), связан с дальнейшим быстрым разупрочнением материала при активном формировании линий скольжения, которые усложняют качественное моделирование.

Обычно разупрочнение описывает процесс разрушения массивов скальных грунтов, который начинается с

появления микротрещин, за которым следует их дальнейшее раскрытие, распространение и, наконец, разрушение материала.

Вместе с тем принципиально важно учитывать остаточную прочность и траекторию ее достижения после разрушения. Как отмечал Хук, скальный порода хорошего качества разрушается хрупко, а с ухудшением ее качества, то есть с увеличением ее трещиноватости, ситуация стремится к представленной на рисунке 2, б.

Модель Хука – Брауна с разупрочнением ▶

Ряд программных комплексов позволяет учитывать остаточную прочность и переход к ней при идеально-хрупком разрушении. Но в Plaxis для этой цели необходимо применять пользовательскую модель Хука – Брауна с разупрочнением (Hoek & Brown model with softening – HBS) [15].

В основе модели HBS используется модифицированный критерий прочности, предложенный Цзяном (Jiang) [11]. Этот критерий гарантирует одновременно гладкость и выпуклость поверхности текучести.

Кроме того, базовая реализация модели дополнительно улучшена за счет следующих основных функций:

- исходной неассоциированной пластичности с возможностью моделирования нелинейного изменения дилатансии в постпиковом режиме;
- правил учета разупрочнения, которые описываются двумя разными формулами;
- ограничения напряжений в зоне растяжения;
- использования версии модели Хука – Брауна, зависящей от скорости деформирования, что необходимо для численных решений, основанных на первоначальном построении сетки конечных элементов, когда хрупкое разрушение характеризуется значительной концентрацией деформаций в узких полосах сдвига.

На рисунке 3 в графической форме описан механизм учета разупрочнения (остаточной прочности).

Для корректировки разбиения сетки конечных элементов и ее объективного учета после преодоления предела прочности используется так называемый метод вязкой регуляризации.

Основные формулы ▶

Для возможности учета влияния среднего главного напряжения на положение поверхности текучести Цзян (Jiang) и Чжао (Zhao) [12] предложили рассмотреть обобщение классической модели Хука – Брауна с точки зрения инвариантов напряжений (среднего напряжения p , девиаторного напряжения q и угла Лоде θ):

$$f_{HB} = \left(\frac{q^{1/a}}{\sigma_{ci}^{(1/a)-1}} \right) + A(\theta) \left(\frac{q}{3} m_b \right) - m_b p - s \sigma_{ci}, \quad (4)$$

где функция $A(\theta)$ принимается в соответствии со статьей [11]:

$$A(\theta) = \frac{\cos\left[\frac{2}{3} \arccos(k \cos(3\theta))\right]}{\cos\left[\frac{1}{3} \arccos(k)\right]} \quad \text{при } -1 < k \leq 0. \quad (5)$$

Введенный Цзяном и Чжао [12] параметр k можно рассматривать как дополнительный параметр модели, позволяющий лучше калибровать поведение образца скального грунта при девиаторном нагружении ($k = 0$ соответствует круглому сечению в девиаторной плоскости; $k \rightarrow -1$ соответствует круглому сечению, определенному Цзяном и Чжао [12], рис. 4). Хотя при $k \rightarrow -1$ этот параметр может гарантировать более точное приближение к исходной поверхности текучести модели Хука – Брауна (уравнению (1)), такая поверхность будет характеризоваться разры-

вом ее первой производной (градиента поверхности текучести $df/d\sigma_{ij}$) вдоль траекторий трехосных сжимающих напряжений. В связи с этим при трехосном напряженном состоянии рекомендуется избегать значения $k = -1$. Поэтому по умолчанию нижняя граница этого параметра соответствует значению минус 0,9999.

Представление критерия Хука – Брауна на рисунке 4, а (по Цзян [11]) нанесено на девiatorную плоскость, где сравниваются различные поверхности текучести при изменении параметра k . На основе анализа полученных диаграмм стоит отметить, что для осесимметричных траекторий напряжений трехмерное обобщение, предложенное Цзяном [11], сходится к исходной формуле модели (1). На рисунке 4, б функция $A(\theta)$ также построена для нескольких значений параметра k .

Для расчета пластических деформаций пластический потенциал был определен в форме, схожей с таковой для поверхности текучести. Уравнение для функции пластического потенциала отличается от формулы для поверхности текучести только на основе переменной m_ψ , что позволяет моделировать ассоциированный закон пластического течения в случае $m_b = m_\psi$:

$$\sigma_{ci} = \left(\frac{q}{\sigma_{ci}} \right)^{\frac{1}{a}} + A(\theta) \left(\frac{q}{3} m_\psi \right) - m_\psi p, \quad (6)$$

$$\begin{cases} \dot{\varepsilon}_v^p = \dot{\Lambda}(-m_\psi) \\ \dot{\varepsilon}_q^p = \dot{\Lambda} \left[\frac{1}{a} \left(\frac{q}{\sigma_{ci}} \right)^{1/a-1} + \frac{m_\psi}{3} \right] \end{cases}$$

Некоторые входные параметры модели HBS и их диапазоны в зависимости от типа скальных пород и влияющих факторов будут рассмотрены в следующих разделах.

Правило разупрочнения

Деградация материала при сдвиге моделируется с помощью правила разупрочнения, при котором уменьшение переменных упрочнения Γ_j задается как функция от эквивалентной пластической деформации ε_{eq}^p (накопленных значений пластических деформаций формоизменения), что позволяет описать разрушение материала при сдвиге.

В частности, гиперболический спад Γ_j приближается к его остаточному значению при больших значениях пластической деформации в соответствии

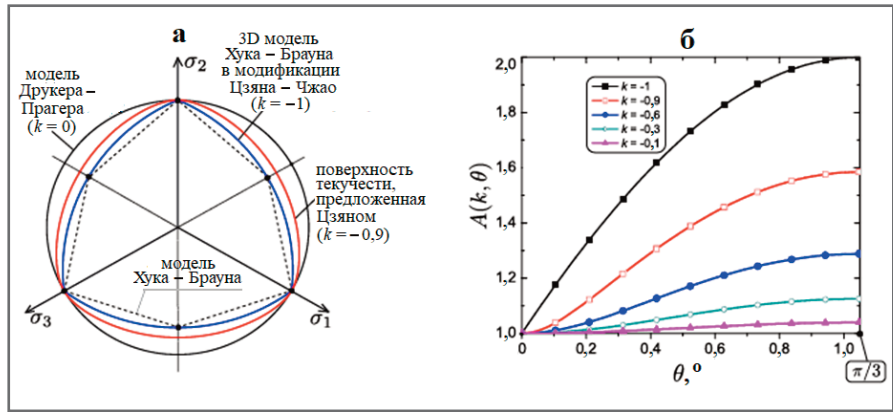


Рис. 4. Следы поверхностей текучести, предложенные Цзяном, при изменениях параметра k (а) и изменения функции $A(k, \theta)$ в зависимости от угла Лоде θ (б)

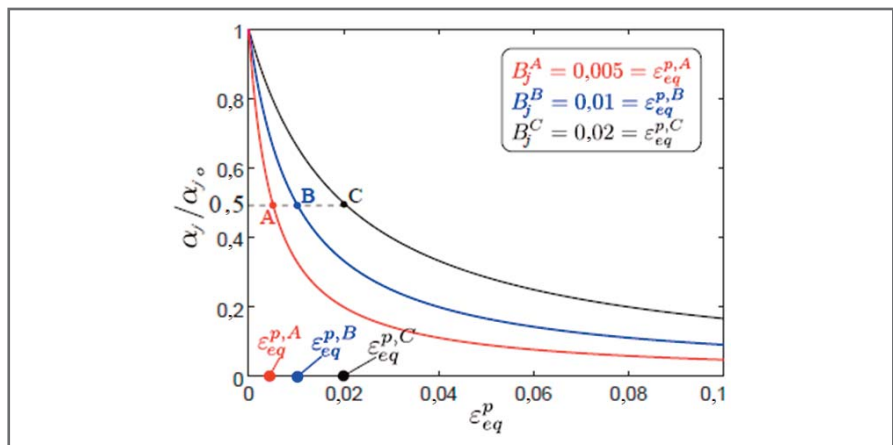


Рис. 5. Развитие нормализованной (приведенной к единичному размеру) переменной разупрочнения Γ_j по отношению к ее начальному значению Γ_{j0} . Кроме того, показано влияние параметра B_j на величину разупрочнения

с правилом разупрочнения, предложенным Барниконом (Barnichon, 1988) и Коллином (Collin, 2003):

$$\Gamma_j = \Gamma_{j0} - \left(\frac{\Gamma_{j0} - \Gamma_{jr}}{B_j + \varepsilon_{eq}^p} \right) \varepsilon_{eq}^p, \quad \varepsilon_{eq}^p = \int_0^t \dot{\varepsilon}_{eq}^p dt, \quad (7)$$

где Γ_{j0} , Γ_{jr} – соответственно начальная и остаточная величина Γ_j ; B_j – параметр материала, определяющий скорость разупрочнения и соответствующий j -той переменной упрочнения.

На рисунке 5 показаны нормированные изменения Γ_j для различных значений параметров B_j , где $B_j = \varepsilon_{eq}^p$ (некоторые значения Γ_j , при которых происходит 50%-ная деградация: $\Gamma_j = 0,5(\Gamma_{j0} + \Gamma_{jr})$).

В модели HBS величина остаточной прочности зависит от значения бокового давления σ_3 и также описывается критерием Хука – Брауна. В этом случае все параметры, включенные в этот критерий, обретают индекс r или res и служат для описания остаточной прочности. Исключение составляет параметр σ_{ci} , который имеет одну и ту же величину для уравне-

ний, описывающих предельную прочность, и для формул, описывающих остаточную прочность.

Исследовались и возможности для описания остаточной прочности в зависимости от величины всестороннего обжатия для разных типов скальных пород. При этом не существует какого-либо стандартизированного подхода для определения параметров по кривым остаточной прочности.

В программном комплексе Plaxis опционально можно выбрать один из следующих двух подходов для использования правила разупрочнения, представленного в уравнениях.

1. *Определение уменьшения показателей свойств материала m_b и s по предложению Алонсо (Alonso) и др. [6], Цзоу (Zou) и др. [23], которое далее именуется моделью предельного разупрочнения (Strength Softening Model – SSM).* При этом подходе уменьшение показателей свойств материала применяется напрямую через переменные m_b и s , как это было сделано в работе Маринелли (Marinelli) и др. [16], что позво-

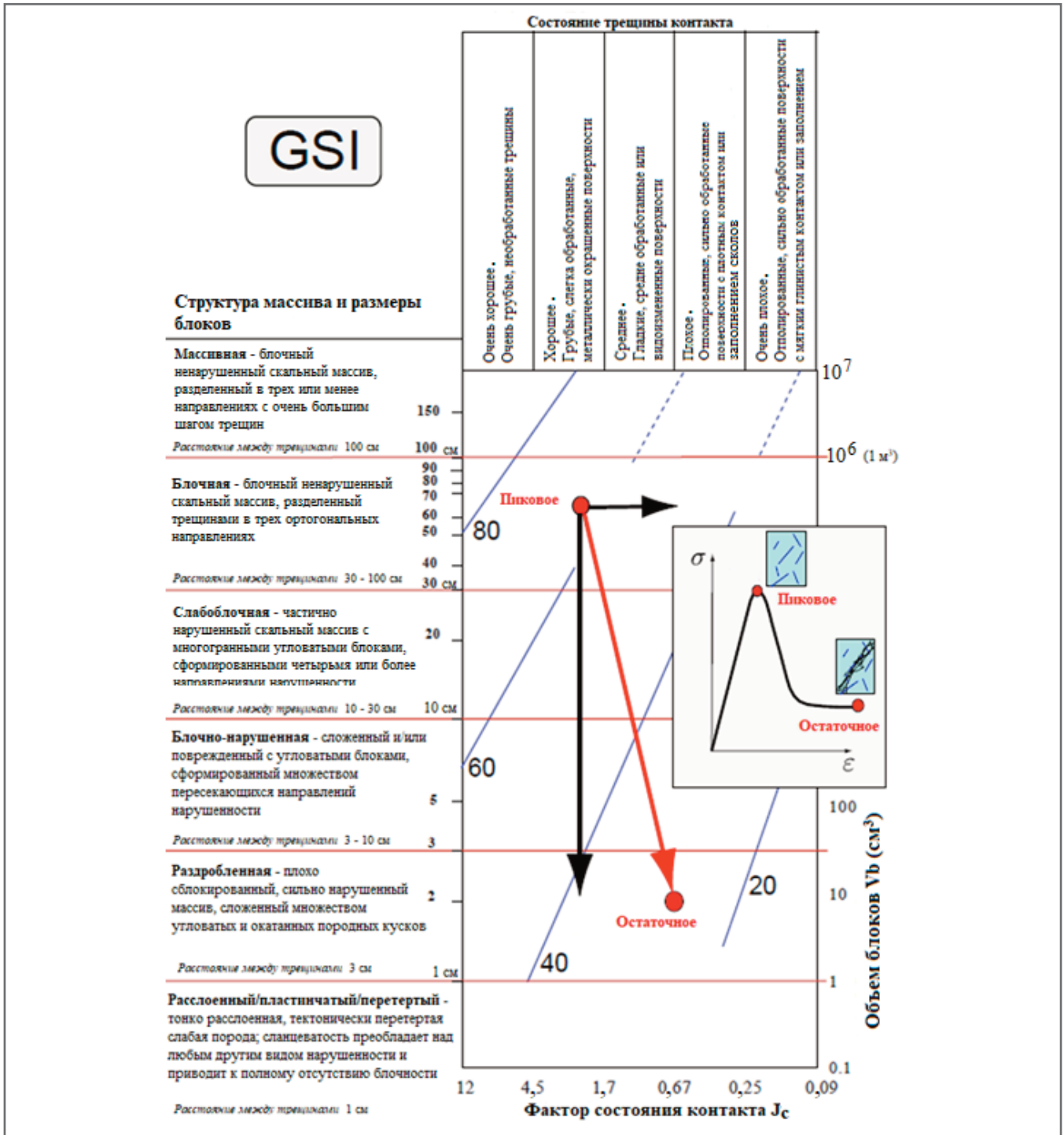


Рис. 6. Развитие GSI в процессе деградации массива горных пород

ляет представить уравнение (7) следующим образом:

$$\Gamma_j = \left[\begin{matrix} m_b \\ s \end{matrix} \right] = \left[\begin{matrix} m_{b_0} - \left(\frac{m_{b_0} - m_{b_r}}{B_m + \epsilon_{eq}^p} \right) \epsilon_{eq}^p \\ s_0 - \left(\frac{s_0 - s_r}{B_s + \epsilon_{eq}^p} \right) \epsilon_{eq}^p \end{matrix} \right] \cdot (8)$$

2. *Определение уменьшения геологического индекса прочности GSI*, как предложили Цай (Cai) и др. [7, 13, 19], которое далее именуется *моделью разупрочнения GSI (GSI Softening Model – GSM)*. Этот подход основан на предположении о том, что уравнения,

изначально предложенные Хуком (Hoek) [10] для связывания прочности ненарушенного образца с прочностью массива этого скального грунта *in situ*, также связывают прочность ненарушенного образца с остаточной прочностью изначально неповрежденной породы.

Цай (Cai) и др. [7] предложили формулу для получения остаточной величины геологического индекса прочности GSI_r на основе исходного значения GSI_0 (равного 100 для ненарушенного массива скальных грун-

тов). Эту величину можно использовать для оценки остаточной прочности массива с использованием обобщенного метода Хука – Брауна [10].

При этом GSI используется в качестве параметра упрочнения. Таким образом, разупрочнение материала происходит с помощью эмпирических соотношений, представленных в формуле (2). Такая стратегия согласуется с результатами исследования [7] по определению остаточных свойств массива скальных пород, согласно которым процесс разупрочне-

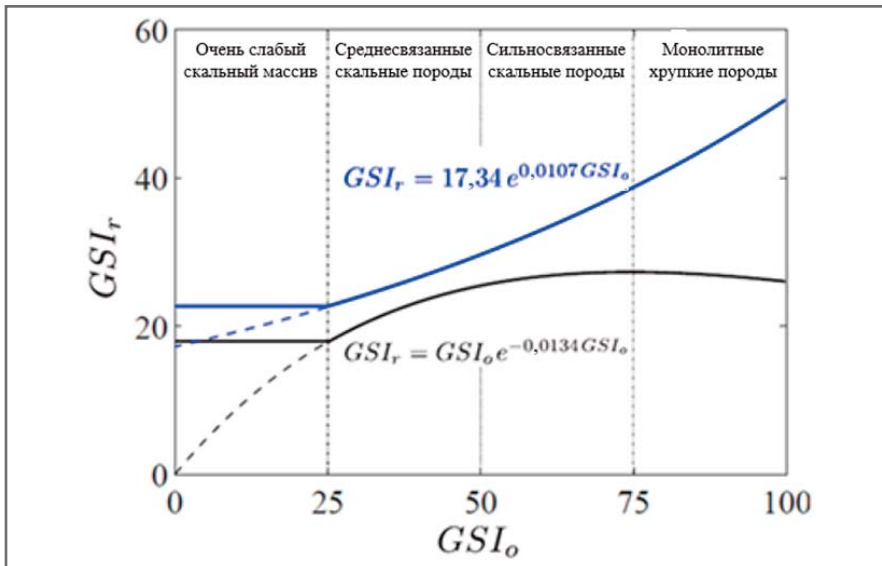


Рис. 7. Развитие GSI_r по формулам (11)

ния связан с комбинацией двух основных факторов:

- 1) развития микротрещин и других разрывов сплошности и нарушений;
- 2) гладкости поверхности скольжения, влияющей на прочность образца (рис. 6).

Ухудшение качества породы отражается через уменьшение GSI :

$$GSI = GSI_0 - \left(\frac{GSI_0 - GSI_r}{B_{GSI} + \epsilon_{eq}^p} \right) \epsilon_{eq}^p, \quad (9)$$

где GSI_0 и GSI_r – соответственно начальная и остаточная величина GSI ; B_{GSI} – параметр материала, определяющий скорость разупрочнения.

Подставив уравнение (9) в формулу (2), можно получить обобщенное выражение правила разупрочнения для рассматриваемого второго подхода GSM:

$$\Gamma_r = \begin{bmatrix} m_b \\ s \end{bmatrix} = \begin{cases} m_{b_0} \exp \left[\left(\frac{GSI_r - GSI_0}{28 - 14D} \right) \left(\frac{\epsilon_{eq}^p}{B_{GSI} + \epsilon_{eq}^p} \right) \right] \\ s_0 \exp \left[\left(\frac{GSI_r - GSI_0}{9 - 3D} \right) \left(\frac{\epsilon_{eq}^p}{B_{GSI} + \epsilon_{eq}^p} \right) \right] \end{cases}. \quad (10a)$$

Важно отметить, что для согласования с параметрами, определяющими критерий текучести и систему GSI (см. формулу (1)), показатель степени α (см. формулу (1)) может быть добавлен между переменными упрочнения, указанными в векторе Γ , – и таким образом будет установлена зависимость между α и GSI . Для простоты, а также из-за ограниченного диапазона значений α этот коэффициент будет оставаться постоянным и, соответственно, будет определяться по начальному значению GSI :

$$\alpha = 0.5 + [\exp(-GSI_0/15) - \exp(-20/3)]/6. \quad (10б)$$

На рисунке 6 продемонстрировано развитие GSI в процессе деградации массива скальных грунтов.

В последние десятилетия для оценки остаточных значений m_b и s в литературе было предложено несколько эмпирических соотношений. Рибакки (Ribacchi) [20] предложил вычислять m_{br} и s_r как доли от их начальных значений: $m_{br} = 0,65m_{b0}$; $s_r = 0,04s_0$. В дальнейшем это предложение было усовершенствовано за счет изменения указанных соотношений в зависимости от GSI . В этом направлении Цай (Cai) и др. [7] и Алехано (Alejano) и др. [5] получили следующие эмпирические соотношения для GSI_r как функции GSI_0 :

$$\begin{aligned} GSI_r &= GSI_0 \cdot e^{-0.0134 \cdot GSI_0}, 25 < GSI_0 < 75 \quad [13]; \\ GSI_r &= 17,34 \cdot e^{0.0107 \cdot GSI_0}, 25 < GSI_0 < 75 \quad [16]. \end{aligned} \quad (11)$$

Эволюция GSI_r согласно формулам (11) показана на рисунке 7, где качество породы указано в зависимости от начального значения GSI_0 . Стоит отметить, что для значений $GSI_0 \leq 25$ предлагается ввести ограничение для уравнений (11) (см. рис. 7), что вытекает из недостаточной изменяемости параметров m_{b0} , s_0 и α (рассчитанных для $GSI_0 \leq 25$).

Нелинейная дилатансия скальных грунтов ▶

Понимание поведения скальных грунтов после достижения поверхности текучести и развития пластических деформаций является критически важной составляющей при решении геомеханических задач. В вопросах строительства горных выработок точное предсказание зоны развития пластических деформаций имеет существенное влияние на параметры крепления и устойчивость обнажений скальных пород.

Модель должна достоверно учитывать развитие объемных деформаций после достижения предела прочности. Для этой цели обычно вводят угол дилатансии ψ , определяемый по следующей формуле [21]:

$$\sin \psi = \frac{\epsilon_v^p}{-2\epsilon_1^p + \epsilon_v^p} \text{ или } \epsilon_v^p = 2\epsilon_1^p \left(\frac{\sin \psi}{\sin \psi - 1} \right). \quad (12)$$

Подставив выражение для пластического потенциала (6) в уравнение (12), можно связать угол дилатансии с параметром модели Хука – Брауна:

$$\sin \psi = \frac{m_\psi}{\frac{2}{a} \left(\frac{q}{\sigma_{ci}} \right)^{1/a-1} + m_\psi}. \quad (13)$$

В условиях трехосного нагружения уравнение (13) эквивалентно классической формуле (1). В таком случае дилатансию можно выразить следующим образом:

$$\sin \psi = \frac{m_\psi}{\frac{2}{a} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^{1/a-1} + m_\psi} \quad (14)$$

или

$$m_\psi = \frac{2}{a} \left[\frac{\sin \psi}{1 - \sin \psi} \right] \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^{1/a-1}. \quad (15)$$

В уравнении (15) нелинейное изменение m_ψ как функции пластической деформации может быть задано при использовании одной из формул, представленных в литературе [4, 22 и др.]. В предложенной модели тенденция поведения угла дилатансии обеспечивается за счет явной изменяемости m_ψ (для формул SSM и GSM), что гарантирует плавный переход от ассоциированной пластичности к неассоциированной, а также уменьшение угла дилатансии по мере перехода к запредельной прочности. Хотя уравнение (15) не рассматривается для моделирования дилатансии, оно будет учтено для определения начального значения этого параметра ($m_{\psi 0}$).

Моделирование дилатансии для моделей типа Хука – Брауна ▶

Для рассмотренного выше подхода SSM изменение переменной m_ψ описывается формулой:

$$m_\psi = m_{\psi 0} - \left(\frac{m_{\psi 0} - m_{\psi r}}{B_\psi + \epsilon_{eq}^p} \right) \epsilon_{eq}^p \quad (\text{модель SSM}). \quad (16)$$

Уравнение (16) может быть упрощено. При исключении переменной $m_{\psi r}$ (которая приблизительно равна нулю) получим:

$$m_{\psi} = m_{\psi 0} \left(\frac{B_{\psi}}{B_{\psi} + \varepsilon_{eq}^p} \right). \quad (17)$$

Для рассмотренного выше подхода GSM изменение переменной m_{ψ} описывается уравнением:

$$m_{\psi} = m_{\psi 0} \left[\frac{GSI - 100}{F_{\psi}(28 - 14D)} \right] \text{ (модель GSM),} \quad (18)$$

где F_{ψ} – параметр, введенный для возможности снижения m_{ψ} при уменьшении GSI.

Подставив выражение для GSI (9) в уравнение (18), можно описать развитие m_{ψ} следующим образом:

$$m_{\psi} = m_{\psi 0} \exp \left[\left(\frac{GSI_r - GSI_0}{F_{\psi}(28 - 14D)} \right) \left(\frac{\varepsilon_{eq}^p}{B_{GSI} + \varepsilon_{eq}^p} \right) \right] \text{ (модель GSM).} \quad (19)$$

Чтобы разделить влияние параметра на учет качества массива скальных грунтов и на вклад породы ненарушенной структуры, F_{ψ} можно представить так:

$$F_{\psi} = \left(\frac{GSI_0 - GSI_r}{GSI_0^i - GSI_r^i} \right) F_{\psi}^i, \quad (20)$$

где GSI_0^i , GSI_r^i – начальная и остаточная величина GSI для ненарушенного образца скального грунта ($GSI_0^i = 100$; $GSI_r^i \approx 35$); F_{ψ}^i – показатель дилатансии скальной породы ненарушенной структуры (поэтому он может быть определен на основе экспериментальных данных путем калибровки).

Значение $m_{\psi 0}$ можно определить путем калибровки этого параметра на основе результатов лабораторных испытаний (по [14]). В следующем разделе описывается методика, позволяющая качественно оценить $m_{\psi 0}$ и связываются принятые формулы с эмпирическими соотношениями, предлагаемыми в литературе.

Определение параметра $m_{\psi 0}$ ▶

Чтобы рассмотреть возможный способ введения зависимости GSI от значения начального угла дилатансии, уравнение (15) рассматривается как характеризующее дилатансию с начала текучести, то есть используются значения параметров m_{b0} и ψ_0 . Тогда получается:

$$m_{\psi 0} = \frac{2}{a} \left[\frac{\sin(\psi_0^{rm})}{1 - \sin(\psi_0^{rm})} \right] \left(m_{b0} \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s_0 \right)^{1-a}. \quad (21)$$

Формулой (21) будет описываться влияние массива скального грунта не только на параметры критерия текуче-

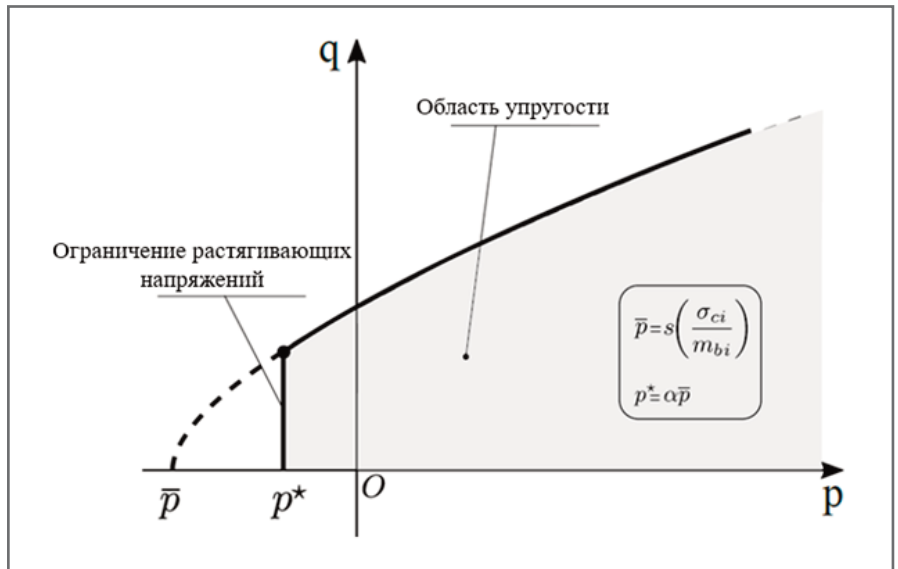


Рис. 8. Схематичное представление принципа работы функции, ограничивающей зону растягивающих напряжений

сти Хука – Брауна (m_{b0}, σ_0) но и на выражение начального угла дилатансии ψ_0^{rm} (верхний индекс rm обозначает состояние массива скальной породы). Эффект перехода от ненарушенной структуры образца к структуре массива скального грунта будет введен через скалярную величину ζ в соответствии с формулой, предложенной Алехано (Alejano) и др. [5] ($\psi_0^{rm} \equiv \zeta \psi_0^{ir}$, где верхний индекс ir обозначает ненарушенный скальный грунт (intact rock)).

Ненарушенный скальный грунт ▶

В предложенной модели и потеря прочности, и развитие дилатантного поведения ненарушенного скального грунта не учитывают потенциальные диссипативные явления перед пиковой прочностью. По этой причине начальный угол дилатансии можно считать совпадающим с его пиковым значением ($\psi_0^{ir} \equiv \zeta \psi_{peak}^{ir}$), которое можно использовать для расчета $m_{\psi 0}$. Таким образом, вместо определения параметра $m_{\psi 0}$ по экспериментальным данным можно использовать уравнения, предложенные в литературе для оценки угла дилатансии на пределе прочности, например выведенные Уолтоном (Walton) и Дидерихсом (Diederichs) [22]:

$$\psi_{peak} = \begin{cases} \varphi_{peak} \left(1 - \frac{\beta'}{\Omega} \sigma_3 \right), & \text{если } \sigma_3 < \Omega \\ \varphi_{peak} (\beta_0 - \beta' \ln \sigma_3), & \text{если } \sigma_3 > \Omega \end{cases}, \quad \Omega = e^{-(1-\beta_0-\beta')/\beta'}. \quad (22)$$

где β_0 , β' – параметры, контролирующие чувствительность к боковому давлению для высоких и низких значений соответственно (для кристаллических пород рекомендуются значения $\beta_0 = 1$;

$\beta' = 0,1$ [22]); φ_{peak} – угол внутреннего трения на пределе прочности.

Теперь необходимо определить предельный угол внутреннего трения φ_{peak} , который может быть связан со свойствами материала модели Хука – Брауна [5]:

$$\sin \varphi_{peak} = \frac{m_b}{\frac{2}{a} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^{1-a} + m_b}. \quad (23)$$

В уравнение (23) могут быть подставлены параметры ненарушенного скального грунта ($\alpha = 0,5$; $m_b \equiv m_c$), что для его образцов приводит к следующей формуле:

$$\sin \varphi_{peak} = \frac{m_i}{4 \cdot \sqrt{m_i \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + 1} + m_i}. \quad (24)$$

Влияние на состояние массива скального грунта ▶

Чтобы скорректировать величину пикового угла дилатансии для трещиноватого скального грунта, значение ψ_0^{rm} рассчитывается на основе ψ_0^{ir} и скалярной величины ζ , которая выражается как функция геологического индекса прочности GSI [4, 8]. По этой причине была принята линейная зависимость от среднего угла дилатансии, предложенная Алехано (Alejano) и др. [5]:

$$\psi_0^{rm} = \zeta \cdot \psi_{peak}^{ir}, \quad \zeta = \begin{cases} 0, & GSI_0 \leq 25 \\ \frac{(GSI_0 - 25)}{50}, & 25 \leq GSI_0 < 75, \\ 1, & GSI_0 \geq 75 \end{cases} \quad (25)$$

где ζ – коэффициент, учитывающий начальное состояние массива скального грунта, который определяется через GSI_0 .

Уравнение (25) подчеркивает связь механических свойств скальных пород

User-defined model			User-defined model		
DLL file		hb_soft64.dll	DLL file		hb_soft64.dll
Model in DLL		HB_SSM	Model in DLL		HB_GSM
Parameters			Parameters		
E	kN/m ²	0.00000	E	kN/m ²	0.00000
v		0.00000	v		0.00000
D		0.00000	D		0.00000
GSI _{ini}		0.00000	GSI _{ini}		0.00000
α		0.00000	α		0.00000
m _i		0.00000	m _i		0.00000
m _{v,ini}		0.00000	m _{v,ini}		0.00000
m _{res}		0.00000	GSI _{res}		0.00000
s _{res}		0.00000	σ _{ci}	kN/m ²	0.00000
m _{v,res}		0.00000	B _{gsi}		0.00000
σ _{ci}	kN/m ²	0.00000	F _v		0.00000
B _{m₀}		0.00000	γ		0.00000
B _s		0.00000	k		0.00000
B _v		0.00000			
γ		0.00000			
k		0.00000			

Рис. 9. Входные параметры для моделей HB_SSM (слева) и HB_GSM (справа)

с протекающей дилатансией. Массивы скальных грунтов с низкой прочностью (например, имеющие $GSI_0 < 25$) характеризуются нулевой дилатансией, в то время как для скальных пород с высокой прочностью ($GSI_0 > 75$) значение угла дилатансии равно таковому для ненарушенной породы.

Функция, ограничивающая зону растяжения

Чтобы ввести функцию, ограничивающую зону растягивающих напряжений, среднее напряжение на углу поверхности текучести Хука – Брауна снижается за счет параметра α, который находится в диапазоне от 0 до 1 (рис. 8):

$$0 \leq \alpha \leq 1, \begin{cases} \alpha = 1 \rightarrow p' = \bar{p}; & \text{зона растяжения не ограничена,} \\ \alpha = 0 \rightarrow p' = 0; & \text{зона растяжения отсутствует,} \end{cases} \quad (26)$$

где $\bar{p} = \frac{\sigma_t + \sigma_{ci}}{3}$ - среднее напряжение на углу поверхности текучести HB;
 $p' = \alpha \bar{p}$ - среднее напряжение, ограничивающее растягивающие напряжения модели.

Для зоны растягивающих напряжений используется ассоциированный закон пластического течения (когда вектор пластической деформации в девиаторном пространстве направлен по нормали к поверхности текучести. – *Ред.*), который характеризуется механизмом идеально-пластического течения (то есть когда $m_b \equiv m_{b0}$; $s_0 \equiv s$). Пользователь может рассчитать величину α и соответствующее значение p^* , исходя из предела прочности на растяжение σ_t , полученного по результатам лабораторных испытаний.

Так, предел прочности на одноосное растяжение связан с соответствующим ему средним напряжением p^* и параметром α следующими уравнениями:

$$p^* = \alpha \bar{p} = \frac{\sigma_t}{3} = a \left(\frac{\sigma_{ci}}{\sigma_t} \right); \quad (27)$$

$$a = \frac{1}{3} \left(\frac{\sigma_t}{\sigma_{ci}} \right) \frac{m_{b0}}{s_0}.$$

Для ненарушенных скальных грунтов уравнение (27) принимает вид:

$$a = \left(\frac{\sigma_t}{\sigma_{ci}} \right) \cdot \left(\frac{m_i}{3} \right). \quad (28)$$

В рассматриваемой модели параметр α по умолчанию установлен равным 0,5.

Входные параметры для моделей HB_SSM и HB_GSM

Для моделей HB_SSM и HB_GSM входными являются такие классические упругие параметры, как модуль деформации E и коэффициент Пуассона ν, а также предельная прочность ненарушенного скального грунта при отсутствии бокового давления (σ_{ci}), безразмерный параметр ненарушенной скальной породы m_i , геологический индекс прочности GSI, коэффициент нарушенности D (рис. 9–11; таблицы 1–5).

Что касается параметра γ (см. таблицу 1), то в обоих подходах (моделях HB_SSM и HB_GSM) он отражает вязкость (свойство материала, обратное текучести) и вводится для корректировки сетки конечных элементов при численном решении с локализацией деформаций. Величина γ определяет степень ползучести модели, устанавливая степень чувствительности механической реакции на воздействие. В контексте рассматриваемой модели параметр γ в том числе используется как «переключатель», позволяющий пользователю выбирать либо упругопластический, либо вязкопластический вариант модели или ее аналога в зависимости от скорости деформирования. При $\gamma \leq 0$ модель является упругопластической (когда механическая реакция не зависит от времени), а при $\gamma > 0$ модель является вязкопластической (когда механическая реакция зависит от времени).

Введение вязкопластической функции способно моделировать не только зависящую от скорости деформирования механическую реакцию при быстром динамическом процессе, но и способствует регуляризации проблем краевых условий во время развития локализации деформации.

Параметры состояния модели могут быть отображены в программе вывода данных Plaxis Output при следующей

Таблица 1. Входные параметры для моделей HB_SSM и HB_GSM, полученные по результатам калибровки для скального грунта ненарушенной структуры

Параметр	Обозначение	Ед. изм.
<i>Общие параметры для обеих моделей</i>		
Модуль Юнга	E	ГН/м ²
Коэффициент Пуассона	ν	-
Коэффициент нарушенности	D	-
Начальная величина GSI	GSI _{ini} или GSI ₀	-
Безразмерный параметр ненарушенной структуры	m_i	-
Начальная величина m_ϕ	$m_{\phi i}$ или $m_{\phi 0}$	-
Величина предела прочности ненарушенной и необжатой скальной породы	σ_i	МН/м ²
Вязкость (величина, обратная текучести)	γ	-
Параметр, регулирующий форму поверхности текучести HB	k	-
Параметр, ограничивающий область растягивающих напряжений	α	-
<i>Параметры модели SSM</i>		
Остаточное значение m_i	m_{brs} или m_{br}	-
Остаточное значение S	S_{rs} или S_r	-
Остаточное значение m_ϕ	$m_{\phi rs}$ или $m_{\phi r}$	-
Параметр, регулирующий степень изменения m_i/m_{i0} при разупрочнении	B_{mb}	-
Параметр, регулирующий степень изменения S при разупрочнении	B_s	-
Параметр, регулирующий степень изменения дилатансии при разупрочнении	$B_{m\phi}$ или B_ϕ	-
<i>Параметры модели GSM</i>		
Остаточная величина геологического индекса прочности	GSI _{res}	-
Параметр, регулирующий процесс разупрочнения (регулирующий степень изменения GSI при разупрочнении)	B_{GSI}	-
Параметр, регулирующий степень изменения угла дилатансии	F_ϕ	-

Таблица 2. Значения предельной прочности ненарушенного образца скального грунта при отсутствии бокового давления (σ_{ci}) для различных типов пород

Скальная порода		Полевая оценка прочности	Диапазон σ_{ci} , МПа ($\kappa\text{Н/м}^2 \times 10^5$)
Крайне (исключительно) прочная	Кремень, диабаз, невыветрелый базальт, гнейс, гранит, кварцит	Возможно только скалывание геологическим молотком)	>250
Очень прочная	Амфиболит, габбро-базальт, гнейс, гранодиорит, песчаник, мрамор, риолит, известняк, туф	Для разламывания требуется множество ударов геологическим молотком	100–250
Прочная	Известняк, мрамор, филлит, песчаник, сланец	Для разламывания требуется больше одного удара геологическим молотком	50–100
Умеренно (средне-) прочная	Аргиллит, уголь, бетон, сланец, алевролит	Образец можно разломать одним ударом геологического молотка, однако невозможно соскабливание его тонкого слоя перочинным ножом	25–50
Непрочная (слабая)	Мел, каменная соль	Сильный удар острием геологического молотка оставляет углубление; соскабливание тонкого слоя перочинным ножом возможно, но затруднено	5–25
Очень непрочная (очень слабая, сильно нарушенная или видоизмененная)		Сильный удар острием геологического молотка приводит к разрушению; соскабливание тонкого слоя перочинным ножом возможно	1–5
Крайне непрочная (напоминающая плотный дисперсный грунт)		Ноготь большого пальца оставляет на поверхности образца углубление	0,25–1



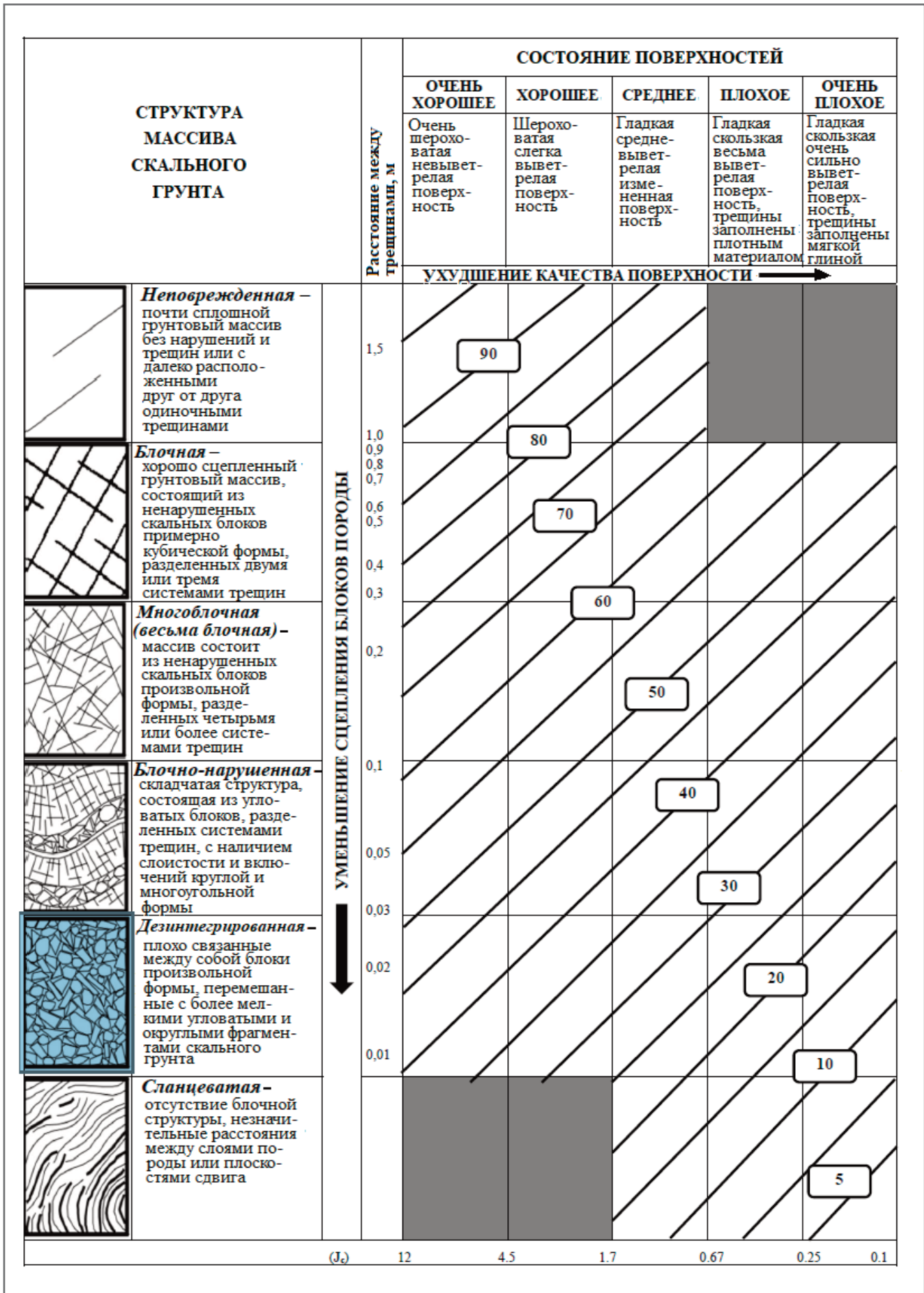


Рис. 10. Оценка среднего значения геологического индекса прочности (GSI) с учетом литологии, структуры, текстуры и состояния поверхностей стенок трещин и других нарушений сплошности по Э. Хуку. Значения GSI показаны цифрами в прямоугольниках, расположенных на соответствующих косых линиях

Таблица 3. Значения безразмерного параметра ненарушенного образца скальной породы m_i для различных типов скальных пород

Порода	$m_i \pm \Delta m_i$	Порода	$m_i \pm \Delta m_i$
Агломерат (IG, CO)	19 ± 3	Амфиболит (EE, ME)	26 ± 6
Андезит (IG, ME)	25 ± 5	Ангидрит (SE, FI)	12 ± 2
Базальт (IG, FI)	25 ± 5	Брекчия (IG)	19 ± 5
Брекчия (SE)	19 ± 5	Мел (SE, VF)	7 ± 2
Аргиллит (SE, VF)	4 ± 2	Конгломераты (SE, CO)	21 ± 3
Кристаллический песчаник (SE, CO)	12 ± 3	Дацит (IG, FI)	25 ± 3
Диабаз (IG, FI)	15 ± 5	Диорит (IG, FI)	25 ± 5
Долерит (IG, ME)	16 ± 5	Доломит (SE, VF)	9 ± 3
Габбро (IG, CO)	27 ± 3	Гнейс (EE, FI)	28 ± 5
Гранит (IG, CO)	32 ± 3	Гранодиорит (IG, CO/ME)	29 ± 3
Граувакка (SE, FI)	18 ± 3	Гипс (SE, ME)	8 ± 2
Роговик (EE, ME)	19 ± 4	Мрамор (EE, CO)	9 ± 3
Мергель (SE, VF)	7 ± 2	Метапесчаник (EE, ME)	19 ± 3
Микритный известняк (SE, FI)	9 ± 2	Мигматит (EE, CO)	29 ± 3
Норит (IG, CO/ME)	20 ± 5	Обсидиан (IG, VF)	19 ± 3
Перидорит (IG, VF)	25 ± 5	Филлит (EE, FI)	7 ± 3
Порфиры (IG, CO/ME)	20 ± 5	Кварцит (EE, FI)	20 ± 3
Риолит (IG, ME)	25 ± 5	Песчаник (SE, ME)	17 ± 3
Сланцы кристаллические (EE, ME)	12 ± 3	Сланцы глинистые (SE, VF)	6 ± 2
Алевролиты (SE, FI)	7 ± 2	Сланцевый шифер (EE, VF)	7 ± 4
Спаритовый известняк (SE, ME)	10 ± 2	Туф (IG, FI)	13 ± 5

Примечания: m_i – безразмерный параметр ненарушенной породы, который в значительной степени влияет на степень нелинейности предельной огибающей Хука в плоскости « $\sigma_1 - \sigma_3$ » и который снижается до величины m_b в зависимости от степени нарушения массива (при $GSI = 100m_b = m_i$); для обозначения размеров зерен используются следующие аббревиатуры: VC – очень крупные, CO – крупные, ME – средние, FI – мелкие, VF – очень мелкие; для обозначения типов пород по происхождению применяются следующие аббревиатуры: IG – магматические, EE – метаморфические, SE – осадочные.

Таблица 4. Рекомендации по выбору коэффициента нарушения массива пород D [3]

Способ разработки месторождения	Значение D	Характеристики нарушения
Подземная разработка (замкнутые условия)	0	Хорошее качество пород. Минимальные нарушения. Механический способ проходки
	0,5	Случаи, когда горное давление приводит к нарушению приконтурного массива, а также к обрушениям массива. Буровзрывной способ проходки
	0,8	Выработка, пройденная с применением буровзрывного способа проходки, который приводит к нарушению приконтурного массива на глубину до 2–3 м
Открытая разработка (карьер)	0,7	Контролируемый взрыв (> 80% следов от ствола)
	1	Струйная обработка низкого качества (< 50% следов от ствола)
	0,7	Применение механической лопаты для разработки в слабых породах
	1	Добыча открытым способом – взрывные работы на карьерах

Таблица 5. Качественные показатели для определения коэффициента нарушенности массива пород D (см. рис. 10)

Коэффициент нарушенности D	
Описание	Значение
Проходка выработки щитовым ТПМК или взрывные работы отличного качества (см. рис. 10, а)	0
Проходка выработки вручную с использованием механического разрушения забоя преимущественно перед буровзрывными работами в породах низкого качества. Не происходит выпора породы в районе выработки или он смягчен путем установки обратного свода (см. рис. 10, б)	0
Проходка выработки вручную с использованием механического разрушения породы в забое преимущественно перед буровзрывными работами в породах низкого качества. Происходит явный выпор породы в районе выработки (см. рис. 10, в)	0,5
Разработка породы с использованием буровзрывных работ плохого качества, ведущая к серьезным локальным повреждениям (см. рис. 10, г)	0,8
Откос, создаваемый с помощью контролируемых взрывных работ малых объемов и хорошего качества (см. рис. 10, д)	0,7
Откос, создаваемый с помощью взрывных работ малых объемов и плохого качества (см. рис. 10, е)	0,7
Откос, создаваемый при большой открытой разработке пород массовыми взрывами (см. рис. 10, ж)	1
Откос, создаваемый при большой открытой разработке слабых (мягких) пород механизированным способом (см. рис. 10, з)	1

Примечание: коэффициент D зависит от степени нарушенности массива пород в результате проведения их разработки, взрывных работ и снятия напряжений и варьирует от 0 для ненарушенных массивов до 1 для сильно нарушенных массивов.

последовательности выбора: Stresses → State parameters → User → User-defined parameters. Всего может быть выбрано четыре параметра состояния:

- ε_p^{eq} ;
- m_p, δ ;
- m_ψ ;
- последний выбранный параметр используется внутренне, для инициализации задачи в начале вычисления.

Заключение ►

Автор обзора, составленного на основе адаптированного перевода руководства по использованию модели Хука – Брауна с разупрочнением (Hoek & Brown model with softening – HBS) [15] и дополнительной информации, надеется, что эта модель поможет российским специалистам значительно повысить качество прогнозов поведения массивов скальных пород в реальных условиях геотехнического строительства. Ведь точность таких прогнозов имеет огромное влияние на надежность и рациональность проектных решений (например, в отношении устойчивости забоя и прилегающего свода горной выработки, влияния выбранной технологии проходки на негативные геомеханические процессы во вмещающих грунтах, поведения подземных выработок при сейсмических нагрузках, правильности выбора параметров систем креплений котлованов, траншей или тоннелей, устойчивости незакрепленных обнажений скальных пород и даже, возможно, динамических проявлений горного давления в виде горных ударов). **И**

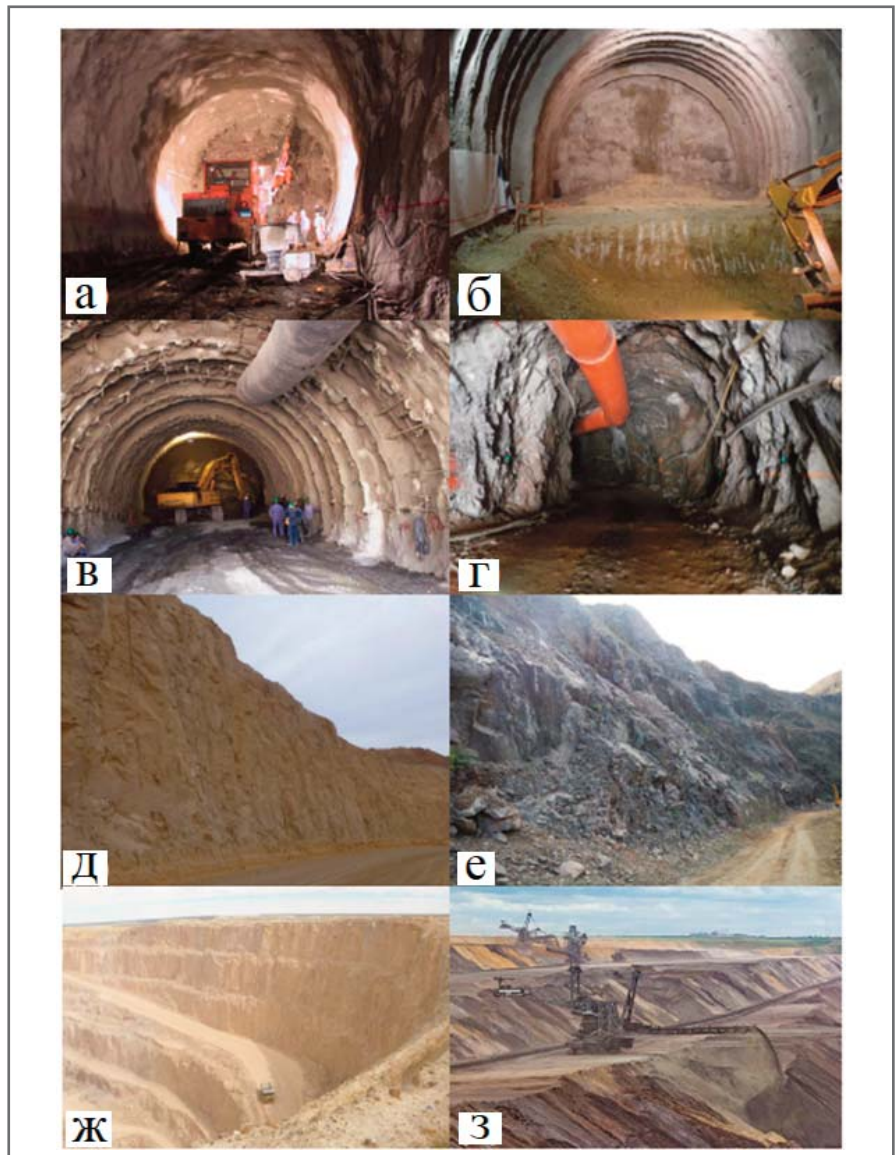


Рис. 11. Различные случаи строительства, связанные с величиной коэффициента нарушенности D (пояснения см. в таблице 5)

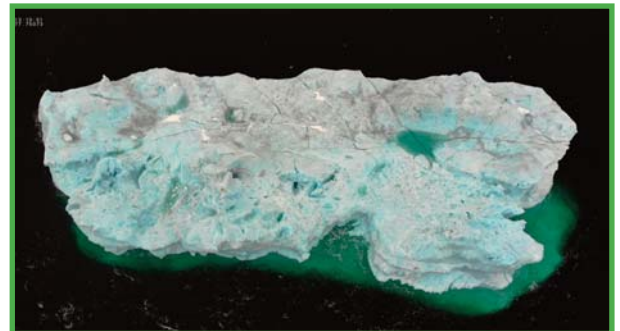
Список литературы ▶

1. Бринкгреве Р. Работа в PLAXIS. Поведение скальных грунтов (перевод на рус. яз.) // ГеоИнфо. 08.07.2021. URL: geoinfo.ru/product/brinkgreve-ronald/rabota-v-plaxis-povedenie-skalnyh-gruntov-44941.shtml.
2. Бринкгреве Р., Кумарсвами С., Сволфс В.М., Фория Ф. PLAXIS 3D. Руководство пользователя. М.: ООО «НИПИ-Информатика», 2017. 816 р.
3. Нгуен Ван Минь. Прогноз мощности зон растягивающих деформаций при проходке подготовительных горных выработок на глубине свыше 1 км: диссертационная работа. М: МИСиС, 2021. URL: misis.ru/files/19586/07.09.2021%20Диссертация.pdf.
4. Alejano L., Alonso E. Considerations of the dilatancy angle in rocks and rock masses // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2005. Vol. 42. № 4. P. 481–507.
5. Alejano L., Alonso E., Rodríguez-Dono A., Fernández-Manín G. Application of the convergence confinement method to tunnels in rock masses exhibiting Hoek-Brown strain softening behavior // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2010. Vol. 47. № 1. P. 150–160.
6. Alonso E., Alejano L., Varas F., Fdez-Manin G., Carranza-Torres C. Ground response curves for rock masses exhibiting strain-softening behavior // International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics. 2003. Vol. 27. № 13. P. 1153–1185.
7. Cai M., Kaiser P., Tasaka Y., Minami M. Determination of residual strength parameters of jointed rock masses using the GSI system // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2007. Vol. 44. № 2. P. 247–265.
8. Hoek E., Brown E.T. Practical estimates of rock mass strength // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 1997. Vol. 34. № 8. P. 1165–1186.
9. Hoek E., Brown E.T. The Hoek-Brown failure criterion and GSI (2018 Edition) // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2019. Vol. 11. № 3. P. 445–463.
10. Hoek E., Carranza-Torres C., Corkum B. Hoek-Brown failure criterion (2002 edition) // Proceedings of the NARMS-TAC Conference, Toronto, 2002. Vol. 1. P. 267–271.
11. Jiang H. A failure criterion for rocks and concrete based on the Hoek-Brown criterion // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2017. Vol. 95. P. 62–72.
12. Jiang H., Zhao J. A simple three-dimensional failure criterion for rocks based on the Hoek-Brown criterion // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2015. Vol. 48. № 5. P. 1807–1819.
13. Manouchehrian A., Cai M. Analysis of rockburst in tunnels subjected to static and dynamic loads // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2017. Vol. 9. № 6. P. 1031–1040.
14. Marinelli F., Buscarnera G. A generalized backward Euler algorithm for the numerical integration of a viscous breakage model // International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics. 2019. Vol. 43. № 1. P. 3–29.
15. Marinelli F., Zalamea N., Brasile S., Brinkgreve R.B.J. An advanced Hoek & Brown model with softening: user manual. Delft: Plaxis bv, 2019. URL: communities.bentley.com/products/geotech-analysis/w/plaxis-soilvision-wiki/46245/udsm---hoek-brown-model-with-softening.
16. Marinelli F., Zalamea N., Vilhar G., Brasile S., Cammarata G., Brinkgreve R. Modeling of brittle failure based on Hoek & Brown yield criterion: parametric studies and constitutive validation // Proceedings of the 53rd US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium, 2019.
17. Marinos V., Marinos P., Hoek E. The geological strength index: applications and limitations // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 2005. Vol. 64. № 1. P. 55–65.
18. Perzyna P. Fundamental problems in viscoplasticity // Advances in Applied Mechanics. 1966. Vol. 9. P. 243–377.
19. Ranjbarnia M., Fahimifar A., Oreste P. Analysis of non-linear strain-softening behaviour around tunnels // Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Geotechnical Engineering. 2015. Vol. 168. № 1. P. 16–30.
20. Ribacchi R. Mechanical tests on pervasively jointed rock material: insight into rock mass behavior // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2000. Vol. 33. № 4. P. 243–266.
21. Vermeer P.A., De Borst R. Non-associated plasticity for soils, concrete and rock. HERON, 1984. Vol. 29. № 3.
22. Walton G., Diederichs M. A new model for the dilation of brittle rocks based on laboratory compression test data with separate treatment of dilatancy mobilization and decay // Geotechnical and Geological Engineering. 2015. Vol. 33. № 3. P. 661–679.
23. Zou J.-f., Zuo S.-Q., Xu Y. Solution of strain-softening surrounding rock in deep tunnel incorporating 3D Hoek-Brown failure criterion and flow rule // Hindawi. Mathematical Problems in Engineering. 31.07/2016. Vol. 2016. Article ID 7947036. DOI: <https://doi.org/10.1155/2016/7947036>. URL: hindawi.com/journals/mpe/2016/7947036/.



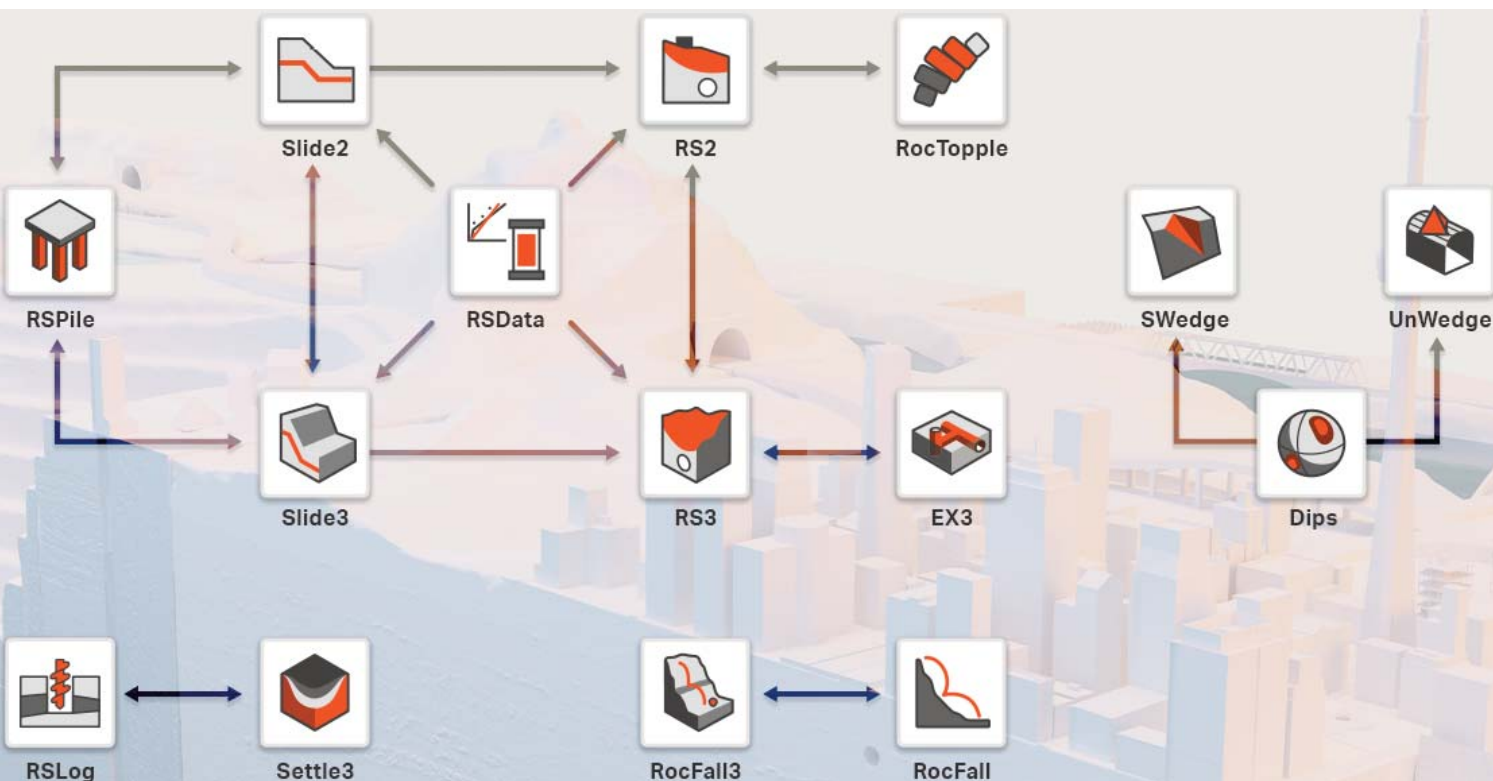
Институт
экологического
проектирования
и изысканий

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



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

WEB: WWW.IEPI.RU



ИНТЕГРАЦИЯ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ ПРОГРАММ ОТ КОМПАНИИ ROCSCIENCE ОБЛЕГЧАЕТ ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ

АНАЛИТИЧЕСКАЯ СЛУЖБА
«ГЕОИНФО»
info@geoinfo.ru

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

Компания Rocscience, основанная в 1996 году на базе Университета Торонто в Канаде, является одним из мировых лидеров по разработке, усовершенствованию и распространению широкого спектра инновационных 2D и 3D программ для инженеров-строителей, горных инженеров, инженеров-геологов и геотехников. На сайте данной компании в начале этого года была опубликована полезная для пользователей ее продукции заметка – «Руководство по интеграции геотехнического программного обеспечения от компании Rocscience» [19]. Предлагаем вниманию читателей ее адаптированный перевод с привлечением ряда дополнительных материалов [1–18].

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

Введение ►

Для выполнения комплексного геотехнического анализа специалисты уже давно полагаются на инновационные численные инструменты. Обычное параллельное использование нескольких или многих компьютерных программ может дать необходимую всестороннюю информацию, однако при этом приходится часто переключаться с одной программы на другую и вручную передавать между ними данные. Именно поэтому так важна тема их интеграции.

Компания Rocscience с самого начала своей деятельности основное внимание уделяла созданию инновационного программного обеспечения, которое было бы надежным, простым в использовании и помогало бы более эффективной работе инженеров-строителей, горных инженеров, инженеров-геологов и геотехников. При этом во главу угла было поставлено создание возможности интеграции между своими программами для повышения эффективности проектно-исследовательских работ.

Легкая интеграция между продуктами Rocscience (рис. 1) обеспечила простоту и скорость передачи информации между ними для достижения глубокого понимания специалистами поведения и свойств исследуемых материалов и возможности просмотра результатов анализа в двух и в трех измерениях.

Интеграция Между Программами Rocscience ►

Slide2 и Slide3

Программы Slide2 и Slide3 используются для 2D и 3D анализа поведения всех типов склонов и откосов, сложных 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, разнвариантного моделирования, возможностей проектирования удерживающих сооружений и пр.

Интеграция между этими двумя ведущими в отрасли программами позволяет выполнять расширенный 2D и 3D анализ поведения вышеуказанных объектов.

Модель, построенную в программе Slide2, импортируют в Slide3, создают

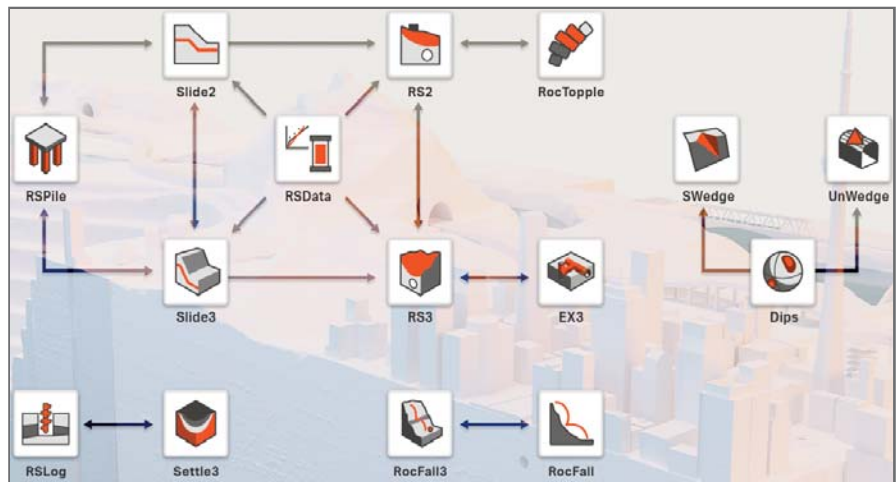


Рис. 1. Компания Rocscience обеспечила возможность интеграции между своими программными продуктами во всех случаях, необходимых для эффективной работы проектно-исследовательских организаций

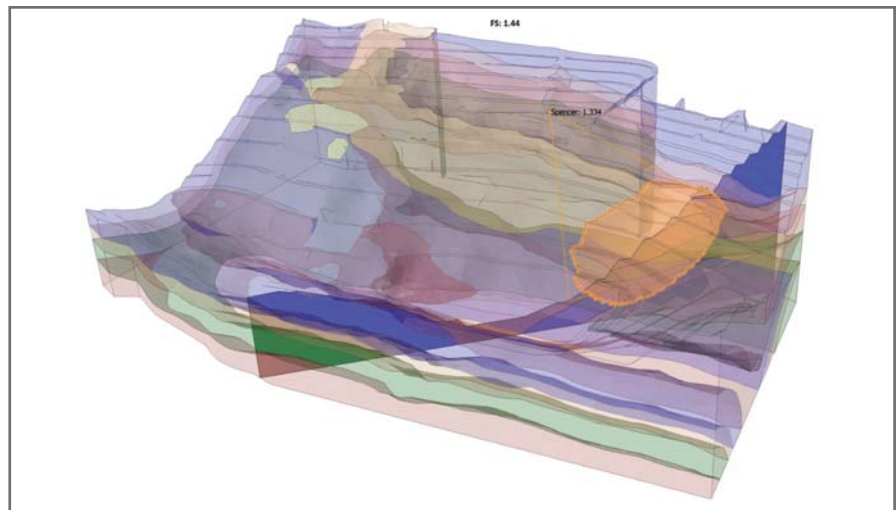


Рис. 2. Интеграция программ Slide2 и Slide3 дает возможность проводить более углубленный анализ моделей и гораздо быстрее сравнивать результаты двумерного и трехмерного анализа

ее трехмерный вариант и выполняют анализ 3D эффектов. В качестве альтернативы (особенно для сложных комплексных проектов) можно разработать модель в Slide3, получить ее двумерные разрезы и провести расчеты для них с помощью инструментов Slide2. Результаты, полученные для одной и той же модели, можно легко сравнить, просмотрев их и в Slide2, и в Slide3.

Основным преимуществом такой интеграции является возможность проведения углубленного анализа моделей и гораздо более быстрого сравнения результатов двумерного и трехмерного анализа (рис. 2).

Slide2 и RS2

RS2 – это универсальная программа для 2D анализа напряжений мето-

дом конечных элементов, которая может использоваться для проектирования подземных горных выработок, карьеров и поддерживающих их систем. Она может применяться как для скальных, так и для дисперсных грунтов, обеспечивает выполнение анализа устойчивости склонов и откосов, динамического анализа, а также включает в себя интегрированную модель фильтрации подземных вод.

Интеграция Slide2 и RS2 создает мощный и совершенный инструмент для выполнения верификации результатов моделирования и расчетов. Благодаря общей библиотеке материалов и беспрепятственному переносу двумерных моделей между этими программами экономится масса времени при анализе стабильности и есть возможность напрямую и очень точно сравнивать ре-

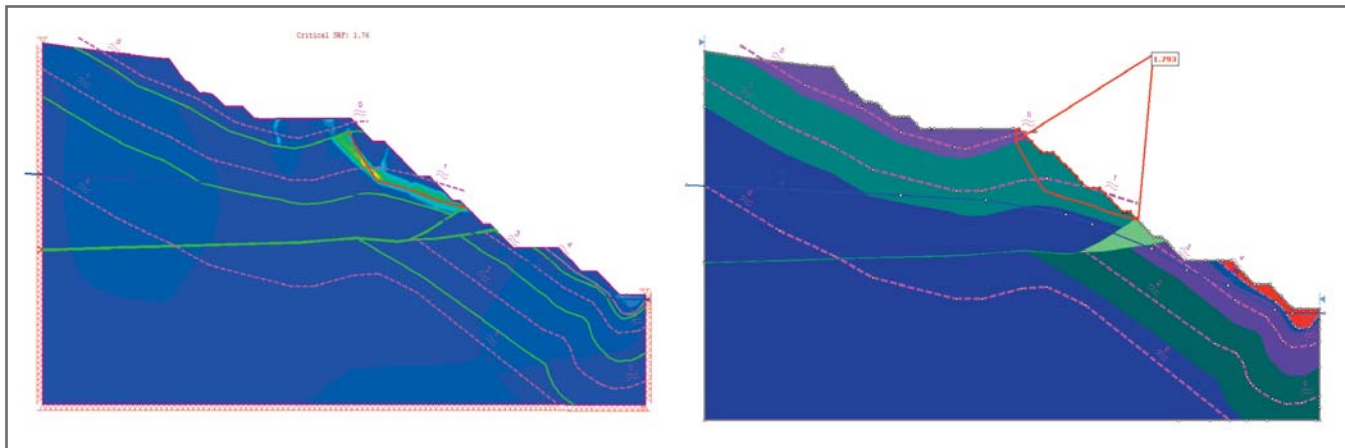


Рис. 3. Интеграция Slide2 и RS2 дает возможность непосредственно сравнивать результаты двумерного анализа, полученные в каждой из этих программ, обеспечивая их надежную проверку и точность

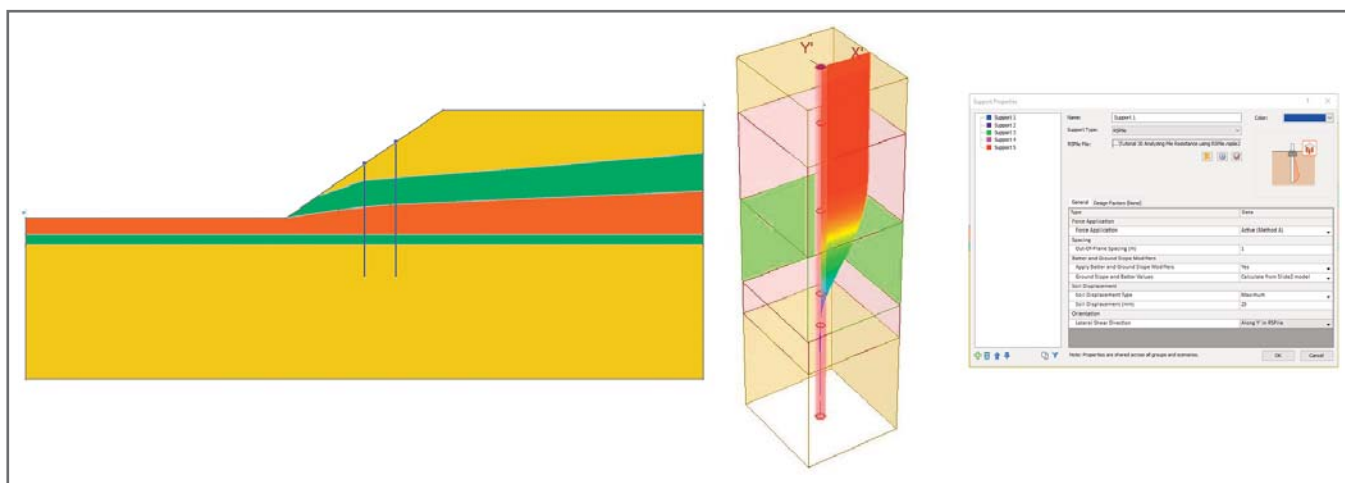


Рис. 4. Главным преимуществом интеграции RSPile и Slide2 является возможность использования ценной информации о сваях, полученной в RSPile, для анализа в Slide2

зультаты использования метода предельного равновесия (LEM) и метода конечных элементов (FEM), легко «переключаясь» между Slide2 и RS2.

Ключевым преимуществом такой интеграции является то, что сравнение моделей из этих двух программ «бок о бок» обеспечивает их надежную проверку и возможность достижения наиболее высокой точности результатов анализа (рис. 3).

Slide2 и RSPile

RSPile – это 3D программа для анализа боковых и осевых нагрузок и несущей способности отдельных свай, кустов свай и свайных фундаментов самых разных конфигураций и любой сложности.

Импортирование данных из RSPile в Slide2 предоставляет более широкие возможности для анализа устойчивости склонов и откосов с размещенными на них сваями, делая весь процесс гораздо более эффективным. Более того, обеспечивается полная гибкость

моделирования разнообразных свайных конструкций в RSPile и анализа их реакций на различные нагрузки до использования этих результатов в моделях Slide2.

Благодаря такой интеграции значительно экономится время при загрузке информации по сваям из RSPile в Slide2, легко сопоставляются слои материалов и используются функции сопротивления при анализе устойчивости склонов и откосов.

Главным преимуществом здесь является возможность быстрого использования ценной информации о сваях, полученной в RSPile, для анализа в Slide2 (рис. 4)

Slide3 и RS3

RS3 – это универсальная программа для 3D анализа напряжений методом конечных элементов, которая подходит для скальных и дисперсных грунтов и может использоваться для проектирования подземных горных выработок, карьеров, котлованов, поддерживаю-

щих их систем и фундаментов, для оценки устойчивости склонов и откосов, анализа величин фильтрации и степени консолидации грунтов и пр.

Slide3 и RS3 построены на основе одного и того же геометрического интерфейса, что делает возможным прямой перенос моделей между этими двумя программами при их интеграции. Непосредственно из моделей, полученных в Slide3, можно автоматически строить модели в RS3 для более глубокого трехмерного анализа. Кроме того, можно легко переключаться с одной программы на другую и напрямую сравнивать результаты использования метода предельного равновесия (LEM) и метода конечных элементов (FEM), добиваясь высокой точности. Все это значительно оптимизирует и ускоряет рабочий процесс.

Таким образом, ключевым преимуществом интеграции Slide3 и RS3 является возможность выполнения углубленного анализа устойчивости склонов и откосов и удобного сравне-

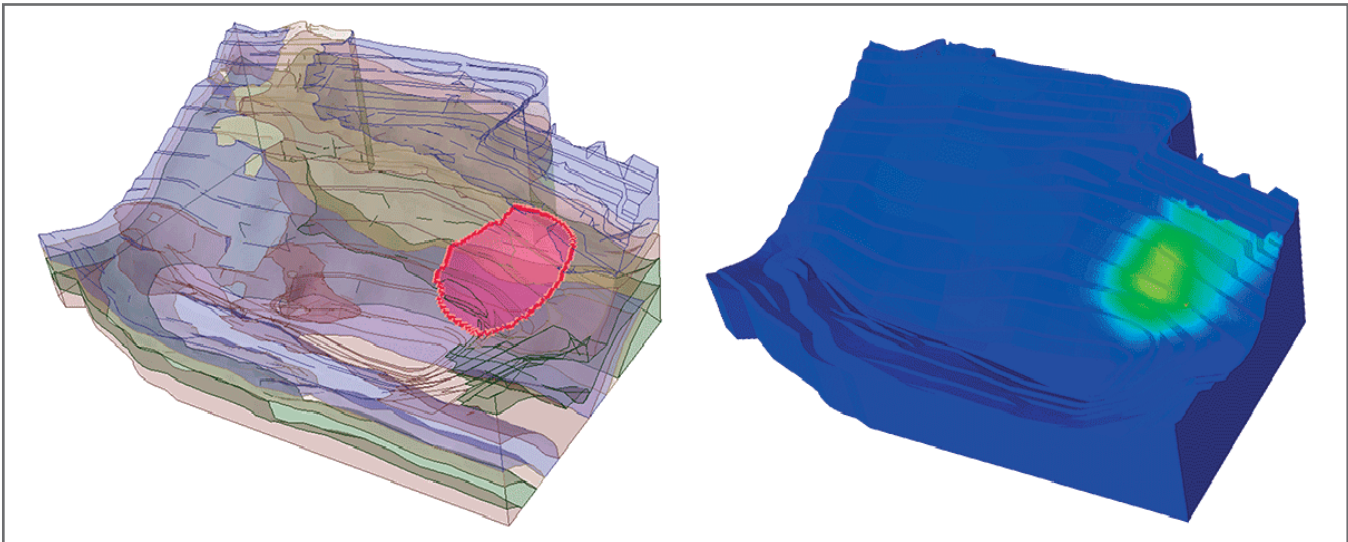


Рис. 5. Интеграция программ Slide3 и RS3 дает возможность проводить углубленный трехмерный анализ устойчивости склонов и откосов и непосредственно сравнивать результаты, полученные в каждой из этих программ, для проверки точности определения коэффициентов устойчивости и механизмов потенциальных разрушений

ния результатов, полученных в каждой из этих программ, для проверки точности определения коэффициентов устойчивости и механизмов потенциальных разрушений (рис. 5).

Slide3 и RSPile

Единственная в своем роде интеграция между программами Slide3 и RSPile (возможная только для самых последних версий этих продуктов) упрощает и ускоряет включение трехмерной информации по сваям из RSPile в Slide3 для выполнения расширенного анализа с использованием функции Support Type («Тип поддержки»).

В RSPile вычисляется мобилизованное боковое и/или осевое сопротивление по длине сваи для заданных условий нагружения и геометрии грунта. Затем в Slide3 определяется поддерживающая грунт работа сваи по расположению и углу потенциальной поверхности скольжения, пересекающейся с ней. Чтобы достичь этого, свойства каждого материала, пересекаемого сваями, должны соответствовать свойствам в модели Slide3. Это можно сделать с помощью диалогового окна Match RSPile Materials («Подобрать материалы RSPile»). Во время этого анализа длина сваи и толщина слоев грунта в Slide3 имеют приоритет над значениями, определенными в RSPile, а свойства материала, установленные в модели RSPile, будут использоваться для расчетов.

RS2 и RS3

Интеграция между RS2 и RS3 помогает оптимизировать рабочее время,

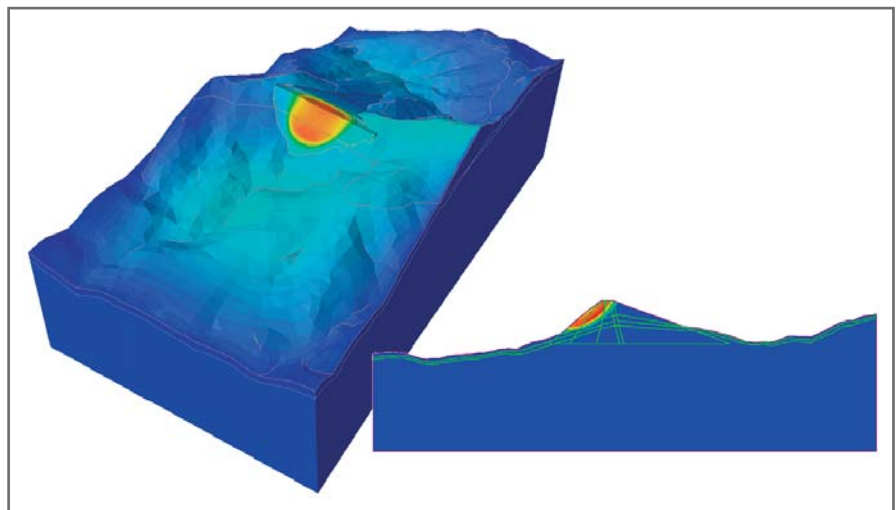


Рис. 6. Главным преимуществом интеграции между RS2 и RS3 являются легкие переходы между двумерными и трехмерными моделями, обеспечивающие получение наилучших результатов анализа напряжений в грунтовых массивах методом конечных элементов

обеспечивая легкие переходы между двумерным и трехмерным анализом на основе метода конечных элементов. Благодаря общим библиотекам материалов и инструментов анализа двумерные модели, созданные в RS2, можно непосредственно импортировать в RS3 для более глубокого 3D анализа. Для экспорта критических разрезов трехмерной модели из RS3 в RS2 с целью их быстрого анализа используется инструмент Section Creator («Создание разрезов»).

Итак, главным преимуществом здесь являются легкие переходы между двумерными и трехмерными моделями, обеспечивающие получение наилучших результатов анализа напряжений в скальных и дисперсных

грунтах методом конечных элементов, необходимых для проектирования подземных горных выработок, карьеров, котлованов, поддерживающих их систем и фундаментов, для оценки устойчивости склонов и откосов, анализа величин фильтрации и степени консолидации грунтов и пр. (рис. 6).

RSDData и Slide2, Slide3, RS2, RS3

Программа RSDData является универсальным инструментом для обработки и анализа данных по прочности и деформируемости скальных и дисперсных грунтов, полученных при одноосных, двухосных, трехосных и сдвиговых испытаниях, на основе моделей Хёка – Брауна, Мора – Кулона, Бартона – Бандиса и Power Curve

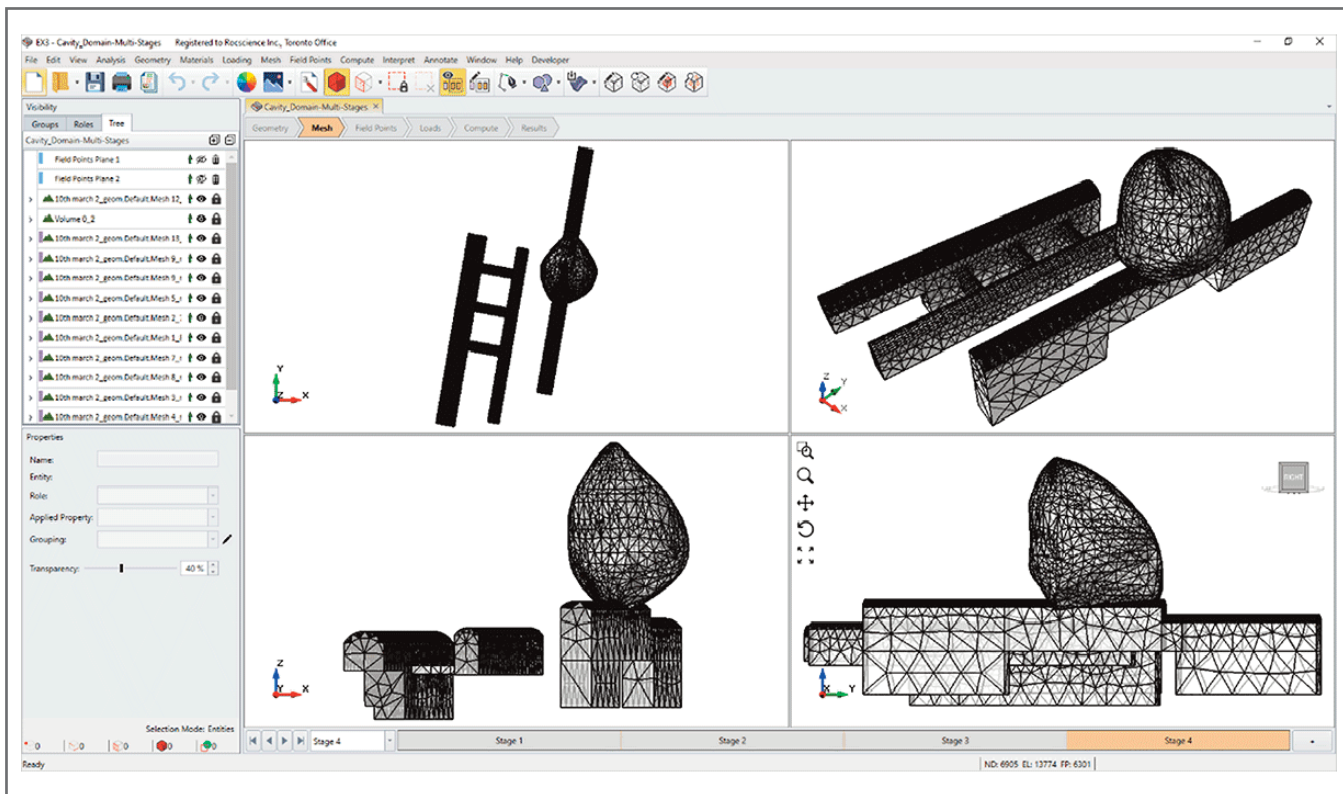


Рис. 7. Для сложных подземных выработок интеграция EX3 и RS3 упрощает и ускоряет анализ и предоставляет необходимую подробную информацию

(«Пауэр Кёрв»). В состав RSDData входит автономно работающая база данных по свойствам грунтов RocProp, которая содержит более 700 параметров, таких как сопротивление сжатию, сопротивление разрыву, показатели упругих свойств, параметры Хёка, а также скоростные параметры.

RSDData облегчает рабочий процесс при интеграции с такими основными программами от Rocscience, как Slide2, Slide3, RS2 и RS3. Характеристики материалов, определенные в RSDData, легко импортируются (без ручного ввода данных) в указанные 2D или 3D программы для численного анализа, что значительно ускоряет рабочий процесс и является ключевым преимуществом.

RS2 и RocTopple

RocTopple – это программа для анализа на опрокидывание и для проектирования поддержки склонов и откосов на основе стандартов Еврокода 7 (Eurocode 7), которые позволяют определять коэффициенты устойчивости для различных зон анализа. С ее помощью можно легко визуализировать разрушение склона или откоса в двумерном или трехмерном варианте. Помимо детерминированного анализа RocTopple поддерживает вероятностный анализ и анализ чувствительности. Ве-

роятность обрушения рассчитывается и выводится в графическом виде.

Интеграция программ RocTopple и RS2 дает следующие основные преимущества. Можно легко экспортировать подробные данные по геометрии склонов или откосов и блоков из RocTopple в виде файлов DFX в RS2 для выполнения эффективного расширенного анализа устойчивости и механизмов разрушения склонов или откосов с использованием метода конечных элементов, а также для верификации полученных результатов.

EX3 и RS3

Программа EX3 предназначена для быстрого инженерного анализа создания подземных выработок в скальных породах, например шахт и тоннелей. Она была разработана в основном для анализа напряжений, но ее инструменты визуализации могут применяться к широкому спектру трехмерных данных геотехнического строительства (даже, например, для визуализации наборов таких данных по микросейсмике, как сейсмическая скорость, параметры источника и плотность событий).

Для проектов, требующих более глубокого анализа, помогает интеграция EX3 и RS3. Возможность непосредственного импорта моделей

из EX3 в RS3 и наоборот позволяет преобразовывать геометрию, назначать материалы, поля напряжений и интересные зоны для беспроблемного выполнения расчетов.

Таким образом, для сложных подземных выработок интеграция EX3 и RS3 упрощает и ускоряет анализ и предоставляет необходимую подробную информацию, что является ключевым преимуществом (рис. 7).

Settle3 и RSLog

Settle3 представляет собой инструмент для 3D анализа вертикального уплотнения и осадок грунтовых оснований, насыпей и земляных дамб под воздействием нагрузок на поверхность. С помощью этой программы быстро создаются комплексы профилей грунтов и условий нагружения, а результаты отображаются в трех измерениях. Моделирование может выполняться в зависимости от времени поэтапно – для временных интервалов, заданных пользователем. Моделируются разнообразные материалы с линейным и нелинейным поведением. Профиль грунтовых вод отображается по стадиям. Можно точно определить условия горизонтального и вертикального дренажа. Нагрузка той или иной формы может задаваться постадийно на любой глубине.

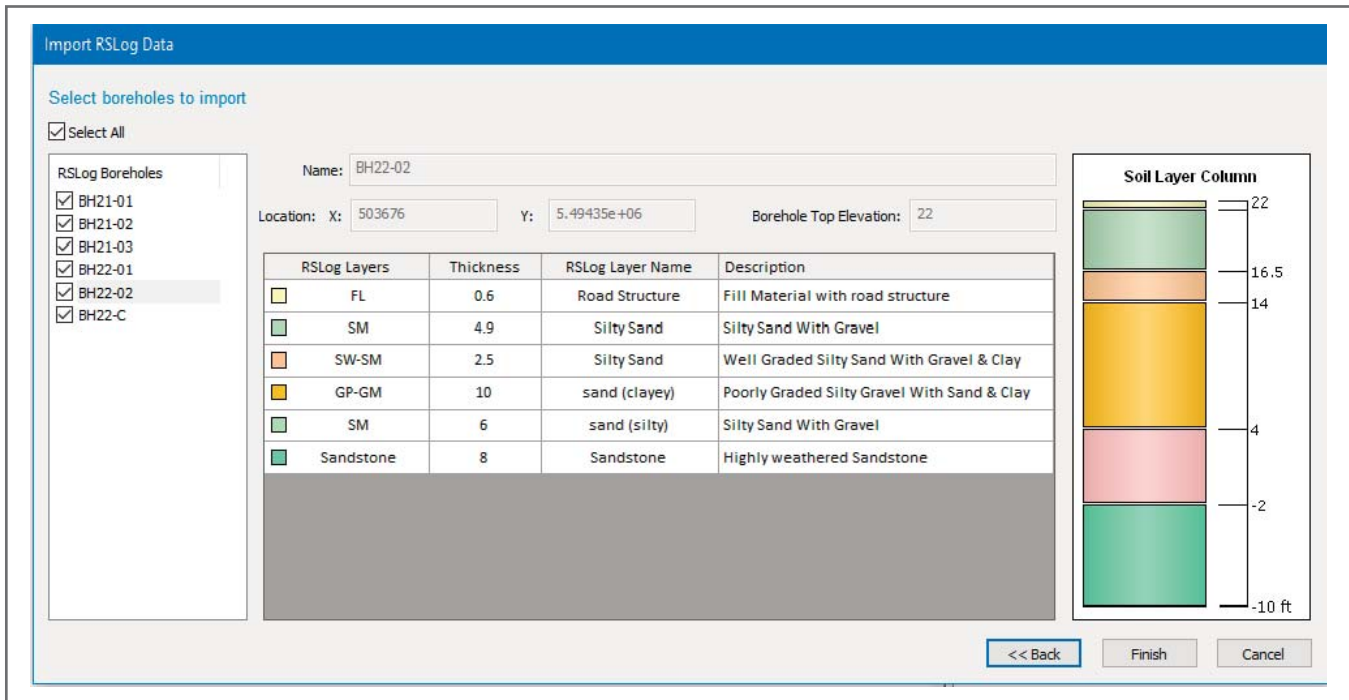


Рис. 8. Интеграция позволяет импортировать данные по скважинам и результаты полевых испытаний из RSLog непосредственно в Settle3 для быстрого определения слоев грунта и их свойств

RSLog – это новое простое в использовании web-приложение для создания буровых журналов и управления геотехническими данными по скважинам. Оно может использоваться для геотехнических, экологических, нефтяных, газовых и/или горнодобывающих проектов. С его помощью можно упростить процесс сбора, просмотра и подготовки буровых журналов без необходимости загрузки программного обеспечения. Доступ к нему можно получить из любого места и с любого устройства.

Приложение RSLog совместимо с Settle3. Интеграция между ними позволяет избежать ручного ввода данных и легко импортировать данные по скважинам и результаты полевых испытаний (например, количество ударов при стандартных динамических испытаниях на пенетрацию SPT) из RSLog непосредственно в Settle3 для быстрого определения слоев грунта и их свойств. Это не только экономит время, но и обеспечит безошибочность передачи данных.

Dips и SWedge

Программа Dips обладает множеством новых возможностей анализа геологических данных, позволяя выполнять обработку информации по трещиноватости (в том числе кинематический анализ для оценки устойчивости скальных склонов, RQD анализ для классификации массивов скаль-

ных грунтов), определять профили по заданным данным на стереографических проекциях и многое другое.

Программа SWedge служит для расчетов устойчивости объемных скальных блоков типа «клин». Она снабжена интегрированной графической системой для быстрого и легкого вывода данных, а также для их визуализации на трехмерной модели. SWedge дает возможность использовать детерминированный, вероятностный, комбинированный анализ, анализ чувствительности и устойчивости и другие виды анализа. При детерминированном анализе SWedge вычисляет коэффициент устойчивости для конкретного «клина». При вероятностном анализе могут быть введены статистические входные данные для учета неопределенностей в связи с ориентацией структур в пространстве, напряжениями и другими параметрами, а также для расчета возможности обрушения. При комбинированном анализе SWedge рассчитывает все возможные комбинации критических плоскостей для «клина».

Благодаря интеграции Dips и SWedge исходные данные и выявленную в Dips информацию по критическим разрывам сплошности, системам трещин и кинематическим свойствам можно легко преобразовать в форматы Dip и Dip Direction («Падение» и «Направление падения») для импорта в SWedge и дальнейшего детерминиро-

ванного или комбинированного анализа (в случаях отдельных определяемых пользователем плоскостей или для их наборов соответственно).

Ключевое преимущество такой интеграции заключается в том, что ориентацию критически важных трещин и кинематику склонов можно определить за считанные секунды и использовать эти данные для дальнейшего анализа.

Dips и UnWedge

Программа UnWedge используется для анализа устойчивости и последующей визуализации результатов в 3D для подземных выработок, пройденных в трещиноватых, структурно-неоднородных и структурно-нарушенных скальных грунтах. Она рассчитывает коэффициенты устойчивости потенциально неустойчивых участков грунтового массива («клиньев», формирующихся в кровле и боках горных выработок согласованно с природными системами трещин) и позволяет выбрать места установки и типы систем крепления как для всей выработки, так и для каждого отдельного участка с учетом изменяющихся геологических и технических условий. Графический интерпретатор данных включает в себя богатый набор инструментов для быстрого создания трехмерных моделей и анимации, для удобного отображения опасных «клиньев». Все это способствует обеспечению безопасности и эффективности горных работ.

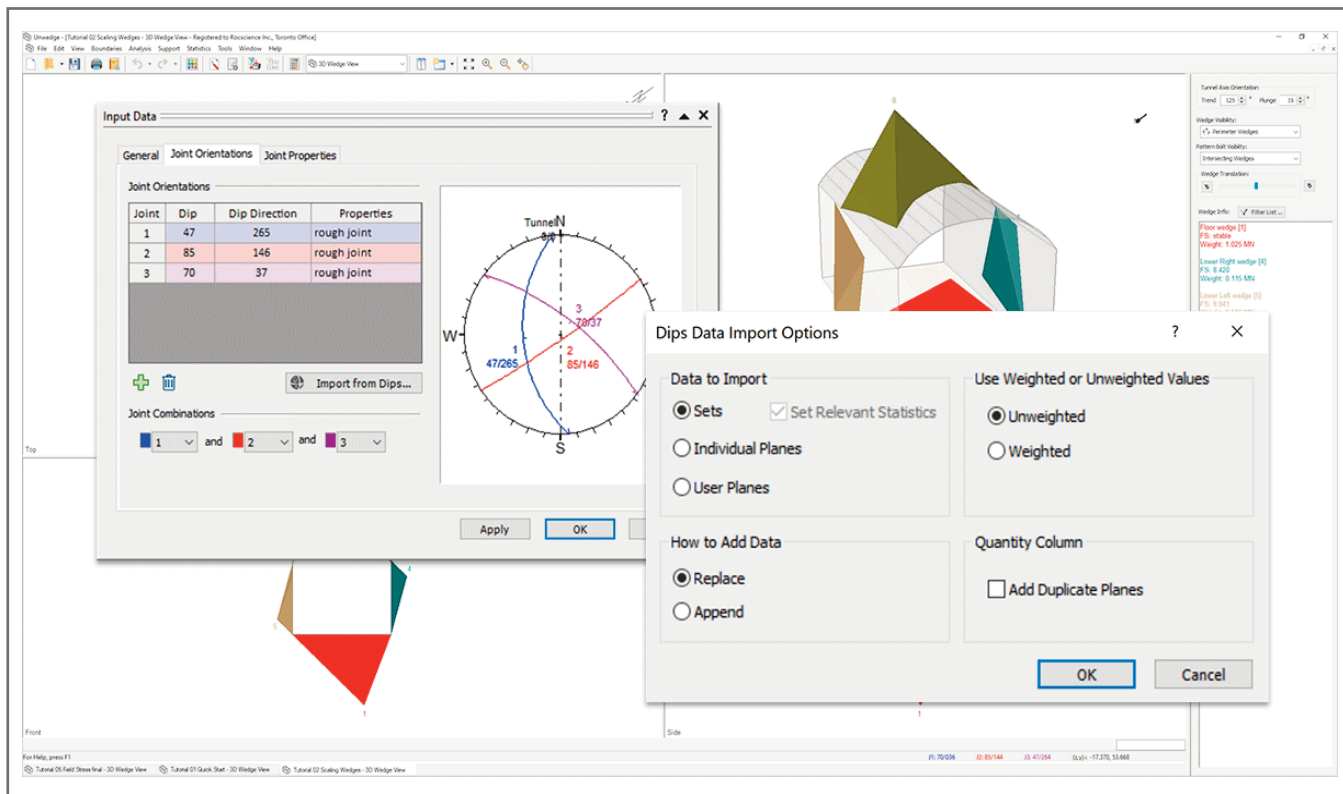


Рис. 9. Интеграция программ Dips и UnWedge позволяет мгновенно импортировать информацию по ориентации трещин из Dips в UnWedge для детерминированного или вероятностного анализа. Это дает возможность быстрее вычислять вероятности обрушений для подземных выработок, пройденных в трещиноватых, структурно-неоднородных и структурно-нарушенных скальных грунтах

Интеграция позволяет мгновенно импортировать информацию по ориентации трещин (Dip/Dip Direction – «Падению / Направлению падения») из Dips в UnWedge для детерминированного или вероятностного анализа. Это дает возможность вычислять вероятности обрушений для построенных моделей, экономя массу времени.

Предстоящая интеграция программ RocFall2 и RocFall3

Программы RocFall2 (ранее RocFall) и RocFall3 предназначены для

оценки опасностей и рисков камнепадов. Распределения по склону энергий, скоростей, высот отскоков, траекторий камней и точек их остановок определяются этими программами соответственно в двумерном и трехмерном вариантах на основе соответствующего статистического анализа. Эти программы снабжены таблицами для поиска значений многих необходимых параметров.

Компания Rocscience готовит возможность интеграции RocFall2 и Roc-

Fall3, которая появится в ближайшее время.

Заключение

В отрасли, где важны и время, и деньги, интеграция разных компьютерных программ может дать массу преимуществ, упростив рабочий процесс, повысив производительность и значительно сократив время разработки проектов. Такую возможность дает, например, универсальный набор совместимых между собой программ от компании Rocscience (см. рис. 1).

Источники

1. geoast.pro/dips.
2. geoast.pro/ex3.
3. geoast.pro/rocfall_2019.
4. geoast.pro/roctopple.
5. geoast.pro/rs2.
6. geoast.pro/rsdata.
7. geoast.pro/rspile_2018.
8. geoast.pro/settle.
9. geoast.pro/slide2.
10. geoast.pro/slide3.
11. geoast.pro/swedge.
12. geoast.pro/tpost/lb0jmve6s1-rslog.
13. geoast.pro/unwedge.
14. geoinfo.ru/brand/advanced-survey-technologies/#:~:text=RSData%20-%20универсальный%20инструментарий%20для,3D%20-%20это%203-мерная%20программа.
15. giab-online.ru/files/Data/2019/8/57_64_9_2019.pdf.
16. rocscience.com/learning/continuous-software-means-continuous-innovation-the-new-slide3-rspile-integration.
17. rocscience.com/software/rocfall.
18. rocscience.com/software/rocfall3.
19. The definitive guide to Rocscience's geotechnical software integrations // Rocscience.com. January 31, 2022. URL: rocscience.com/learning/the-definitive-guide-to-rocsciences-geotechnical-software-integrations?utm_medium=email&utm_source=%20rocnews&utm_campaign=February2022.



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



Заглавное фото: [4]

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРУШЕНИЙ БОРТОВ КАРЬЕРОВ ПОМОЖЕТ ИЗБЕЖАТЬ КАТАСТРОФ

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 и инженеров-геологов. На сайте данной компании недавно появилась интересная заметка «Моделирование мультимодальных разрушений в карьерах с использованием метода предельного равновесия и метода конечных элементов» [5]. Она была написана на основе доклада сотрудников Rocscience из Торонто и Королевского университета из Кингстона (Канада) С. Джаванхошдела, Б. Ками, Т. Якуба, Т. Ма и Ю. Аболфазлзаде «Мультимодальные механизмы разрушений в карьерах с использованием метода предельного равновесия и метода конечных элементов» [3] на 55-м Симпозиуме по геомеханике (г. Хьюстон, США, 20–23 июня 2021 г.).

Предлагаем вниманию читателей адаптированный перевод указанной заметки [5] с привлечением некоторых дополнительных материалов [1, 2, 4, 6, 7].

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

Введение ►

Метод конечных элементов (FEM – Finite Element Method) и метод предельного равновесия (LEM – Limit Equilibrium Method) известны как два наиболее распространенных инструмента для анализа устойчивости склонов и откосов.

Метод предельного равновесия, традиционно используемый для анализа стабильности склонов и откосов, полезен для определения наиболее критической плоскости разрушения (скольжения), которая соответствует минимальному коэффициенту устойчивости. Однако при рассмотрении реальных проблем важно допускать и учитывать существование множества плоскостей разрушения при примерно одинаковых коэффициентах устойчивости.

Здесь будет представлен особый метод, который основан на алгоритме мультимодальной численной оптимизации локально (выборочно) информированного роя частиц с радиусным фильтром (locally informed particle swarm with radius filter – LIPS-R). Чтобы объяснить, как этот метод приводит к множеству видов разрушения, был смоделирован карьер с бортами, сложенными различными слоями грунтов для сравнения результатов анализа с помощью FEM и LEM. Результаты подтвердили хорошую пригодность обоих этих методов.

Был выполнен анализ для изучения плоскостей потенциального разрушения с самым низким коэффициентом устойчивости и возможных критических плоскостей скольжения с использованием программ RS3 и Slide3, после чего были сопоставлены полученные с их помощью результаты.

Отметим, что **RS3** – это универсальная программа от компании Rocscience для 3D-анализа методом конечных элементов, которая может использоваться для проектирования подземных горных работ, тоннелей, карьеров, фундаментов, для оценки устойчивости оползневых склонов и пр. **Slide3** – это удобная программа от Rocscience для 3D-расчетов методом предельного равновесия, предназначенная для анализа устойчивости склонов, сложенных любыми типами дисперсных и скальных грунтов, насыпей, земляных дамб и подпорных стенок (она использует метод конечных элементов, вероятностный анализ, разнвариантное моделирование, возможности проектирования удерживающих сооружений и пр.).

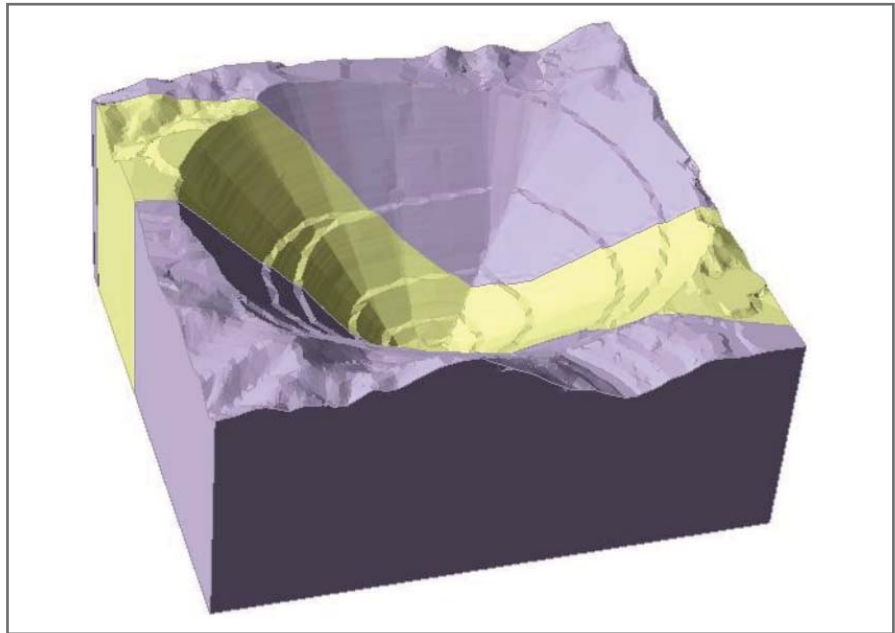


Рис. 1. Трехмерная модель карьера

Таблица. Свойства материалов в модели карьера

Материал	Критерий разрушения	Параметры					
		UCS, кПа	mb	s	a	E, кПа	v
1	Хёка – Брауна (обобщенный)	5 000	1,6767	0,0038	0,0506	50 000	0,4
		C, кПа	ϕ , °	E, кПа	v	-	-
2	Мора – Кулона	300	25	50 000	0,4	-	-

Метод снижения прочности на сдвиг ►

Метод снижения прочности на сдвиг (SSR – Shear Strength Reduction) для определения устойчивости склонов и откосов заключается в анализе методом конечных элементов для определения коэффициента уменьшения допускаемых напряжений на сжатие (SRF – Stress Reduction Factor) и/или коэффициента устойчивости K_f (FS – Factor of Safety), которые приводят к разрушению.

Отметим, что SRF представляет собой отношение действительных напряжений к пределу текучести при сжатии, а FS равен отношению всех сил, удерживающих откос в равновесии, к сумме всех сдвигающих сил, стремящихся вывести его из равновесия.

Краткая информация о методе мультимодальной оптимизации ►

Реальные проблемы устойчивости склонов и откосов требуют сочетания методов унимодального и мультимодального метаэвристического поиска.

При использовании унимодального метода, такого как оптимизация роя частиц (PSO – particle swarm optimization), ищется единственная наиболее критическая поверхность (с глобальным минимумом устойчивости для всей области поиска).

В случае применения мультимодального метода численной оптимизации локально информированного роя частиц с радиусным фильтром (LIPS-R) ищется количество x наиболее критических плоскостей с минимальной устойчивостью (например, это число x может быть равно 3). Возможность мультимодальной оптимизации (MMO – Multi-Modal Optimization) имеется при использовании программы Slide3.

Модель карьера ►

Полученная 3D-модель карьера включает два типа вмещающих его материалов. На рисунке 1 фиолетовым цветом показан материал 1, для которого используется обобщенный критерий разрушения Хёка – Брауна, а для более слабого материала 2 (в котором есть вероятность присутствия плоско-

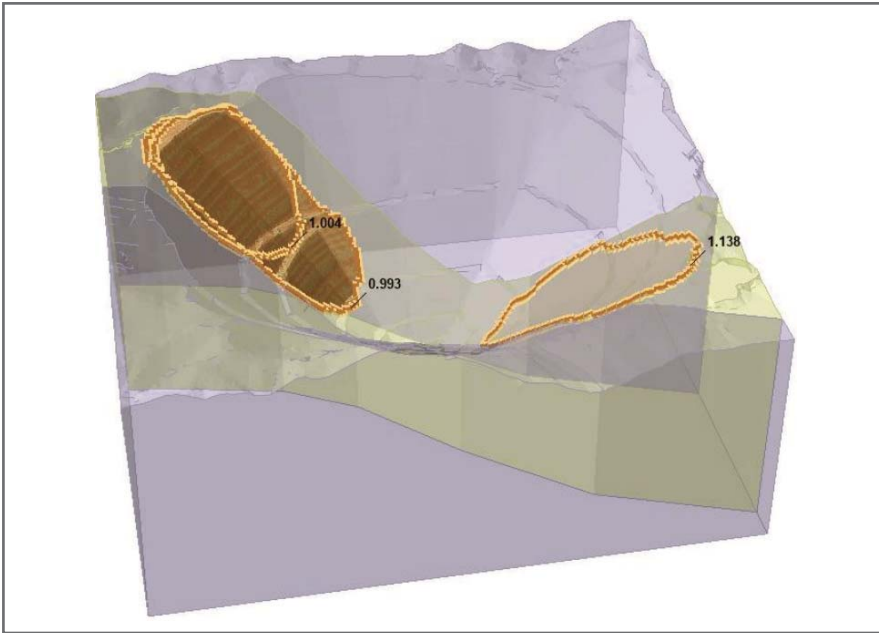


Рис. 2. Результаты анализа методом предельного равновесия с использованием подхода, основанного на мультимодальной оптимизации

стей разрушения), выделенного желтым цветом, применяется критерий разрушения Мора – Кулона. В таблице приведены свойства материалов в модели карьера.

Результаты анализа методом предельного равновесия с использованием метода мультимодальной оптимизации

На рисунке 2 показаны результаты анализа методом предельного равновесия с использованием метода мультимодальной оптимизации. С помощью это-

го подхода было обнаружено три минимальных значения коэффициента устойчивости, которые составили 0,99; 1,0 и 1,14. Хотя эти величины очень близки друг к другу, все же видно, что соответствующие им плоскости потенциального скольжения различаются по размеру, форме и даже по расположению. Это демонстрирует преимущество метода мультимодальной оптимизации (ведь, сосредоточив внимание только на глобальном минимуме, то есть на наименьшем коэффициенте устойчивости, можно было бы упустить из виду два других потенциальных обрушения).

Результат анализа методом снижения прочности на сдвиг на основе метода конечных элементов

Значения коэффициентов устойчивости, полученные при анализе методом снижения прочности на сдвиг на основе метода конечных элементов, хорошо совпали с их величинами, рассчитанными с использованием метода предельного равновесия.

Рисунок 3, а показывает, что две области разрушения, обнаруженные при анализе методом снижения прочности на сдвиг, аналогичны обнаруженным с помощью мультимодальной оптимизации с минимальными значениями коэффициента устойчивости.

На рисунке 3, б продемонстрировано, что при анализе методом конечных элементов, когда исследование было сосредоточено на другой стороне модели (где метод предельного равновесия дал коэффициент устойчивости, равный 1,14), были обнаружены идентичные коэффициент устойчивости и плоскость разрушения.

Заключение

Трехмерный анализ устойчивости откосов бортов карьера на основе методов предельного равновесия (LEM) и конечных элементов (FEM) позволил сделать вывод, что использование таких двух подходов, как снижение прочности на сдвиг (SSR) и мультимодальная оптимизация (ММО), привело к выявлению идентичных областей развития критической плоскости

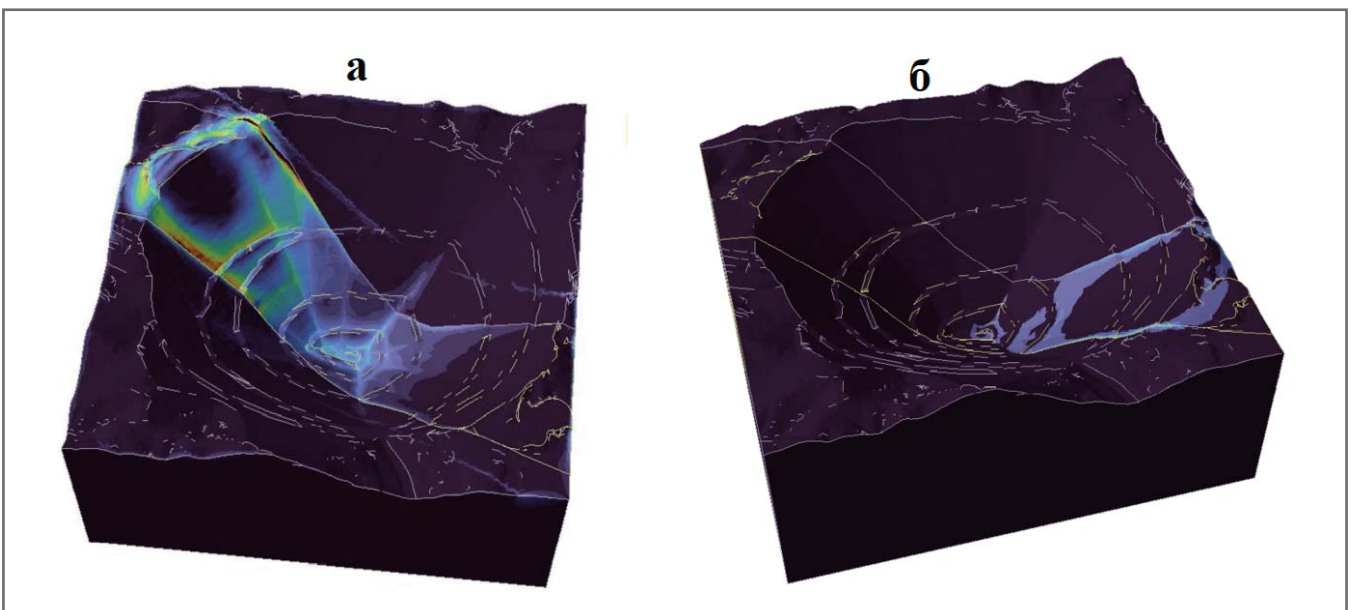


Рис. 3. При поиске изолинии максимальной деформации сдвига при конечноэлементном анализе внимание было сосредоточено: а – на всей геометрии карьера (с коэффициентом уменьшения допускаемых напряжений на сжатие $SRF = 1,03$); б – на одной конкретной области на стороне карьера с коэффициентом устойчивости $FS = 1,14$ и коэффициентом уменьшения допускаемых напряжений на сжатие $SRF = 1,13$ (по результатам использования метода предельного равновесия)



Рис. 4. Гигантский оползень, сошедший 10 апреля 2013 года с борта крупнейшего карьера по добыче медной руды «Бингем» в США [6]

скольжения и сходных значений коэффициента устойчивости.

Когда дело доходит до исследования поверхностей разрушения при разработке проектов, программа Rocscience RS3 в сочетании с программой Rocscience Slide3 позволяет эффективно выполнять анализ методами конечных элементов и предельного равнове-

сия с использованием одной и той же 3D-модели и таким образом проверять достоверность получаемых значений коэффициента устойчивости. Если результаты покажут приемлемое совпадение, то в них можно быть уверенными (иначе при реализации проектов могут быть катастрофические нарушения устойчивости, например таких как

гигантский оползень, сошедший 10 апреля 2013 года с борта крупнейшего карьера по добыче медной руды «Бингем» в США, рис. 4. – *Ред.*). **И**

Чтобы более детально ознакомиться с представленным исследованием, можно прочесть полную статью [5], на основе которой была написана заметка [5].

Источники ►

1. geoast.pro/rs3.
2. geoast.pro/slide3.
3. Javankhoshdel S., Cami B., Yacoub T., Ma T., Abolfazlzadeh Y. Multi modal failure mechanism in open pit mines using LEM and FEM approaches // Proceedings of the 55th US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium, Houston, Texas, USA, 20–23 June 2021. URL: researchgate.net/publication/352693454_Multi_Modal_failure_mechanism_in_open_pit_mines_using_LEM_and_FEM_approaches.
4. pixabay.com/ru/photos/тоскана-карьер-мрамор-апуан-4240688/.
5. Simulating multi-modal failure in open pit mines using LEM & FEM // Rocscience. January 26, 2022. URL: rocscience.com/learning/simulating-multi-modal-failure-in-open-pit-mines-using-lem-fem?utm_medium=email&utm_source=rocnews&utm_campaign=February2022.
6. tourweek.ru/blogs/1136102.
7. xn--c1aaf3aeacfk.xn--plai/?p=1712.



Заглавное фото: stroy-podskazka.ru/gabion/osobennosti-matracev-reno/

СОХРАНЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ КЛИМАТА ПРИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ С ПОМОЩЬЮ «МАТРАЦЕВ РЕНО ПЛЮС»



АРНДТ МИХАЭЛЬ (ARNDT MICHAEL)
Исполнительный директор компании Secon Systems, г. Берлин, Германия
arndt@secon-systems.com



МАСОЛА ФРАНЧЕСКО (MASOLA FRANCESCO)
Инженер-строитель, ответственный за проекты в сферах развития водных путей, берегозащиты и сооружений из армированного грунта в компании Secon Systems (г. Берлин, Германия)
masola@secon-systems.com

Представляем вниманию читателей адаптированный перевод статьи «Сохранение устойчивости климата при гидротехническом строительстве с помощью инновационных берегозащитных габионов матрацевого типа (Матрацев Рено Плюс)». Она была написана представителями немецкой компании Secon Systems Михаэлем Арндтом и Франческо Масолой и представляла главную тему третьего выпуска 2021 года международного электронного журнала GeoResources («Георесурсы»), выпускаемого в Германии на немецком и английском языках.

Инновационные плоские габионы Матрацы Рено Плюс для защиты берегов и русел водотоков, которым посвящена указанная статья, являются еще более экологичной и экономически выгодной версией Матраца Рено. Эту новую модель разработала итальянская транснациональная компания Massaferrì («Маккаферри»), которая с 1994 года имеет подразделение в России, представительства в остальных странах СНГ и собственный завод в Московской области.

Матрацы Рено Плюс не просто укрепляют берега и русла, но и способствуют сохранению устойчивости климата, сокращая поступление в атмосферу углекислого газа, а также позволяют экономить природные ресурсы и деньги при гидротехническом строительстве.

Консультационную помощь редакции в подготовке перевода оказал директор по маркетингу компании «Маккаферри СНГ» Иван Кукло.

Введение ►

Сохранение устойчивости климата (защита климата) имеет большое значение для нашего общества, а следовательно и в гидротехническом строительстве при проектировании систем защиты берегов. И это ставит серьезные задачи в сфере гидротехники.

Для начала приведем три цитаты о важности берегозащитных систем для сохранения стабильности климата.

Германский федеральный инженерно-исследовательский институт водных путей и Германский федеральный институт гидрологии высказали следующие точки зрения на цели биоинженерных систем защиты берегов водотоков:

«С момента введения в действие “Европейской рамочной директивы по водным ресурсам” и разработанных на ее основе национальных законов при всех мероприятиях на водотоках должны все больше учитываться экологические аспекты. Цель здесь состоит в том, чтобы увеличить структурное разнообразие этих объектов в интересах их экологического развития и таким образом способствовать созданию прибрежных мест обитаний растений и животных, близких по условиям к естественным. В долгосрочной перспективе эти меры могут внести положительный вклад в улучшение качества водотоков и в изменение климата. В то же время, как правило, должна быть гарантирована стабильность берегов. Одним из способов совмещения этих требований является удаление покрытий из каменной наброски и их замена экологически безвредными берегозащитными системами» [1].

В 2017 году Германская федеральная (государственная) рабочая группа по водным ресурсам опубликовала следующую информацию о влиянии изменения климата на использование вод:

«Несмотря на все меры, принятые для защиты климата, выбросы парниковых газов продолжают расти во всем мире и приводят к глобальному потеплению. Даже если цели Парижской конференции по изменению климата (COP 21) будут достигнуты, это изменение будет невозможно остановить» [2].

Мельхер и соавторы [3] дали следующую информацию:

«Прибрежная растительность важна для водной экологии наших водотоков и имеет особое значение в связи с ожидаемым воздействием изменения климата на тепловой режим. Благодаря своему затеняющему эффекту она может снизить повышение температуры воды на величину до

2 градусов по Цельсию, особенно в жаркие периоды» [3].

Уже более 100 лет для защиты берегов и русел рек при обустройстве внутренних водных путей во всем мире используются габионы матрацно-тюфячного типа, а разработку таких продуктов впервые начала итальянская компания Массакерри (далее – «Маккаферри»). (В XIX веке эта компания применила конструкции такого типа для укрепления берегов разлившейся реки Рено вблизи города Болонья и запатентовала их. В процессе своего дальнейшего развития они получили название по названию реки Рено и стали широко применяться для защиты речных и морских берегов и дна от размывания. – *Ред.*)

Такие матрацы представляют собой плоские коробчатые конструкции из полугибкой стальной сетки, защищенной от коррозии полимерным покрытием. Из-за их относительно небольшой толщины и горизонтальных размеров до 3 м х 6 м стал общепринятым термин «матрацы». Благодаря своей гибкости они легко прилегают к неровной поверхности берегов водотоков. К тому же габионы матрацного типа могут быть полностью покрыты растительностью. Таким образом, они удовлетворяют требованиям, предъявляемым к условиям прибрежных мест обитания, которые должны быть близки к естественным. В зависимости от типа и размера матрацев растения способствуют затенению и снижению температуры окружающей среды и, кроме того, благодаря процессу фотосинтеза они дополнительно снижают содержание в воздухе углекислого газа. Берегоукрепительные системы с использованием габионов матрацного типа также обеспечивают долгосрочную защиту берегов от рытья нор животными [4].

В последние годы компания «Маккаферри» вкладывает значительные средства в постоянное развитие конструкций производимых ею матрацев, уделяя особое внимание следующему:

- улучшению систем защиты берегов и русел рек с помощью габионов матрацного типа путем проведения обширных исследований для обеспечения их достаточной стабильности при уменьшенной толщине;
- обеспечению дополнительного вклада таких систем в сохранение устойчивости климата.

Вложив около 500 000 евро в исследование и разработки и успешно завер-

шив трехлетнюю серию международных исследований, компания «Маккаферри» на рубеже 2020/2021 годов представила новое поколение плоских габионов – Матрац Рено Плюс с диагональными стяжками (Reno mattress Plus with X-ties, RMP-X).

В данной статье рассматривается более чем столетнее развитие конструкций матрацев для укрепления берегов и русел рек на примере продуктов компании «Маккаферри». Также описываются инновационные изменения в матрацах последнего поколения, их влияние на возможные области применения и их вклад в достижение целей по защите окружающей среды и климата.

Краткая история использования габионных конструкций матрацно-тюфячного типа ►

На рисунке 1 схематично показана история развития систем защиты берегов и русел рек в компании «Маккаферри» с 1910 года по настоящее время.

Примерно через 10 лет после получения компанией «Маккаферри» первого патента на габионы (примерно в 1910 году) ею была разработана первоначальная конструкция габиона матрацевидно-тюфячного типа под названием «Мантеллата Волга» (Mantellata Volga) (см. рис. 1, а; рис. 2, а). В верхней части берегового склона заанкеривался конец рулона проволочной сетки нужной длины (превышавшей двойную длину склона). Потом рулон разворачивался до подножия склона. Там сетку складывали пополам. С помощью вязальной проволоки скрепляли два слоя сетки по бокам на небольшом отрезке. Образовавшийся карман заполняли камнями, превышавшими по величине ячейки сетки, и скрепляли два слоя сетки над заполненным карманом. Затем повторяли эту процедуру, поэтапно разворачивая рулон в направлении вверх по склону, вплоть до достижения его бровки. В результате получалась заполненная камнем конструкция небольшой толщины с основанием и крышкой из проволочной сетки, соединенными по бокам, и с промежуточными соединениями поперек склона. Принцип работы этой конструкции уже соответствовал таковому для современных матрацев, используемых для укрепления берегов и русел рек.



Рис. 1. Этапы развития конструкций для строительства берегоукрепительных систем в компании «Маккаферри» с 1910 по 2020 год

В начале 1960-х годов этот сложный процесс был частично автоматизирован. Были разработана и внедрена конструкция «Матрац Рено» (Reno Mattress), в которой на сегодня основание и боковые стенки состоят из готовых компонентов (рис. 2, б) [5]. Однослойные перегородки (диафрагмы) устанавливаются и соединяются с остальными элементами на месте. После заполнения камнем коробчатой конструкции небольшой толщины сверху укладывается и прикрепляется крышка из проволочной сетки. Еще в 1980-х годах конструкция этого типа была подвергнута длительным обширным международным испытаниям с целью получения основы для методов проектирования берегозащитных систем [6, 7, 8, 9].

С 1990-х годов компания «Маккаферри» автоматизировала производство матрацев с двойными поперечными перегородками (диафрагмами) на своих заводах по всему миру. Принцип их производства прост, а эффект значителен. В процессе непрерывного производства сетки ее лента через определенные отрезки длиной около 1 м стопорится на выходе с помощью временно выдвигаемого устройства, каждый раз образуя «волну» нужной высоты. С помощью прижимного устройства эта «волна» складывается и формирует очередную будущую двойную диафрагму матраца. И только после этого лента сетки попадает в намоточное устройство и скатывается в рулон. Такой принцип производства обеспечивает в последующем монтаж (на месте) конструкции, в которой основание и диафрагма выполнены из одной сплошной ленты сетки, что исключает любой изгиб или провисание диафрагмы, прикрепленной только к боковым стенкам. Это дает значитель-

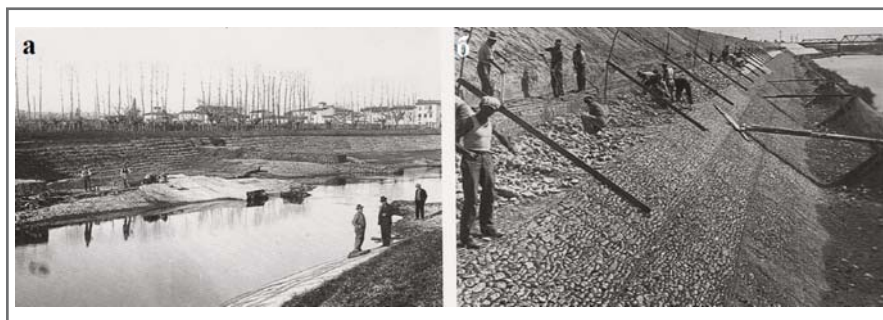


Рис. 2. Исторические фотографии берегоукрепительных систем в итальянском регионе Эмилия-Романья: а – укрепление берегов с помощью конструкций «Мантеллата Волга» в конце 1920-х годов; б – укрепление берегов габионами матрацного типа в начале 1960-х годов

но более хорошие рабочие характеристики матраца по сравнению с конструкцией 1960-х годов [10].

Недавно появившиеся плоские габионы нового поколения Матрац Рено Плюс с диагональными стяжками (Reno mattress Plus with X-ties, RMP-X) были разработаны с четкой целью внесения технического и концептуального вклада в сохранение устойчивости климата, а также для того, чтобы появилась возможность применения габионов матрацного типа в новых областях. В результате может быть достигнуто существенное сокращение поступления в атмосферу парниковых газов и значительное уменьшение затрат на охрану природных ресурсов. Эти преимущества более подробно рассматриваются в следующих разделах.

Инновационные изменения и их результаты ▶

В чем именно заключается инновационность? Матрацы нового поколения характеризуются двумя существенными изменениями (рис. 3):

трехмерная система скрепления секций основания и крышки в виде так называемых диагональных (X-образ-

ных) стяжек для повышения устойчивости конструкции;

новое полимерное покрытие ПолиМак (PoliMac) со значительно более надежными эксплуатационными характеристиками для оптимизации долговременной защиты от коррозии.

Какое влияние эти новшества оказывают на работу матрацев, показанную при испытаниях, а также на возможности и экономичность их применения?

Повышение эффективности работы

Результаты испытаний [11, 12, 13] Матрацев Рено Плюс толщиной 17, 23 и 30 см на сопротивление потоку с прямым сравнением с продуктами-предшественниками показали увеличение эффективности их работы в 2 раза для всех трех вышеуказанных конструкций, а также повышение их прочности на сдвиг заметно больше чем на 100% по сравнению с матрацами с одинарными диафрагмами, которые все еще предлагаются на многих рынках (рис. 4). Однако компания «Маккаферри» использовала системы с одинарными внутренними перегородками в Европе только до 1980-х го-

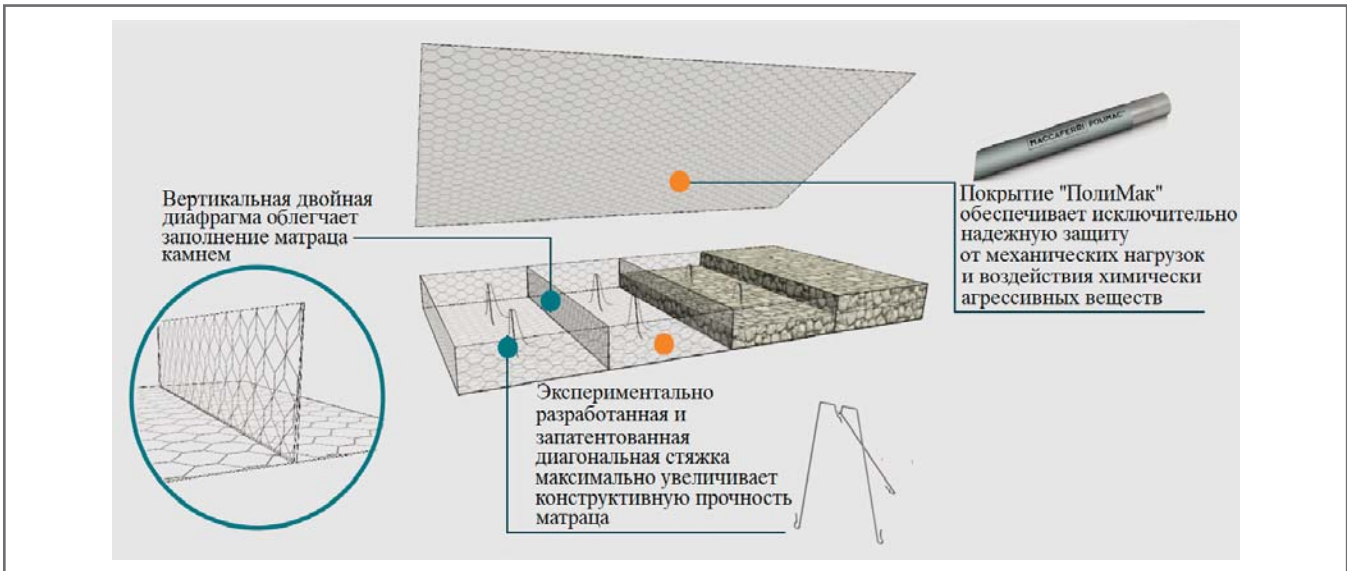


Рис. 3. Устройство инновационного Матраца Рено Плюс с двойными вертикальными диафрагмами, трехмерными диагональными (X-образными) стяжками и покрытием ПолиМак

дов, а с 1990-х годов уже предлагала системы с двойными диафрагмами. Как показано на рисунке 4, эффективность работы Матрацев Рено Плюс более чем на 100% больше по сравнению с Матрацами Рено с одинарными перегородками и примерно на треть больше по сравнению с Матрацами Рено с двойными диафрагмами.

Улучшенная защита от коррозии (покрытие ПолиМак) не влияет ни на предельное сопротивление сдвигу, выявленное при испытаниях на сопротивление потоку, ни на потенциальную экономию природных ресурсов, ни на затраты на монтаж систем матрацев, ни на поступление углекислого газа в атмосферу. Это инновационное защитное покрытие с большим запасом удовлетворяет требованиям в отношении стойкости к воздействию ультрафиолетового излучения, экстремально низких температур или химически агрессивных веществ (но этим требованиям, в принципе, удовлетворяли и ранее использовавшиеся покрытия). Наиболее впечатляющим и важным улучшением его характеристик является десятикратное увеличение устойчивости к истиранию, что было доказано при соответствующих испытаниях в соответствии со стандартом DIN EN 60229 (рис. 5).

Возможные области применения

Значение результатов рассмотренных выше испытаний можно очень легко проиллюстрировать с помощью предельных нагрузок при различной высоте конструкции.

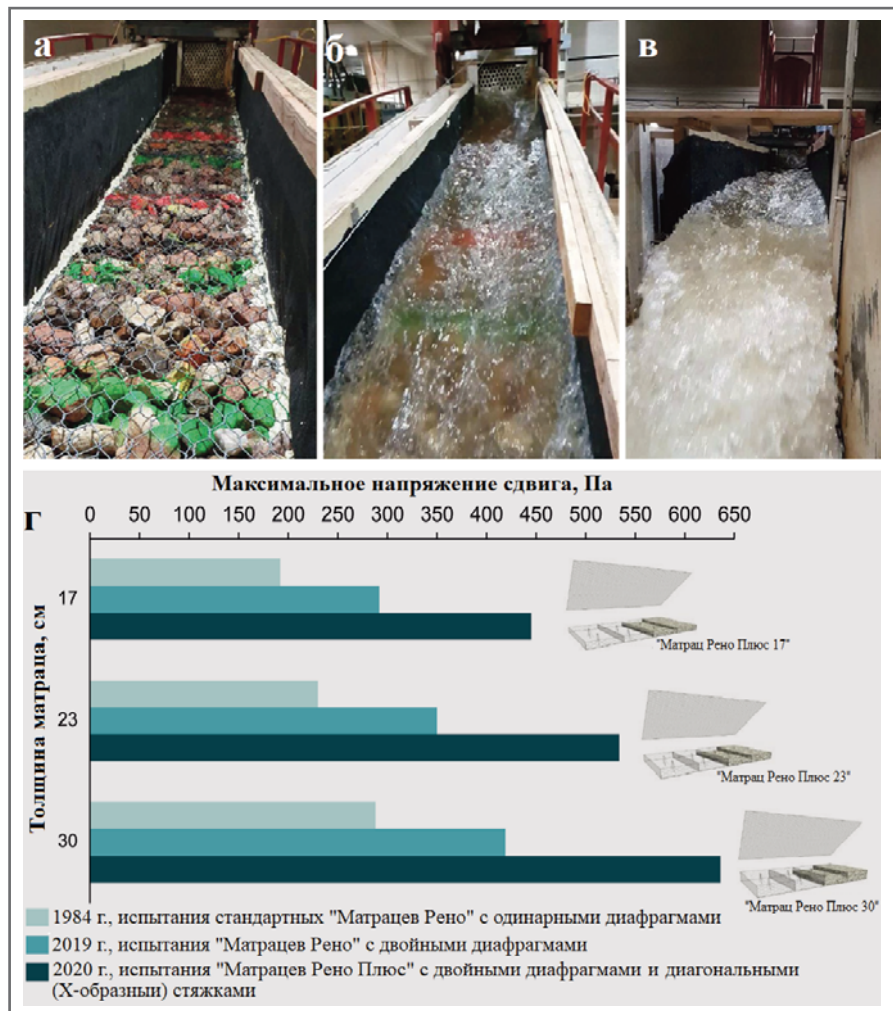


Рис. 4. Результаты испытаний трех поколений матрацев от компании «Маккаферри» в Колорадском университете в 2018–2020 годах: фотографии испытаний на сопротивление потоку (а–в) и полученные в их результате диаграммы максимальных напряжений сдвига для матрацев различной толщины (г)

Максимальная нагрузка, которую может выдержать Матрац Рено высотой всего 17 см с двойными диафраг-

мами, превышает таковую для стандартного матраца высотой 30 см с однослойными диафрагмами.

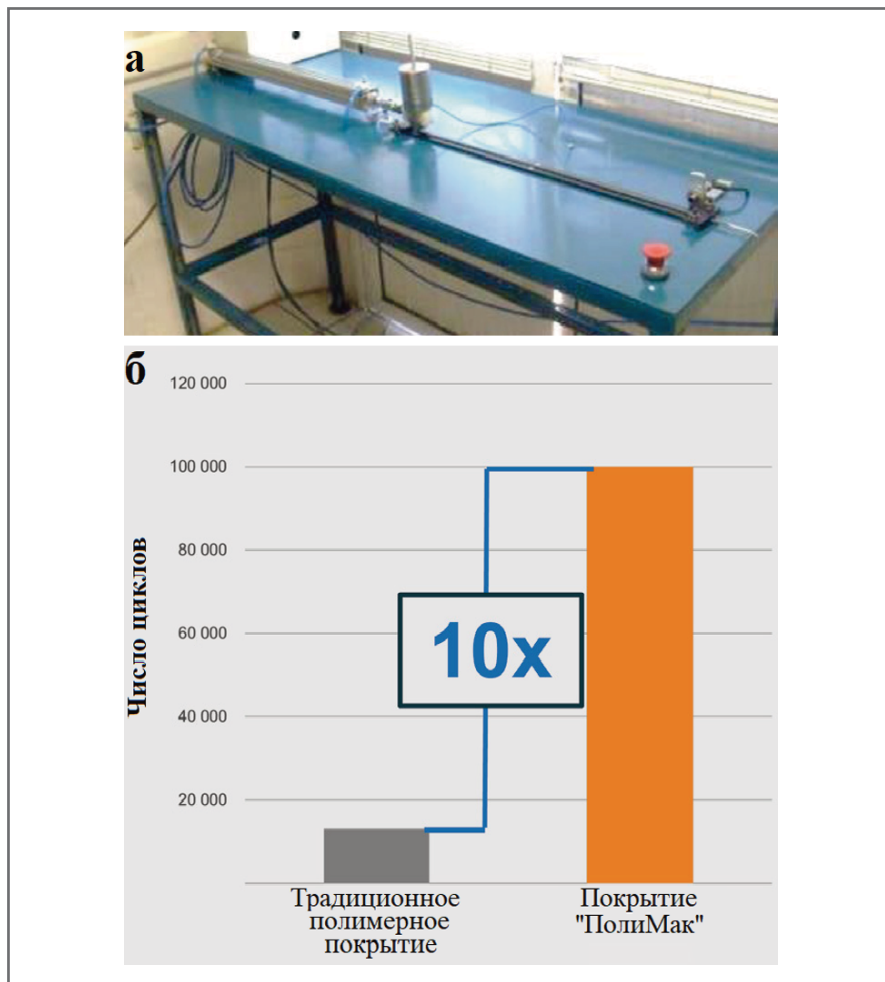


Рис. 5. Испытания нового покрытия ПолиМак в соответствии со стандартом DIN EN 60229 показали десятикратное увеличение его устойчивости к истиранию по сравнению с поливинилхлоридным (ПВХ) покрытием: а – фотография процесса испытания (специальное устройство типа пневматического пистона двигает прижатую к покрытию металлическую точку вверх и вниз со скоростью 300 мм/с. – Ред.); б – результаты тестов

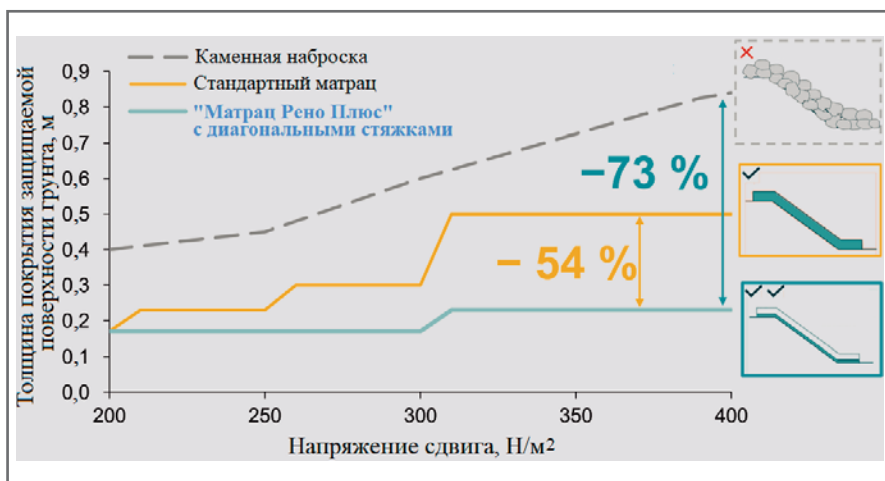


Рис. 6. Потенциальная экономия на каменном заполнителе матрацев при различных сдвигающих силах

Предельная нагрузка, которую может выдержать Матрац Рено Плюс высотой всего 17 см с двойными диафрагмами и диагональными стяжками, превышает таковую для «Матраца

Рено» высотой 30 см с двойными диафрагмами.

А Матрац Рено Плюс высотой 30 см обеспечивает предельное сопротивление сдвигу почти 650 Па, что ра-

нее считалось недостижимым для габионов матрацного типа.

Это влияет на возможные области применения инновационных конструкций в двух аспектах.

1. Проекты, которые ранее были разработаны на основе предельных нагрузок для матрацев предыдущих поколений, теперь могут быть реализованы с помощью матрацев нового поколения со значительно меньшей толщиной слоя.

2. Проекты, для которых ранее нельзя было использовать плоские габионные конструкции из-за чрезмерных сдвигающих сил, теперь также могут быть реализованы с помощью матрацев нового поколения. Если такие новые области применения характеризуются большими силами сдвига, которые будут действовать на матрацы, необходимо учитывать все общие граничные условия. Силы, которые могут воздействовать на каменный заполнитель и вызывать его «скатывание», будут успешно рассеиваться за счет стабилизации его положения в результате повышения жесткости крышки с помощью новых диагональных стяжек. А значительно более высокая устойчивость полимерного покрытия к истиранию (рис. 6) позволит выдерживать более сильные воздействия, связанные с высокими скоростями потоков.

Потенциал экономии

Совершенно очевидно, что уменьшение толщины матраца в сочетании с его превосходными эксплуатационными характеристиками приводит к экономии, поскольку используется меньше материалов для изготовления металлоконструкций и меньше каменного заполнителя (см. рис. 6). Соответственно, нужен меньший объем транспортировки этих материалов на строительную площадку, а строительство защитных систем будет выполняться быстрее.

К тому же указанное выше приводит к меньшему весу каждого матраца (что может, например, сыграть важную роль при подводной установке защитных систем с помощью грузоподъемной траверсы или монтажной стрелы), а также в целом к более эффективному и менее долговому использованию строительной техники и труда обслуживающего ее персонала и монтажников. В дополнение к более низким затратам на материалы и рабочую силу это также приводит к значительному снижению поступления в атмосферу углекислого газа.

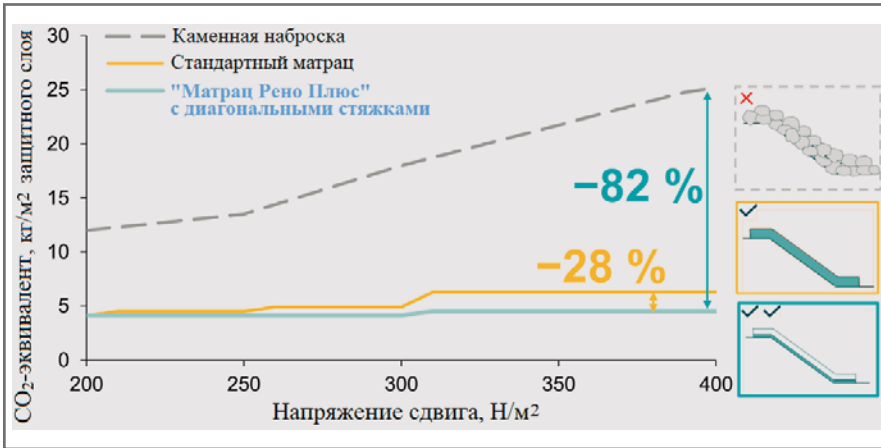


Рис. 7. Потенциальное уменьшение поступления в атмосферу углекислого газа для нового поколения берегозащитных систем при различных силах сдвига по данным из «Декларации о соответствии продукта экологическим нормам» – Environmental Product Declaration, EPD (CO₂-эквивалент обозначает, какой массе углекислого газа равна общая масса выбросов парниковых газов исходя из их воздействия на климат, но в первоисточнике на графике не указано, для какого срока приведены данные – для всего срока службы защитных систем или для иного периода времени. – Ред.)

А если сравнивать инновационные матрацы не с предыдущими их поколениями, а с системами берегоукрепления из каменной наброски, то потенциал экономии становится еще более

впечатляющим: 73% по толщине слоя (см. рис. 6) и 82% по поступлению в воздух углекислого газа (рис. 7).

В отношении конструкций и их антикоррозионного покрытия Матрацы

Рено Плюс, безусловно, обладают потенциалом для строительства значительно более экономичных, долговечных и экологически безопасных систем защиты берегов и русел водотоков и в том числе обеспечивают значительную экономию природных ресурсов, денег и времени, а также сокращают поступление в атмосферу углекислого газа.

Защита флоры и фауны / экологическая безопасность ▶

Наблюдения за берегоукрепительными и руслозащитными системами из габионов матрацно-тюфячного типа возрастом до 100 лет показывают, что флора и фауна «овладевают» этими заполненными камнем стальными конструкциями за сравнительно короткие промежутки времени (рис. 8, 9). Это относится, в частности, к быстрому развитию растительности на склонах и в переходных к воде зонах, где при отсутствии прополки приживаются даже древесные растения, причем сетка с годами не просто раздвигается, а интегрируется в древесину стволов.



Рис. 8. Берегоукрепление с помощью комбинации матрацевидных и обычных габионных конструкций: а – строительство берегоукрепительной системы; б – начало образования растительного покрова на ней; в – выросший на ней лес



Рис. 9. Берегоукрепление с помощью комбинации матрацевидных и обычных габионных конструкций: а – строительство берегоукрепительной системы; б – образовавшийся на ней растительный покров



Рис. 10. Колонизация подводной системы из матрасевидных габионов в Южной Африке офиурами, или змеехвостками (донными иглокожими, внешне напоминающими морских звезд, но имеющими членистые лучи, которые при питании поднимаются вверх. – Ред.)

Попадание мелкодисперсного материала в промежутки между заполняющими матрасы камнями в результате действия течений, дождей или ветра создает органическую основу для прорастания там многих видов растений. Этот естественный процесс можно ускорить, используя гидросмеси для посева местных трав.

А мелкие животные, в том числе амфибии, находят для себя безопасные убежища и спасение от хищников в узких щелях между поверхностями камней в матрасах.

То же самое относится и к участкам этих конструкций, покрытым водой, где более мелкие водные организмы и водные растения быстро закрепляются на поверхностях сеток и камней и в защищенных пространствах между ними (рис. 10).

Проверка того, что компоненты системы из Матрасев Рено Плюс не оказывают неблагоприятного воздействия на окружающую среду, была успешно выполнена в рамках национального «Германского экологического сертификата» в соответствии с инструкцией M GeoK E, основанной на европейских и международных стандартах и опыте строительства [14], и в соответствии с международно признанной процедурой испытаний для подготовки «Декларации о соответствии продукта экологическим нормам» (Environmental Product Declaration, EPD [15])

Поддержка проектирования и эффективное управление проектами с помощью BIM ▶

Проектирование систем берегоукрепления из инновационных Матрасев Ре-

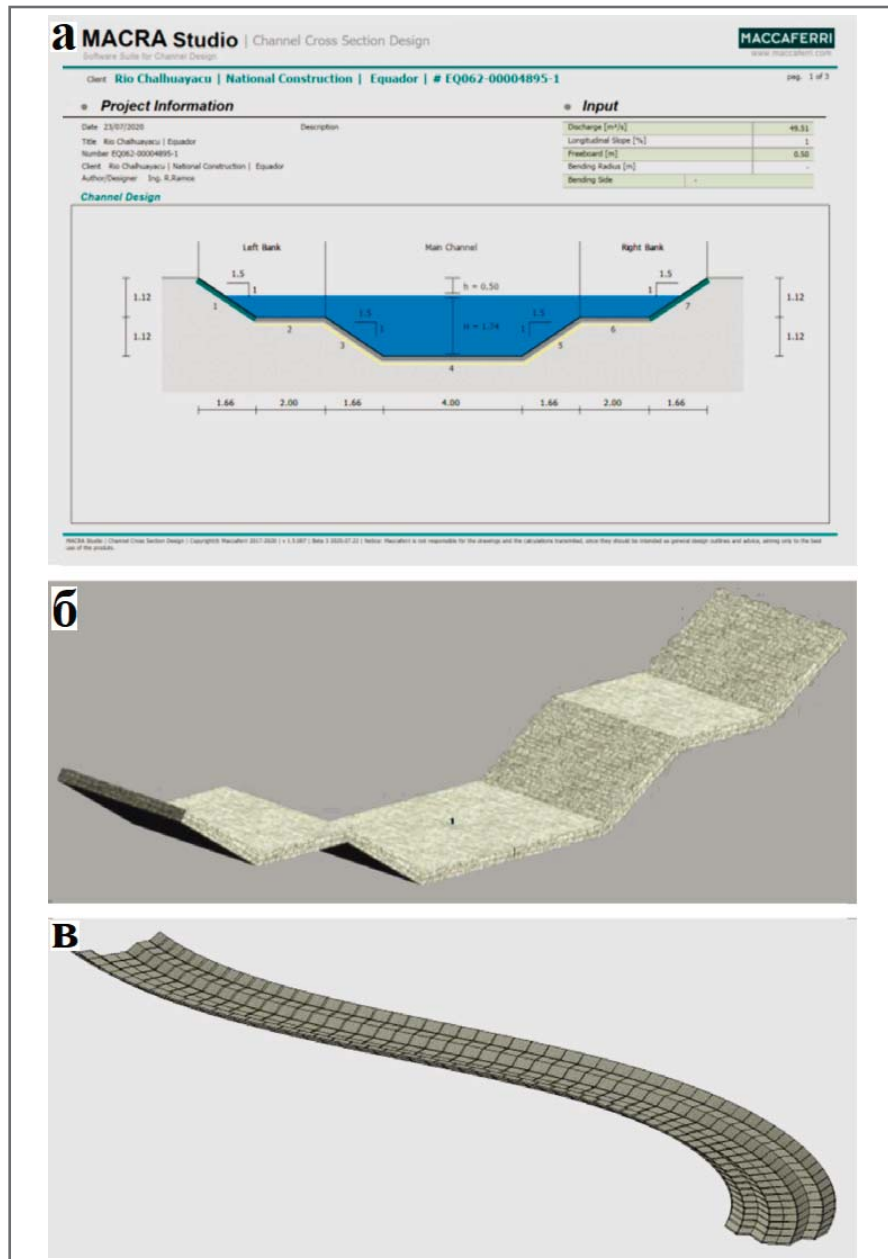


Рис. 11. Проект берегоукрепительной системы с использованием программного обеспечения Macra Studio 1.5 (а); 3D-визуализация этой системы с элементами планирования BIM: короткий участок системы (б), изображение укрепленного русла и берегов реки на более длинном участке (в)

но Плюс поддерживается с помощью специального бесплатного программного обеспечения (рис. 11, а) со всеми необходимыми параметрами [16].

Гидротехнические проекты все чаще реализуются с использованием информационного моделирования объектов строительства (Building Information Modeling, BIM), которое позволяет разработать трехмерную модель системы защиты русла и берегов водотока (например, рис 11, б, в), а также поддерживает процессы планирования, проведения конкурсных торгов (тендера), получения заказа, развития проекта на всех этапах, в том числе на этапе эксплуатации.

Компания «Маккаферри» предоставляет проектировщику элементы планирования, которые можно использовать непосредственно для информационного моделирования [17].

Объекты BIM включают подробную геометрическую и физическую информацию о продукте для технического описания, определения количеств элементов и составления ведомости объемов работ. Они подходят для интеграции в программный комплекс для автоматизированного проектирования Autodesk Revit или (в формате файлов ICF) в другие системы, также реализующие принципы BIM. Необходимые данные, относящиеся к продукту,

также можно импортировать в конечноеlementную программу Plaxis и эффективно использовать для дополнительных расчетов.

Объекты BIM были утверждены Британским советом по лицензированию (British Board of Agreement, BBA).

Резюме и перспективы ►

Водотоки Германии имеют общую длину около 7 200 км. В большинстве систем берегоукрепления, основанных преимущественно на положительном историческом опыте, используется каменная наброска. Такие системы регулярно ремонтируют и местами обновляют.

Результаты трехлетней серии исследований показали, что защита берегов и русел водотоков в значительной мере может быть выполнена также с помо-

щью систем из инновационных Матрацев Рено Плюс, описанных в данной статье, которые имеют огромный потенциал экономии в отношении первоначальных затрат, транспортировки материалов и потребления ресурсов. Эти системы также обеспечивают эффективную защиту от роющих животных. И соответствуют требованиям об учете аспектов долговременной защиты окружающей среды и климата [18].

Матрацы Рено Плюс с диагональными стяжками обеспечивают снижение поступления в атмосферу углекислого газа на 82% и уменьшение толщины слоя каменного заполнителя на 73% по сравнению с обычной каменной наброской и, таким образом, защищают климат и природные ресурсы. То, что системы из таких матрацев со временем могут полностью покрыться раститель-

ностью, означает, что они идеально вписываются в естественную среду и пейзажи берегов рек или каналов.

При подготовке новых проектов можно получить доступ к 140-летнему опыту в области гидротехники, к бесплатному современному программному обеспечению для проектирования и к бесплатным библиотекам элементов для BIM.

Благодаря доказанному существенному уменьшению поступления в атмосферу углекислого газа, значительному сокращению потребления ресурсов и почти естественному зеленому внешнему виду укрепленной береговой линии использование рассмотренных инновационных матрацев может внести большой вклад в сохранение устойчивости окружающей среды и климата. **И**

Источник для перевода ►

Michael M., Masola F. Sustainable climate protection in hydraulic engineering with innovative river mattresses for bank protection // GeoResources Journal. 2021. Vol. 3. P. 14–20. Special Topic. URL: georesources.net/download/GeoResources-Journal-3-2021.pdf.

Список литературы, использованной авторами переведенной статьи ►

1. Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) und Bundesanstalt für Gewässerkunde (bfg): Technisch-biologische Ufersicherungen an Bundeswasserstrassen. URL: ufersicherung-baw-bfg.baw.de/.
2. LAWA-Expertengruppe „Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft“: Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft – Bestandsaufnahme, Handlungsoptionen und strategische Handlungsfelder. 2017. URL: umweltministerkonferenz.de/documents/top_29_wasserwirtschaft_bericht_1532603521.pdf.
3. Melcher et al. Der Einfluss der Ufervegetation auf die Wassertemperatur unter gewassertypspezifischer Berücksichtigung von Fischen und benthischen Evertebraten am Beispiel von Lanitz und Pinka. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft. 2016. Vol. 68. S. 308–323. DOI: 10.1007/s00506-016-0321-8.
4. Arndt M. Hoherer Überstromungswiderstand von Deichen und Ufern durch Sicherungen gegen Nage- und Wuhltiere. GeoResources Zeitschrift. 2017. Vol. 4. S. 12–18. URL: georesources.net/download/GeoResources-Zeitschrift-4-2017.pdf.
5. Agostini R., Cessario L., Ferraiolo F., Papetti A. Flexible gabion and Reno mattress structures in river and stream training works. Section two. Longitudinal structures. Bologna, Italy: Officine Maccaferri S.p.A., 1988.
6. Simons D.B., Chen Y.H., Swenson L.J. Hydraulic test to develop design criteria for the use of Reno mattresses. Fort Collins, Colorado, USA, 1983.
7. Sogreah Ingenieurs Conseil: Protection de berges de 1/3 contre le batillage par matelas Reno: Report 320839 R1, Grenceia, France, July 1983.
8. Incyth Laboratorio De Hidraulica Aplicada: Ita.
9. Brea A.E., Lasarthe H.J. Hopwood: Estudio de colchort no sometidas a oleaje. Ezeiza, Buenos Aires, 1987.
10. Eggleston S. Hydraulic testing and data report for phase 1 – rock gabion mattress testing.
11. Galante F. Hydraulic Handbook. Bologna: Officine Maccaferri s.p.a., 2017 (in-house publication).
12. Eggleston S., Hogan T., Thornton C.I., Keen A. Test Report. Colorado State University, January 2019.
13. Pietro P.D., Thornton C., Hogan T., Mandavkar S., Mazon N. Experimental study onrevet mattresses in open channel flow: a new design approach against erosion. ICSE, 2020.
14. Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen FGSV: Merkblatt über die Anwendung von Gekunststoffen im Erdbau des Strassenbaus (M Geok E). FGSV-Nr. 535. 2016.
15. EPD in accordance with ISO 14025 and EN 15804:A1+PCR:2012:01. Construction products and construction services. Version 2.2. Geographical scope. GlobalEPD registration number: S-P-01466. Date of publication (issue): 2019-01-18. Date of validity: 2023-12-17 (5 years).
16. Maccaferri Group. MACRA Studio Software. URL: maccaferri.com/com/wp-content/uploads/2020/08/MACRA-Studio-v1.5.zip.
17. Maccaferri Group. BIM-Store. URL: maccaferri.com/bim/.
18. Schneider T., Schmidt V. Rechtsgutachten umweltfreundliche öffentliche Beschaffung. Umweltbundesamt, Aktualisierung 2020, Texte 188/2020. 2020. URL: umweltbundesamt.de/publikationen/rechtsgutachten-umweltfreundliche-oeffentliche.



Заглавное фото: pixabay.com/ru/photos/пейзаж-горы-ледник-альпы-вале-3612893/ [26]

О ПЕРЕМЕЩЕНИИ МАТЕРИАЛА В УСЛОВИЯХ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ И ОЛЕДЕНЕНИЯ В ВЫСОКОГОРЬЕ

АНАЛИТИЧЕСКАЯ СЛУЖБА
«ГЕОИНФО»
info@geoinfo.ru

Предлагаем вниманию читателей обзор материалов статьи «Процессы перемещения материала, связанные с многолетней мерзлотой и оледенением» [17] с привлечением дополнительных рисунков и информации. Указанная работа [17] была написана исследователями из Швейцарии и Канады – Робертом Кеннером, Лукасом Аренсоном и Лоренцом Грамигером. Она была опубликована на английском языке в январе 2021 года на сайте ResearchGate [17], представляющем собой европейскую академическую социальную сеть для ученых, направленную на продвижение результатов исследований [43]. Эта объемная работа также вошла в виде отдельной главы в книгу *Treatise on Geomorphology* («Трактат по геоморфологии») [18], опубликованную на английском языке издательством Elsevier.

В своей статье [17] Роберт Кеннер с соавторами основное внимание уделяют разрушению скальных склонов и перемещению обломочного материала в высокогорных районах, подверженному воздействию многолетней мерзлоты и оледенения. Они обсуждают многогранное модулирующее влияние гляциальных, парагляциальных и перигляциальных процессов на эрозию и формирование в горах в разных временных масштабах, включая текущую фазу быстрого потепления климата. Рассмотренные этими авторами процессы перемещения материала, происходящие в различных объемах и с разной скоростью, варьируют от медленных деформаций каменных глетчеров до крупномасштабных разрушений скальных склонов с возникновением обвалов, камнепадов, потоков обломочного материала и пр. И это должно представлять большой интерес для инженеров-исследователей и для организаций, занимающихся проектированием инфраструктурных объектов и их инженерной защиты в горных регионах.

Консультационную помощь редакции при подготовке обзора оказали специалисты российского представительства компании Trumer Shutzbauten, которая предлагает экономически выгодные и эффективные системы защиты от опасных склоновых процессов.

ВВЕДЕНИЕ

В высокогорных регионах оледенение и многолетняя мерзлота совместно влияют на перемещение материала в различных масштабах и с разными скоростями. Медленное деформирование ледников или каменных глетчеров обычно некритично для деятельности человека, но быстрые перемещения обломочных материалов, высвобождаемых из криосферы (такие как камнепады, обвалы, сели, каменные, снежные и ледяные лавины и пр.), могут быть опасными для имеющейся на склонах инфраструктуры, например для населенных пунктов и транспортных или энергетических коридоров. В статье «Процессы перемещения материала, связанные с многолетней мерзлотой и оледенением» [17] Роберт Кеннер, Лукас Аренсон и Лоренц Грамигер уделяют основное внимание разрушению скальных склонов и движению обломочного материала в высокогорных районах, подверженных воздействию многолетней мерзлоты и оледенения. Их работа носит обзорный характер и основана на анализе очень большого количества публикаций.

Ссылаясь на других авторов, Кеннер с коллегами [17] говорят о том, что высокогорная криосфера является одной из наиболее чувствительных сред к изменениям климата. Локальная деградация многолетней мерзлоты и ледников из-за глобального потепления может вызывать положительную обратную связь в виде самоусиливающегося потепления атмосферы, криосферы и литосферы. Поэтому во всем мире ожидается чрезмерное потепление в высокогорных и полярных регионах. В сочетании с региональными сдвигами в режимах выпадения атмосферных осадков весьма вероятно продолжение и ускорение дегляциации и деградации многолетней мерзлоты почти во всех регионах Земли. При этом отступление ледников можно наблюдать визуально, а увеличение температуры многолетней мерзлоты и ее таяние в горных районах в значительной степени невидимы и могут наблюдаться только с использованием дорогостоящих методов мониторинга.

Гляциальные, парагляциальные и перигляциальные процессы, подготавливающие быстрые перемещения материала, обычно идут на протяжении периодов длиной от нескольких десятилетий до тысячелетий, и только после этого вызывают крупномасштабные нарушения стабильности грунтовых массивов. В устойчивых климатических усло-

виях частота быстрых перемещений масс из этих сред относительно низка. Но под влиянием быстрого потепления климата развитие или активизация нестабильностей могут ускориться.

Кеннер с соавторами [17] подчеркивают, что для гляциальных, парагляциальных и перигляциальных процессов очень важно проводить различие между подготовкой и активизацией движений масс, а также учитывать разные временные масштабы, поскольку для длительных и коротких периодов времени актуальность многих процессов, описанных в работе [17], явно неодинакова. Более того, влияние многолетней мерзлоты и ледников на устойчивость, например, скальных склонов можно даже увидеть с точностью до наоборот, если рассматривать его в разных временных масштабах: в краткосрочной перспективе это воздействие может быть стабилизирующим, а в долгосрочной – разрушительным.

Поэтому авторы статьи [17] обсуждают как подготовительные процессы, так и краткосрочные триггеры быстрых перемещений грунтовых материалов, высвобождаемых из криосферы высокогорных областей в результате глобального потепления. Кроме того, они рассматривают динамику медленных движений масс, а также описывают возможные сценарии будущего с учетом чувствительности рассмотренных процессов к изменениям климата.

Публикация [17] состоит из двух основных частей:

- 1) анализа роли многолетней мерзлоты в движении высокогорных масс с обсуждением многолетнемерзлых обломочных отложений разной степени льдистости и коренных скальных пород;
- 2) рассмотрения многогранного влияния ледников на топографию горных регионов и на устойчивость отдельных склонов с выделением различных форм ледниковой эрозии, их микроклиматических эффектов и последствий влияния повторяющихся ледниковых циклов.

ВЫСОКОГОРНАЯ МНОГОЛЕТНЯЯ МЕРЗЛОТА

Многолетнемерзлые обломочные отложения разной степени льдистости и их потенциальные перемещения ►

Содержание льда в многолетнемерзлых грунтах обуславливает их льдистость, то есть содержание льда,

выраженное в процентах или долях единицы. По ГОСТ 25100-95 [7] такие грунты подразделяются на нельдистые, слабольдистые, льдистые, сильнольдистые и очень сильнольдистые. Для дисперсных (в том числе обломочных) отложений содержание льда для перечисленных разновидностей составляет соответственно: 0–3; 3–20; 20–40; 40–60; 60–90% [7].

Как указывают авторы статьи [17], объем льда, содержащегося в льдистых, сильнольдистых и очень сильнольдистых многолетнемерзлых грунтах, значительно превышает объем их порового пространства в незамерзшем состоянии. В горах деятельный слой такого грунта (периодически оттаивающий и замерзающий в разные сезоны [37]) ближе к поверхности в основном состоит из крупнообломочных осыпных отложений, валунов и булыжников, а с глубиной в нем увеличивается доля мелкозернистых материалов.

Льдистые, сильнольдистые и очень сильнольдистые многолетнемерзлые грунты до определенных нижних высотных отметок горных регионов могут существовать даже в пределах конкретных форм рельефа, вне которых нет многолетней мерзлоты. Их сезонные температурные профили в этих более низких диапазонах высот часто характеризуются протяженными нулевыми завесами, которые указывают на процессы таяния и замерзания, вызывающие выделение или потребление скрытого тепла массивными ледяными телами. (Напомним, что нулевая завеса – это подвижная во времени температурная преграда, возникающая в толще мерзлых грунтов при смене фазы воды на фазу льда и обратно при нулевой температуре и препятствующая теплообмену. Основной причиной ее появления и существования служит выделение скрытой теплоты льдообразования при промерзании грунта и поглощение скрытой теплоты при таянии подземного льда. В начале зимы нулевая завеса начинается почти с дневной поверхности, затем она постепенно понижается до мерзлой толщи к началу лета. А потом все происходит в обратном порядке [6, 11].)

На склонах сильнольдистые и очень сильнольдистые многолетнемерзлые грунты деформируются под собственным весом и часто образуют формы рельефа, известные как каменные глетчеры, типичное объемное содержание льда в которых варьирует от 50 до 70% [17].



Рис. 1. Зоны питания и транзита каменного глетчера Штайнигкарле в Эцталских Альпах [21, 39]



Рис. 2. Нижняя часть каменного глетчера Рейченкар в Тирольских Альпах [21, 39]



Рис. 3. Фронтальный уступ-откос (зона разгрузки) активного каменного глетчера в Северном Тянь-Шане [1]



Рис. 4. Каменный глетчер Иннере-Ольгрубе в Эцталских Альпах [21, 39]



Рис. 5. Каменный глетчер Сульцкар в западной части Штубайских Альп [21, 39]



Рис. 6. Каменный глетчер в Северном Тянь-Шане [1]

Каменные глетчеры состоят из крупнообломочного материала и льда и обычно являются стратифицированными. Они имеют вид языков, лопастей и террасовидных шлейфов. Лопастевидные и языковидные каменные

глетчеры обычно имеют слабонаклонную поверхность и крутые боковые и фронтальные откосы (уступы). Они способны к медленному пластическому течению вниз по уклону подстилающей их поверхности из-за дефор-

мирования содержащегося в них льда. В плане они состоят из зон питания, транзита и разгрузки. Зона питания обычно представлена осыпями и потоками обломочного материала различного генезиса, абляционной мореной

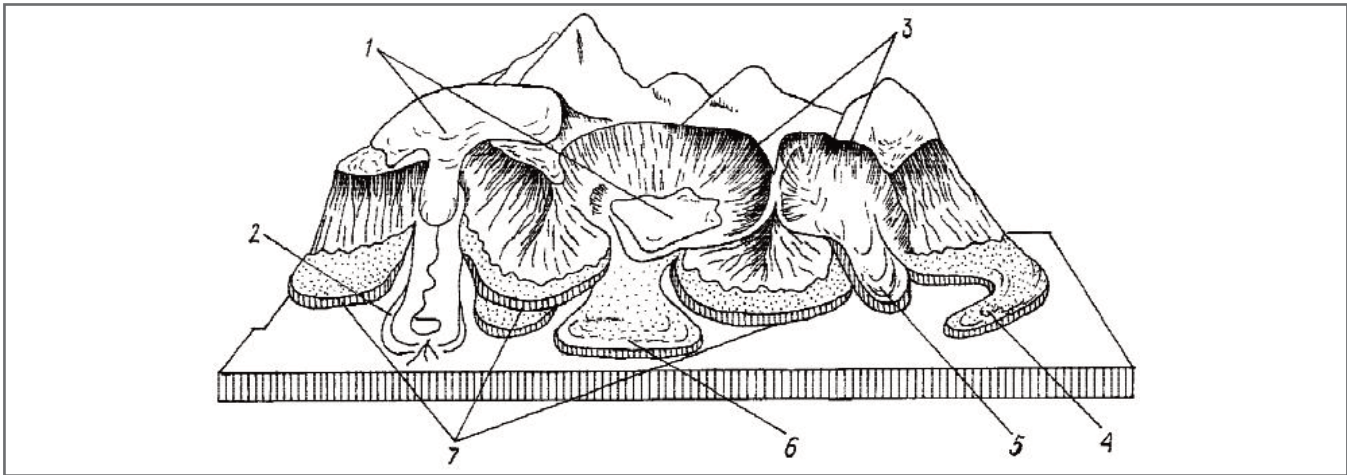


Рис. 7. Генетические и морфологические типы каменных глетчеров: 1 – ледники; 2 – ледниковые морены; 3 – кары (цирки); 4 – осыпной присклоновый языковидный каменный глетчер; 5 – ледниковый долинный языковидный каменный глетчер; 6 – долинный лопастевидный (лопатообразный) каменный глетчер; 7 – осыпной террасовидный каменный глетчер [1]

на концах ледников или даже техногенными отвалами и терриконами. Зона транзита представлена собственно каменным глетчером, где происходят основные деформации течения. Зона разгрузки (абляции) находится в краевой части вблизи фронтального откоса (уступа) и у его подножия (рис. 1–7) [11, 13, 15, 17, 21].

Кеннер с соавторами [17] отмечают, что на склонах крутизной более 30 град. сильнольдистые и очень сильнольдистые многолетнемерзлые грунты переходят в состояние непрерывного разрушения (когда напряжение сдвига превышает локальную прочность на сдвиг). Если фронтальная часть каменного глетчера достигает более крутой подстилающей поверхности, то из нее высвобождается каменный материал в виде камнепадов, потоков обломочного материала или даже селей, что в основном ограничивается частичным или полным обрушением деятельного слоя. Однако в некоторых случаях могут обрушиться большие части всего каменного глетчера в виде крупной каменно-ледяной лавины.

Динамика движения каменных глетчеров ►

Каменный глетчер, по образному сравнению авторов работы [17], движется по типу конвейерной ленты, в то время как для движения ледника основным механизмом является скольжение его подошвы по подстилающей поверхности. Это существенное отличие объясняет повсеместное отсутствие морен напора перед фронтами каменных глетчеров. (Однако наглядным доказательством консолидиро-



Рис. 8. Дерновые валики напора у подножия уступа-откоса каменного глетчера в Северном Тянь-Шане [1]

ванного движения каменного глетчера являются небольшие дерновые валики напора (рис. 8), которые могут возникать у подножия фронтального уступа, если каменный глетчер надвигается, например, на альпийский луг [1].)

На рисунке 9 показан типичный профиль деформации каменного глетчера, взятый авторами статьи [17] из работы Арнсона и др. [3]. Как правило, слой А толщиной до нескольких десятков метров с относительно небольшими скоростями внутренних деформаций наблюдался поверх четко определяемого слоя Б толщиной в несколько дециметров или несколько метров с относительно высокими скоростями деформаций. В некоторых случаях было идентифицировано более одной последовательности наложенных друг на друга слоев типа А и Б. Доминирующим процессом для слоя А считается пластическое деформирование массива сильнольдистого или очень

сильнольдистого многолетнемерзлого грунта в соответствии с законом Глена (то есть с моделью пути деформирования льда, основанной на экспериментах с ледяными блоками, проведенных в начале 1950-х годов Дж. В. Гленом, который обнаружил, что скорость деформирования в блоке льда, находящемся под постоянным напряжением, достигает устойчивого значения; позже эта модель была адаптирована Дж. Ф. Наем для применения к ледникам). Этот тип деформирования, обычно называемый ползучестью, сильно зависит от напряжения и температуры. Слой Б (см. рис. 9) характеризуется значительно более сильными ползучестью, сдвиговыми деформациями или комбинацией того и другого. Как правило, ползучесть связана со смещениями в микроструктуре материала, а сдвиг возникает в результате непрерывного разрушения микроструктуры. Чтобы упростить проведение различия

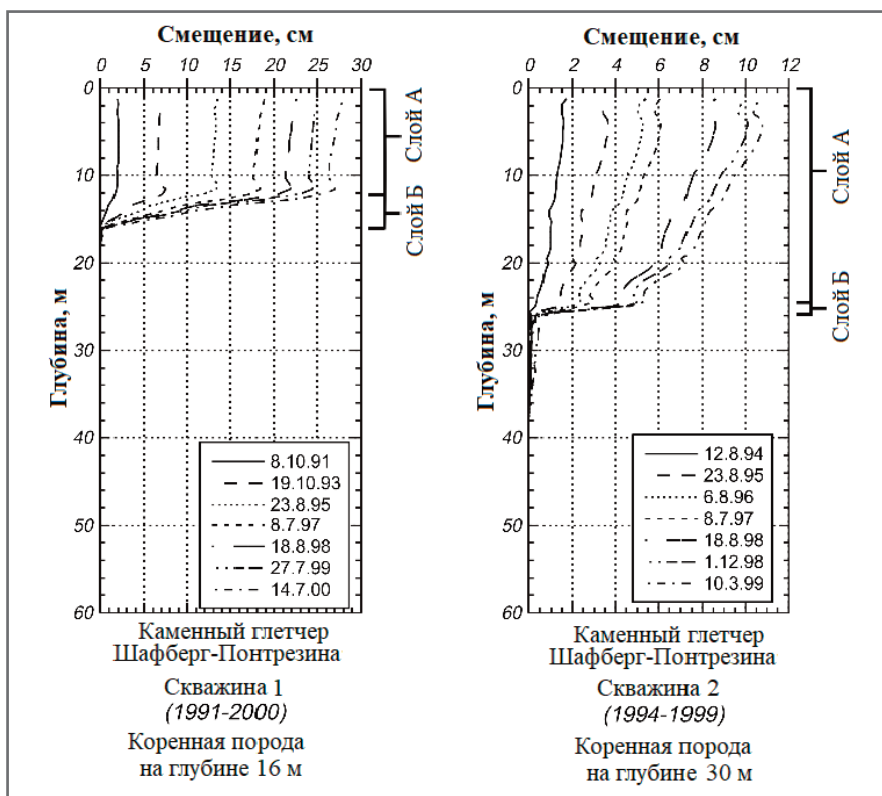


Рис. 9. Деформации в каменном глетчере Шафберг-Понтрезина в Швейцарии. Отчетливо виден хорошо выраженный горизонт сдвига на глубине 15 м для скважины 1 и на глубине 25 м для скважины 2. Для скважины 2 пластическое деформирование составляет почти 50% от общего деформирования, но оно практически отсутствует для скважины 1. Нижняя граница многолетнемерзлого грунта находится на глубине около 60 м для скважины 1 и на глубине примерно 40 м для скважины 2 [3, 17]



Рис. 10. Каменный глетчер в Швейцарских Альпах [17]

между обоими слоями, Кеннер с соавторами [17] называют слой А *зоной пластического деформирования*, а слой Б – *зоной сдвига*, хотя в некоторых случаях подходящим описанием для процессов в слое Б может быть «ползучесть, сконцентрированная в пределах ограниченного слоя». В реальности переход от де-

формирования каменного глетчера с преобладанием ползучести к деформированию с преобладанием сдвига является сложным и зависит от местных условий, поэтому обычно не может быть четко различимым.

Как отмечают Кеннер с соавторами [17], в зонах зарождения каменных

глетчеров или в относительно небольших или холодных каменных глетчерах деформации ползучести могут составлять 50% от всех деформаций. Доля сдвиговых деформаций и, соответственно, скорость движения растут вниз по склону, а также с увеличением его крутизны (если слой, в котором преобладают деформации сдвига, относится к слабоблидному многолетнемерзлому грунту, то скорость сдвига также может зависеть от его температуры). Многие из исследованных зон сдвига в каменных глетчерах расположены близко к подошве многолетней мерзлоты, что, вероятно, связано с идеальным сочетанием самых высоких температур многолетнемерзлых грунтов, самого большого напряжения и сосуществования воды и избытка льда.

Вклад деформаций ползучести в общую деформацию составляет не более нескольких дециметров в год, а сдвиги могут вызывать смещения каменного глетчера на несколько метров в год или, в крайних случаях, на несколько десятков метров. Для более быстро движущихся из них (со скоростью более 1 м/год) сдвиговые процессы, вероятно, являются доминирующими, особенно для крупных каменных глетчеров на крутых склонах (поскольку этот их тип наиболее важен для возникновения таких быстрых смещений грунтовых масс с фронтальной части, как камнепады, потоки обломочного материала, сели и пр., авторы статьи [17] далее уделяют ему особое внимание).

Факторы, влияющие на изменения скоростей движения каменных глетчеров

Роберт Кеннер с соавторами в своей работе [17] указывают, что изменения скоростей деформирования каменных глетчеров (рис. 10) могут происходить в суточных, сезонных, межгодовых и многолетних временных масштабах. Ускорение быстро движущихся из них происходит в зоне сдвига (точнее, в зоне с преобладанием сдвиговых деформаций, которая обычно располагается у подошвы каменного глетчера и о которой было рассказано выше) и скорее всего зависит от увеличения поступления в эту зону воды и связанного с этим снижения эффективного напряжения. Поэтому выпадение жидких атмосферных осадков и таяние снега могут объяснить краткосрочные и сезонные колебания в скоростях движения камен-

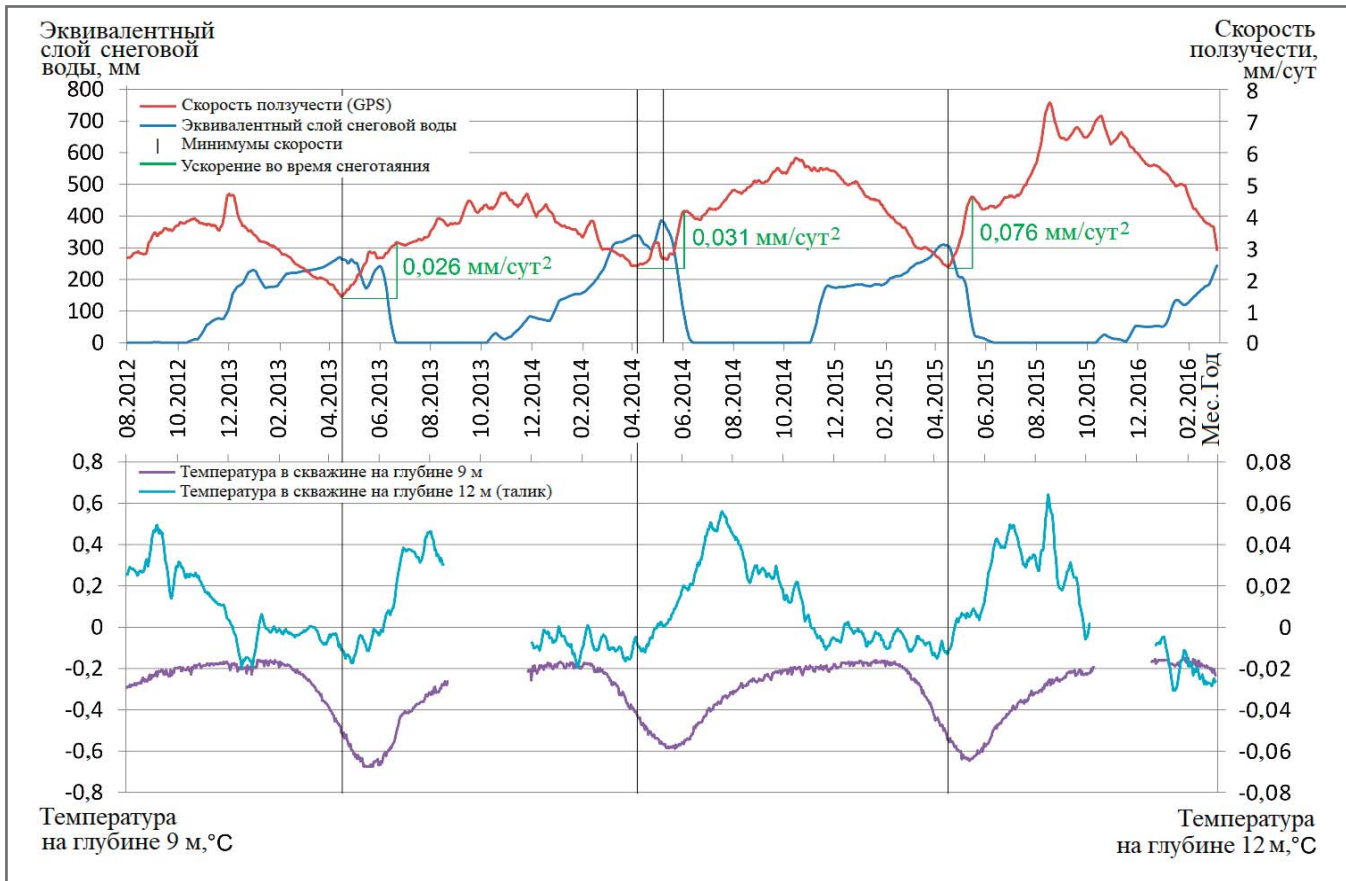


Рис. 11. Временные ряды показывают одновременное начало (вертикальные черные линии): 1 – таяния снега (синяя кривая); 2 – потепления талика, указывающего на приток воды к горизонту сдвига (бирюзово-голубая кривая); 3 – ускорения движения каменного глетчера Ритиграбен (красная кривая и зеленые пометки) в Швейцарских Альпах [17, 19]

ных глетчеров. Действительно, сезонное увеличение их скоростей обычно возникает с началом таяния снега (рис. 11). За промежутки времени в несколько часов они демонстрируют «скачкообразное» движение, при котором деформации, связанные со скольжением (сдвиговые), часто совпадают с выпадением атмосферных осадков.

Авторы статьи [17] отмечают, что снижению сопротивления сдвигу и потенциальному увеличению деформирования каменного глетчера способствует также (в дополнение к уменьшению эффективного напряжения) перенос тепла с водой, проникающей на большие глубины в пределах многолетней мерзлоты путем инфильтрации.

Однако в годовом и многолетнем масштабах интенсивность выпадения осадков и снеготаяния в незасушливых регионах слишком однородна, чтобы вызывать сильные изменения скоростей каменных глетчеров. Здесь доминируют другие причины, которые, вероятно, напрямую связаны с климатом. Два основных таких фактора Кеннер с коллегами [17] рассматривают далее.

1. *Период года, в течение которого происходит поступление воды в зону сдвига каменного глетчера.* Сезонное потепление обычно мало сказывается на скорости деформирования каменного глетчера, поскольку температура грунта вблизи зоны сдвига уже близка к 0 °С. Однако зимнее похолодание косвенно влияет на длительность периода поступления в него воды (ППВ), то есть на количество дней, в течение которых деятельный слой является не полностью промерзшим (когда либо его температуры положительны, либо наличие нулевой завесы указывает на присутствие жидкой воды). Этот период ограничивается началом снеготаяния весной и окончанием существования осенней нулевой завесы в начале зимы. Примечательно, что продолжительность ППВ может различаться между отдельными годами на величину до 4 месяцев и сильно коррелирует со скоростью деформирования каменных глетчеров, в частности со степенью зимнего замедления их перемещений. Межгодовые вариации в дате окончания присутствия осенней нулевой завесы зависят от снежного покрова в начале зимы. Не-

большое количество снега в это время обеспечивает отвод тепла и, следовательно, быстрое промерзание деятельного слоя, в то время как толстый снежный покров задерживает промерзание. С учетом того, что интенсивность зимних атмосферных осадков сильно не уменьшается, потепление климата в долгосрочной перспективе сдвинет дальше в зимнем сезоне дату исчезновения осенней нулевой завесы в деятельном слое грунта. Что касается даты начала снеготаяния весной, то она напрямую связана с погодными условиями (температурой воздуха и солнечным излучением) и, следовательно, с долгосрочными изменениями климата [17].

2. *Соотношение между быстрым и базисным стоками.* В контексте рассматриваемой темы быстрый (поверхностный) сток берет свое начало в верхней части склона, откуда вода течет вниз поверх массива многолетнемерзлого грунта и не достигает зоны сдвига в каменном глетчере. А базисный (подземный) сток фактически достигает горизонта сдвига и влияет на скорость движения каменного глетчера [15, 17, 38]. Соотношение между быстрым



Рис. 12. Разорванный каменный глетчер в Альпах [1]



Рис. 13. Обрушение фронтального уступа каменного глетчера (Аляскинский хребет) [1]



Рис. 14. Каменно-ледяная лавина в Гималаях [21]

и базисным стоками может измениться из-за дальнейшего развития дренажных систем в толще многолетне-мерзлого грунта в ответ на продолжающуюся деградацию многолетней мерзлоты, что может вызвать долгосрочное увеличение скорости движения каменного глетчера. Общая гидропроводность (водопроницаемость) каменного глетчера может увеличиться из-за более высоких температур многолетней мерзлоты в долгосрочной перспективе и появления устойчивой системы дренирования, что сходно с тем, что было обнаружено для ледников [17].

Далее Кеннер с коллегами [17], ссылаясь на других авторов, указывают, что в последние годы сообщалось о ряде разрушений каменных глетчеров, связанных не с катастрофическим перемещением материала, а со значительным увеличением скорости движения всего каменного глетчера или его частей (по крайней мере на порядок). Как правило, это происходит при средних наклонах поверхности, близких к 30 град., и чаще всего сопровождается развитием поперечных трещин растяжения или горизонтов сдвига. Но слишком большое ускорение движения (а также его сочетание, напри-

мер, со сжатием из-за вхождения в более узкую часть ущелья) может привести к разрыву каменного глетчера (рис. 12) или к обрушению его фронтального уступа (рис. 13) [1] и даже к обрушениям очень больших его частей, которые могут привести, например, к сходу каменно-ледяных лавин [17] (рис. 14). Однако, как отмечают авторы статьи [17], из-за крайне ограниченного числа известных случаев обрушений каменных глетчеров они подробно не исследовались. В целом, по предположению Кеннера и др. [17], факторы влияния здесь сходны с факторами, воздействующими на скорости

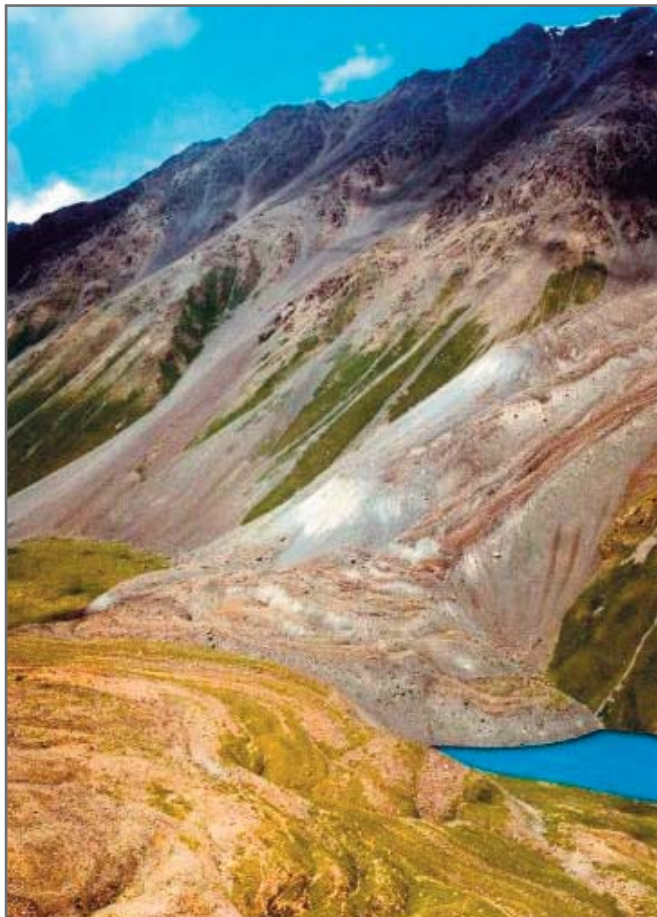


Рис. 15. Подпрудное озеро, образовавшееся при слиянии двух каменных глетчеров в верховьях реки Чонкемин в Северном Тянь-Шане [1]



Рис. 16. Техногенный каменный глетчер на киргизском золоторудном месторождении Кумтор, Тянь-Шань [1, 31]



Рис. 17. Отмерший каменный глетчер в Альпах [36]

деформаций каменных глетчеров, а также на эффекты чрезмерного нагружения зон их питания.

Влияние климата и сценарии будущего

Как показали многочисленные исследования, на которые ссылаются Кеннер и др. [17], динамика движения каменных глетчеров чувствительна не только к погоде, но и к климату. В условиях потепления может увеличиться поступление в них воды.

При продолжающемся потеплении климата для более холодных каменных глетчеров со среднегодовыми температурами ниже минус 1 °С более характерно постепенное увеличение температуры грунта. Тогда как для «теплых» каменных глетчеров (с температурами льда, близкими или равными 0 °С) вероятно увеличение водопроницаемости и дальнейшее развитие сети дренирования, что может привести к существенному увеличению скоростей их движения из-за инфильтрации воды к горизонту сдвига. Некоторые из них, если они находятся на крутых склонах, подвержены ло-

кальным обрушениям на своих фронтальных уступах (откосах).

В дальнейшем в каменных глетчерах с температурой, уже близкой или равной 0 °С, еще больше уменьшается содержание льда, увеличивается количество незамерзшей воды и продолжат расти общая гидропроводность, что приводит к большему проникновению воды в зону сдвига. И это еще больше увеличивает вероятность обрушений во фронтальных частях.

Потепление климата не только повысит гидропроводность, но и удлинит период года, в течение которого будет поддерживаться поступление жидкой воды в каменные глетчеры. Это снизит зимнее замедление их перемещений и увеличит скорости их годовых деформаций. Кроме того, по предположению авторов работы [17], более интенсивные дожди на увеличивающихся высотных отметках вызовут более частые кратковременные ускорения каменных глетчеров в летнее время, а также увеличат скорости их годовых деформаций.

В результате роста темпов движения каменных глетчеров с их фронтов

в будущем, вероятно, будут чаще происходить камнепады, потоки обломочного материала или даже сели. От редакции добавим, что особую опасность при этом могут представлять прорывы подпрудных озер, а также опасные склоновые процессы в результате возможных разрушений техногенных каменных глетчеров (рис. 15, 16).

В долгосрочной перспективе потепление климата может привести к существенной деградации многолетней мерзлоты и к связанному с этим таянию подземного льда в каменных глетчерах. При отсутствии в них избытка льда пластическое деформирование прекратится, остановив их дальнейшее движение и приведя к сглаживанию их фронтальных уступов или откосов. Таким образом, некоторые каменные глетчеры перейдут из активного в неактивное и в конечном счете в реликтовое состояние (рис. 17). Если говорить о сроках такого их развития, то они не ясны. Впрочем, как предполагают Кеннер с соавторами [17], из-за наличия изолирующего глыбового слоя на поверхности каменных глетчеров этот процесс может занять сотни



Рис. 18. Примеры солифлюкционных склонов в Швейцарии (а), Якутии (б), на Аляске (в) [22]

лет даже в случае осуществления текущих климатических прогнозов.

Слабодыстые многолетнемерзлые отложения ►

Роберт Кеннер с соавторами в своей статье [17] указывают, что объемное содержание льда в слабодыстых многолетнемерзлых грунтах меньше, чем объем их порового пространства. Из-за меньшего количества скрытой теплоты (тепла, высвобождаемого или поглощаемого термодинамической системой при фазовых переходах без изменения температуры этой системы [34]) распределение и температура льда строго контролируются среднегодовыми температурами воздуха и солнечным излучением.

Слабодыстыми многолетнемерзлыми могут стать все типы отложений с любыми стратиграфическими особенностями и гранулометрическим составом. При этом на крутых склонах их деятельный слой часто состоит из более крупных фрагментов обломочного материала, чем остальная толща. Ледяной «каркас» может стабилизировать рыхлый материал на склонах с большим наклоном, чем угол его естественного откоса, потому что низкое содержание льда препятствует ползучести мерзлого грунта [17].

Таким образом, в устойчивых климатических условиях слабодыстый многолетнемерзлый материал, который до заморозки был рыхлым, не склонен к самопроизвольному деформированию (если не станет более лдыстым). Однако деятельный слой в ответ на ежегодные циклы промерзания-оттаивания часто деформируется поверх подстилающей его многолетнемерзлой толщи. Пучение грунта при заморозке (морозное пучение) может приве-

сти к образованию рыхлого незатвердевшего деятельного слоя с нулевым эффективным напряжением, который при оттаивании будет вести себя как вязкая масса. Поэтому на многолетнемерзлом склоне с углом наклона, близким к углу естественного откоса покрывающего его деятельного слоя, может происходить второй, прерывистый, деформационный процесс, касающийся этого слоя. Процесс жидко- или вязкотекучего движения увлажненного мелкозернистого деятельного слоя, оттаявшего в теплое время года (или оттаявшего сезонно-мерзлого слоя) известен как солифлюкция (иногда для перигляциальных условий его называют гелифлюкцией) [17, 22, 35] (рис. 18). Ползучесть деятельного слоя приводит к вогнутому профилю деформации, а скорости деформирования коррелируют с толщиной этого слоя.

К деформированию всего деятельного слоя и его движению по кровле многолетней мерзлоты, как отмечают Кеннер с соавторами [17], могут привести два конкретных процесса.

1. Увеличение глубины подошвы деятельного слоя и связанное с этим таяние порового льда делают возможным сдвиг мелкозернистых отложений, которые ранее были скованы льдом и которые в сочетании со снижением эффективных напряжений из-за ограниченных возможностей дренирования имеют более низкое сопротивление сдвигу, чем типичный крупнозернистый материал ранее существовавшего деятельного слоя.

2. Интенсивные дожди могут привести к избыточным поровым давлениям и связанному с этим снижению эффективных напряжений на кровле многолетней мерзлоты.

Отсоединение деятельного слоя от нижележащей многолетнемерзлой тол-

щи может приводить к быстрым смещениям грунтовых масс (камнепадам, потокам обломочного материала, селям) и инициировать регрессию многолетней мерзлоты из-за исчезновения ее теплоизоляции. Это может позволить сформировать новый деятельный слой из верхней части ранее многолетнемерзлых отложений. Но, с другой стороны, такое дополнительное таяние может спровоцировать дальнейшее развитие неустойчивости, что потенциально создает «порочный круг», и это может продолжаться до тех пор, пока не растает весь грунтовый лед.

Как предполагают авторы статьи [17], по сравнению с сильнолдыстыми слабодыстыми многолетнемерзлыми грунтами более чувствительны к потеплению климата, то есть реагируют на него сразу. Толщина деятельного слоя слабодыстого многолетнемерзлого грунта варьирует сильнее и реагирует на изменения в атмосфере быстрее из-за недостатка буферной скрытой теплоты таяния льда.

Кеннер и др. [17], ссылаясь на других авторов, также полагают, что высокая чувствительность стабильности деятельного слоя к дождям в будущем станет более критичной, поскольку ожидается, что жидкие атмосферные осадки будут чаще достигать больших высот в горах и их интенсивность будет увеличиваться.

Сочетание углубления подошвы деятельного слоя и увеличения интенсивности дождей снизит предельное сопротивление сдвигу материала, находящегося на кровле многолетней мерзлоты, и может привести к более высокой частоте отрывов от нее деятельного слоя на крутых склонах с соответствующим инициированием камнепадов, потоков обломочного материала и селей. Однако трудно прогнозировать, возрастут ли масштабы этих

опасных событий или нет. Если активный слой не будет полностью установившимся, то объемы этих явлений будут ограничены более тонким слоем протаявших отложений.

Многолетнемерзлые трещиноватые скальные грунты в горах ►

Авторы статьи [17] отмечают, что лед содержится в микро- и макро-структуре многолетнемерзлых скальных пород. Если они нетрещиноватые, то обычно содержат очень небольшое количество льда (в зависимости от пористости). Кроме того, в поровом пространстве скальных грунтов даже при отрицательных температурах может иметься также немного жидкой воды.

В трещинах скальных пород может находиться больше льда. А на границах раздела «лед – порода» также могут иметься небольшие количества жидкой воды при минусовых температурах.

Распространение многолетней мерзлоты на скальных склонах, как правило, сильно зависит от среднегодовой температуры воздуха и солнечной радиации. На крутых склонах из-за отсутствия изолирующего снежного покрова, ограниченности содержания льда, а также из-за теплопередачи преимущественно за счет кондуктивного теплообмена (теплопроводности) максимальная годовая мощность деятельного слоя особенно сильно зависит от метеорологических воздействий и может значительно варьировать.

В ответ на различные воздействия и их комбинации многолетнемерзлые скальные склоны, особенно крутые, могут стать неустойчивыми и разрушиться. Масштабы этого варьируют от неглубоких нарушений стабильности, вызывающих небольшие камнепады, до крупномасштабных глубоких гравитационных деформаций, проявляющихся в виде уступов, террас, трещин растяжения, а также удлиненных траншеевидных впадин и бугров без четко выраженных разрывов сплошности. Такие движения больших масс могут вызывать опасные каменные лавины объемом в несколько миллионов кубических метров с дальностью выброса в несколько километров.

В долгосрочной перспективе на устойчивость скальных склонов влияют следующие перечисленные Кеннером с соавторами [17] процессы (рис. 19):

- структурная предрасположенность;

- криостатическое давление, вызываемое циклами промерзания-протаивания или сегрегационным льдовыделением;

- инфильтрация воды и гидростатическое давление;

- оледенение;

- термомеханические процессы;

- сила тяжести;

- старение, или развитие усталости скальной породы (образования и развития трещин, физического выветривания).

Далее авторы статьи [17] подробнее останавливаются на криостатическом и гидростатическом давлении, а также на инфильтрации воды, так как эти факторы наиболее сильно влияют на условия многолетней мерзлоты.

Криостатическое давление вызывает объемным расширением во время фазового перехода от воды ко льду, которое составляет около 9%. Однако внутри скального грунта этот фазовый переход обычно ограничивается окружающим материалом (в том числе жестким мерзлым поверхностным слоем и нижележащей многолетней мерзлотой при повторном промерзании после оттаивания). Реальное изменение объема бывает разным в зависимости от скальной породы и ее структуры, поскольку вода замерзает в трещинах и порах, вызывая повышенные давления и деформации сдвига в грунтовой массе. Развитие давлений морозного пучения зависит от времени. Их величины могут достигать нескольких десятков мегапаскалей, что может привести к разрушению связей между зернами, возникновению и необратимому раскрытию трещин. Однако в основном криостатическое давление вызывает субкритическое развитие трещин (когда сдвигающие силы меньше, чем сопротивление скального грунта сдвигу). Это означает, что криостатические силы вызывают дестабилизацию скальных склонов в долгосрочной перспективе, а не в течение одного периода замерзания (см. рис. 19).

В микромасштабах циклы промерзания-протаивания скальных грунтов могут вызывать их циклические деформации из-за замерзания и оттаивания поровой воды. Это сопровождается снижением их прочности на сжатие и растяжение, а также увеличением пористости в результате повреждения микроструктуры.

Если говорить о более крупных масштабах, то в летние месяцы в тре-

щинах может скапливаться вода, а в зимнее время там образуются ледяные клинья и вызывают напряжения, что приводит к дальнейшему раскрытию и распространению трещин. Этот процесс расклинивающего действия льда известен как конгелифракция, или морозобитие, морозное выветривание. Он наиболее эффективен, когда ограничено дренирование воды. В деятельном слое многолетнемерзлых скальных пород это обычно имеет место, поскольку сезонный мороз распространяется от поверхности внутрь, образуя фронт (нижнюю границу) промерзания. Поэтому жидкая вода оказывается между фронтом сезонного промерзания и кровлей многолетнемерзлого грунта, что также может привести к высокому криостатическому давлению. Направление промерзания относительно ориентации трещины является решающим дестабилизирующим фактором, причем наиболее эффективным в этом отношении является промерзание сверху вниз. На глубине более нескольких метров циклы промерзания-протаивания уже не происходят, поэтому морозобитие относительно мало способствует неустойчивости глубоких зон в массивах скальных пород [10, 12, 17].

Вода может также поступать из поровых пространств окружающих участков массива и транспортироваться к ледяному клину за счет криовсасывания – переноса водяного пара по температурному градиенту (или подъема воды по мелким трещинам за счет капиллярных сил), и при ее замерзании (сегрегационном льдовыделении) также может происходить расклинивание скальной породы льдом. На этом процессе Кеннер с коллегами [17], ссылаясь на других авторов, останавливаются более подробно.

Для сегрегационного льдовыделения требуются особые условия:

- в скальной породе должно содержаться достаточное количество влаги – более 65%;

- достаточно долго должен существовать градиент температуры, чтобы влага могла переноситься из более теплых участков в более холодные (при этом оптимальный температурный интервал для сегрегационного льдовыделения составляет от минус 3 до минус 6 °С).

Вода в мелких порах и трещинах грунта может оставаться жидкой при температуре ниже нуля, поскольку границы мелких пор и трещин имеют

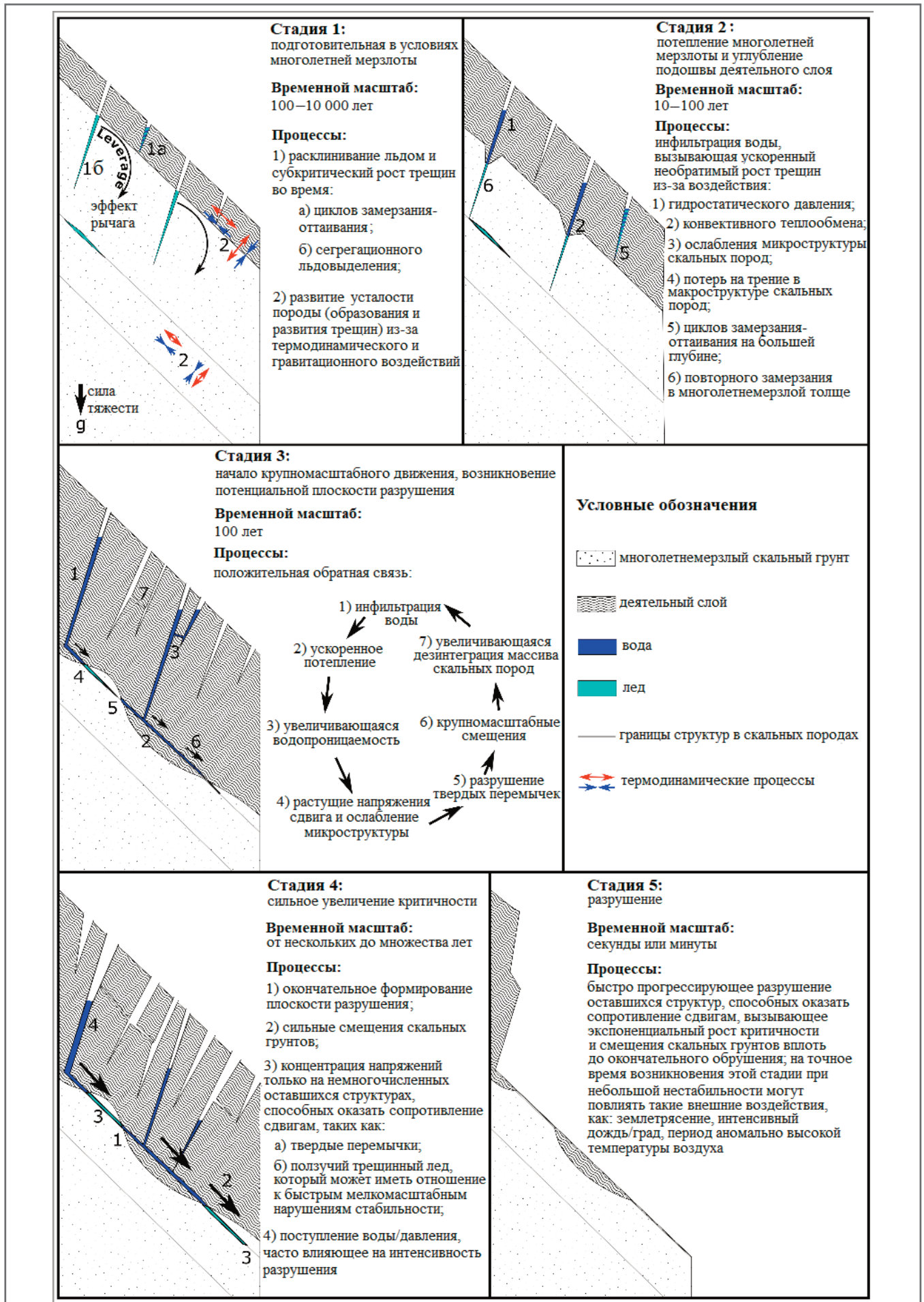


Рис. 19. Схематические разрезы многолетнемерзлого скального склона, иллюстрирующие различные стадии развития его нестабильности с указанием соответствующих этим стадиям временных масштабов и основных процессов (по [17])

очень большую кривизну, что может приводить к существованию в них термодинамически стабильной жидкости при температурах ниже точки замерзания ее большого объема (эффекту Гиббса – Томсона). Это позволяет воде просачиваться к ледяным линзам и клиньям, давая им возможность расти [42]. Тонкая пленка жидкой воды также может существовать при отрицательных температурах на пограничном слое между скальным грунтом и льдом в трещине. Если дополнительная влага достигнет этой водной пленки, то на границе воды и льда может образоваться новый лед и кристатическое давление увеличится. Параллельно в поровом пространстве вокруг трещины развивается отрицательное давление за счет переноса к ней влаги. Величина этого криосасывания в направлении сегрегации влаги может достигать нескольких мегапаскалей. Такой градиент давления дополнительно поддерживает рост клиньев льда и вызывает дальнейшее раскрытие и распространение трещин.

Подобно морозобитию эффективность сегрегационного льдовыделения также ограничена по глубине. Ограничивающими условиями здесь являются наличие температурного градиента и величины нормальных напряжений ниже примерно 200 кПа (поскольку нормальные напряжения в большинстве случаев в достаточной степени противодействуют усилиям, вызванным льдовыделением). Глубина, на которой достигаются эти пределы, может сильно варьировать в зависимости от геологического строения массива, размера и ориентации трещин, а также от общей топографии. Но все же сегрегационное льдовыделение может воздействовать на скальные грунты гораздо глубже, чем морозобитие. Во-первых, оно эффективно в многолетнемерзлых коренных породах на большей глубине, чем толщина деятельного слоя, подвергающегося воздействию циклов промерзания-протаивания. Во-вторых, ледяные линзы, жилы и клинья, образование которых вызвано сегрегационным льдовыделением, могут расти в течение тысячелетий, а не во время повторяющихся годовых циклов, как в случае морозобития. Если ежегодные циклы промерзания-протаивания вызывают усталость неглубоко залегающих зон скальных грунтов (возникновение и развитие в них трещин), то медленный рост сегрегационного льда может приводить к эффектам

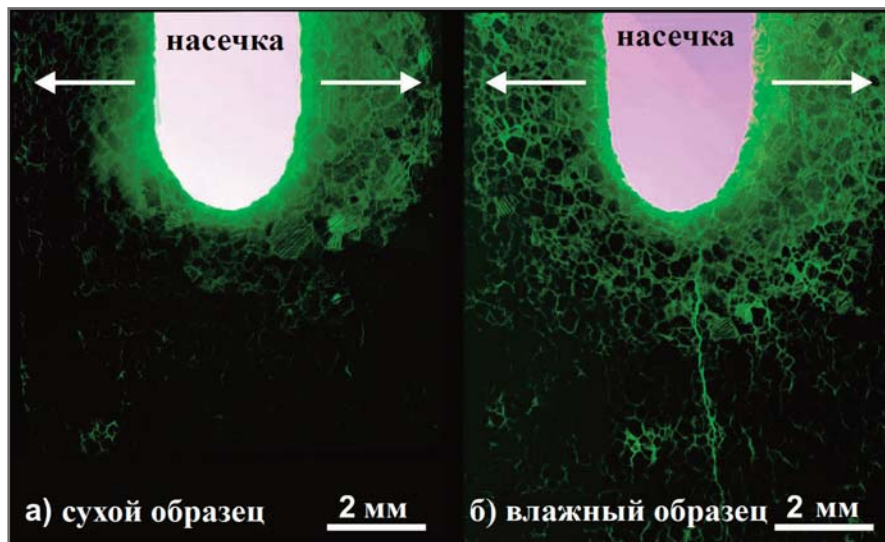


Рис. 20. Два шлифа каррарского мрамора под флуоресцентным микроскопом во время испытаний на изгиб (образцы фиксировались в их центрах, а затем медленно нагружались по краям, причем место разрушения задавалось выпиленной насечкой): а – сухой образец во время испытания (не наблюдается развивающейся одиночной трещины); б – насыщенный водой образец во время испытания (четко видна траектория разрушения по границам зерен) [17, 40]

рычагов (в зависимости от структуры скального грунта), которые проникают глубоко под поверхность склона и вызывают распространение трещин за пределы фактического диапазона сегрегационного льдовыделения аналогично тому, что можно наблюдать для термомеханических процессов.

Инфильтрация воды в массивы скальных грунтов действует в разных пространственных и временных масштабах. На микроструктурном уровне просачивание воды в ранее относительно сухую породу может на порядок увеличить ее повреждение в зависимости от напряжения (рис. 20).

В масштабе системы трещин дождь может вызвать их временное заполнение водой, что будет сопровождаться развитием *гидростатического давления* величиной до нескольких мегапаскалей в зависимости от уровня воды. Однако в высокогорных скальных грунтах таяние снега с меньшей вероятностью вызовет высокое гидростатическое давление, поскольку их поверхность в сезон снеготаяния обычно покрыта находящимся под снегом слоем льда, который часто препятствует инфильтрации воды в массив. Однако по мере прогревания атмосферы и таяния этого слоя льда дождевая вода начинает беспрепятственно проникать в грунт. Возникающее в результате гидростатическое давление может вызвать разрушение твердых перемычек и снизить предельное сопротивление трещиноватых пород сдвигу. Кроме того, вода обеспечивает быстрый ад-

вективный перенос тепла по системе трещин на большие глубины, где это может вызвать повышение температуры и таяние трещинного льда.

Что касается временного масштаба, то инфильтрация воды может выступать в качестве как долгосрочного фактора, разрушающего скальный склон (например, из-за повторяющихся циклов гидростатического давления или из-за прогрессирующей инфильтрации воды, вызывающей распространение субкритических трещин), так и краткосрочного инициатора возникновения камнепадов (например, из-за создания пика гидростатического давления во время интенсивного дождя).

При этом, как отмечают авторы статьи [17], многолетняя мерзлота сильно влияет на гидропроводность массива скальных грунтов. Например, холодная поверхность скальных пород способствует повторному замерзанию воды на небольшой глубине и длительному закрытию трещин льдом, который эффективно предотвращает инфильтрацию в воды в грунтовый массив.

Чувствительность к изменениям климата

Ссылаясь на других авторов, Роберт Кеннер с коллегами [17] пишут о том, что многие исследователи связывают повышение температуры или таяние многолетней мерзлоты на трещиноватых скальных склонах со снижением их прочности на сдвиг и с увеличением частоты их разрушений. Непрерывно растущая критичность в от-

ношении устойчивости таких склонов часто вызывается положительной обратной связью деструктивных процессов, приводящей к необратимой дестабилизации и в конечном итоге к крупным разрушениям.

Основным изменением, вызванным потеплением или таянием многолетней мерзлоты, является увеличение гидропроводности массива скальных грунтов. Как только лед в разрывах сплошности растает, вода начинает проникать в толщу трещиноватых пород, но на больших глубинах ее может встретить и не пропустить дальше лед, оставшийся ненарушенным. В таких случаях гидростатическое давление увеличивается и остается высоким в течение достаточно длительного времени. А повторное замерзание этой воды зимой может еще больше увеличить напряжение в структурах скального грунтового массива, причем даже на довольно больших глубинах.

Как авторы статьи [17] уже указывали, в морозные периоды в скальных грунтах могут образовываться новые трещины. После этого при потеплении может начаться значительная инфильтрация воды в ранее относительно сухие зоны массива пород, что вызывает разупрочнение их микроструктуры (см. рис. 20). Кроме того, даже в ранее водонасыщенных многолетнемерзлых породах соотношение воды и льда при потеплении или оттаивании увеличивается, что снижает их прочность на сжатие и растяжение на величину до 50% и более при высоких скоростях деформирования. В макроструктурах вода уменьшает сопротивление сдвигу по трещинам, другим разрывам сплошности или по потенциальным плоскостям сдвига. Все эти изменения, связанные с инфильтрацией воды в результате потепления, могут вызвать необратимое деформирование в массиве скальных грунтов: развитие трещин, разрушение твердых перемычек, увеличение пористости и в некоторых случаях ускоренные сдвиговые деформации. Такая дезинтеграция массива, в свою очередь, увеличивает его гидропроводность, что может привести к положительной, то есть ускоряющей процессы разрушения, обратной связи (см. рис. 19).

Независимо от инфильтрации воды, многие исследователи, на которых ссылаются авторы работы [17], указывают, что потепление и таяние скрепленного льдом многолетнемерзлого трещиноватого грунта приводят к ослаблению или

потере связи между его фрагментами и к соответствующему разупрочнению его структуры. Но тут решающее значение имеет учет временных масштабов.

При очень высоких скоростях деформирования (от 1×10^{-5} до $1 \times 10^{-6} \text{ с}^{-1}$) повышение температуры и таяние многолетней мерзлоты вызывают снижение прочности трещиноватого скального грунта на сжатие и растяжение, разупрочнение границ раздела «порода – лед» и «порода – порода», а также изменения в прочности и ползучести трещинного льда. Все это может иметь значение в краткосрочной перспективе для неглубоко залегающих и критически неустойчивых зон, в которых плоскости разрушения уже широко распространились и которые подвержены быстрому нагреванию, например во время волн летней жары. Наряду с инфильтрацией воды нагревание льда в трещинах может способствовать активности мелкомасштабных камнепадов с многолетнемерзлых скальных склонов и уступов в конце лета.

Плоскости разрушения в зонах средне- и крупномасштабных нестабильностей обычно развиваются в результате длительного развития гидроразрывов. Скорости деформирования в этих случаях обычно на несколько порядков меньше по сравнению с критическими мелкомасштабными нестабильностями и находятся в диапазоне от 1×10^{-9} до $1 \times 10^{-7} \text{ с}^{-1}$ (от нескольких миллиметров до нескольких дециметров в год). При таких малых скоростях деформаций лед ведет себя аналогично жидкости и его связующий эффект маловероятен.

Таким образом, активность небольших камнепадов наблюдается в конце лета и осенью, совпадая с сезонными пиками температур самых верхних метров трещиноватых скальных грунтов в горных регионах с «теплой» многолетней мерзлотой, а крупные разрушения скальных склонов, возникающие в пределах пояса многолетней мерзлоты, могут происходить круглый год.

Авторы работы [17] также добавляют, что изменения в прочности скальных грунтов при нагревании при любой скорости деформирования в основном характерны для исходно льдонасыщенных пород. Прочность сухого скального грунта (как правило, на больших глубинах) гораздо меньше зависит от нагревания.

Сценарии будущего

Кеннер с соавторами [17] прогнозируют, что при потеплении климата

вслед за изменениями атмосферных температур будет продолжаться прогревание скальных склонов. Это предполагает смещение «теплой» многолетней мерзлоты все выше в горы и все глубже от дневной поверхности, что увеличит распространение зон с более высокой гидропроводностью. Это уже наблюдается, например, в таких высокогорных тоннелях в Швейцарских Альпах, как Юнгфрауёх и Вайсфлюёх, где, по наблюдениям персонала, вода все больше просачивается сквозь массивы скальных грунтов. Появление воды в многолетней мерзлоте в некоторых случаях подтвердили и буровые работы в Швейцарских Альпах.

В будущем, как предполагают авторы статьи [17], нестабильные участки трещиноватых скальных склонов, которые ранее были эффективно закреплены многолетнемерзлым льдом, с очень большой долей вероятности отреагируют на инфильтрацию в них воды своим разупрочнением и повышением активности камнепадов во всех объемах (рис. 21).

Роль многолетней мерзлоты в увеличении нестабильности скальных склонов и в их обрушениях является относительно молодой областью исследований и, случается, вызывает споры. Некоторые неопределенности возникают из-за того, что основная часть знаний по этому поводу была получена в результате лабораторных экспериментов. Более того, например, выводы, касающиеся влияния сегрегационного льдовыведения в трещинах скальных пород или основных движущих факторов трещинообразования в зонах глубоких гравитационных деформаций склонов, в основном основаны на теоретическом анализе. При этом полевой мониторинг на скальных склонах проводился редко из-за больших логистических и технических проблем. Поэтому, как считают Кеннер с коллегами [17], в будущем на основе новых наблюдений и исследований возможны сдвиги в текущем понимании и нынешних оценках значимости отдельных параметров или процессов в рассматриваемом отношении.

ОЛЕДЕНЕНИЕ

Оледенение оказывает многогранное воздействие на устойчивость и выветривание горных склонов.

Умеренными (изотермическими, теплыми) называют ледники, во всей толще которых ниже деятельного слоя



Рис. 21. В будущем многие участки трещиноватых скальных склонов, которые ранее были закреплены многолетнемерзлым льдом, с очень большой долей вероятности отреагируют на потепление климата своим разрушением и повышением активности камнепадов в самых разных объемах [27, 28, 44, 45]

постоянно держится температура, близкая к точке таяния льда под давлением, а холодными называют ледники, во всей толще которых глубже деятельного слоя температура всегда ниже точки плавления льда под давлением [2].

Как указывают авторы статьи [17], умеренные ледники вызывают эрозию горных склонов из-за деятельности подледниковых водных потоков и одновременно изолируют эти склоны от более ощутимого тепла. Напротив, холодные ледники предотвращают подледниковую водную эрозию и даже препятствуют инфильтрации воды к подстилающим их грунтам.

Кроме того, наступление и отступление ледника вызывают знакопеременное перераспределение напряжений в скальных грунтовых массивах, слагающих примыкающие к нему склоны.

Некоторые из факторов влияния ледников на горные склоны авторы работы [17] рассматривают далее более подробно.

Чрезмерное увеличение крутизны склонов ►

Ссылаясь на других исследователей, Кеннер с коллегами [17] пишут о том, что при эрозии подножий склонов в результате деятельности ледни-

ков происходит чрезмерное увеличение их крутизны (*overstepping*). При этом та часть склона, которая находится ниже поверхности ледника, становится круче, а склон надо льдом разупрочняется. Такое изменение геометрии вызывает концентрацию напряжений в зоне подножия склона и может приводить к каскадам камнепадов в течение долгого времени до тех пор, пока не будет восстановлен стабильный угол наклона поверхности.

Различают два основных участка чрезмерного увеличения крутизны склонов: задняя (вершинная) стенка, ограничивающая верхнюю часть ледника, и прилегающие к нему боковые склоны (особенно для долинных ледников) (рис. 22).

Если над ледником выступает пояс из почти вертикальной части задней стенки (называемый шрундлайном), то верх этого пояса указывает на прежний уровень ледника (рис. 23). А повышение крутизны боковых склонов ложа ледника в результате их боковой абразии наиболее хорошо видно по форме U-образных ледниковых долин (см. рис. 22).

Ледниковая эрозия

Движущийся ледник производит огромную разрушающую работу, на-

зываемую *экскавацией* (*ледниковой эрозией*), которая связана с двумя основными процессами [4, 17].

1. *Абразия* состоит в стачивании подледного ложа обломками, захваченными ледником, который действует при своем движении наподобие шлифовального станка. В зависимости от величины фрагментов, включенных в подошву ледника, на подстилающем скальном грунте возникают отполированные поверхности и ледниковая штриховка – штрихи, царапины и борозды;

2. *Плакинг* (*выпахивание*) происходит, когда лед, в отдельные моменты примерзая к ложу, в процессе движения отрывает и увлекает за собой отщепленные фрагменты пород. Плакингу прежде всего способствуют большие силы сдвига, вызванные движущимся под действием силы тяжести ледником. Кроме того, давление подледниковой воды, изменяющееся в пространстве и во времени, может приводить к усталости пород. И когда между ледниковым льдом и его скальным ложем образуются полости, эти переменные в пространстве и времени давления могут вызывать эффекты «тепловых насосов», инициируя примерзание подошвы ледника к участкам трещиноватых скальных грунтов



Рис. 22. Ледники на горе Сент-Элиас на границе Аляски и канадской территории Юкон. Для ледника в середине фотографии хорошо просматривается задняя стенка его цирка и боковые склоны ледниковой долины (1–3 – цирки, содержащие области питания долинных ледников; 4, 5 – каровые ледники) [23]

с последующим «выдергиванием» и уносом их фрагментов.

Если, например, ледник «переполняет» скальный выступ (ступень рельефа), то абразия будет наиболее эффективна для проксимальной (обращенной навстречу движению льда) наклонной поверхности грунта, которая со временем примет плавные очертания. А плакинг будет более эффективно происходить на дистальной (нисходящей по ходу движения льда) наклонной поверхности, которая со временем станет более крутой и приобретет угловатые очертания из-за выламывания крупных фрагментов пород, особенно там, где ранее существовали трещины. В результате образуются формы рельефа, называемые «бараньими лбами», которые видны после исчезновения ледников [4, 17]. После дегляциации не только по форме «бараньих лбов»,

но и по ледниковой штриховке можно определить направление движения ледника в прошлом: гладкая поверхность – по направлению, занозистая – против [23] (рис. 24).

Кроме того, относительные вклады абразии и плакинга в ледниковую эрозию сильно зависят от толщины и скорости движения ледника, литологии и структуры подстилающих его скальных грунтов. Для слабых («мягких») и нетрещиноватых пород обычно преобладает абразия, в то время как твердые и трещиноватые породы сильнее подвержены плакингу. Тонкие и крутонаклонные ледники из-за меньших нормальных нагрузок и высоких скоростей способствуют образованию полостей за дистальными частями ступеней рельефа и поэтому способствуют плакингу.

Эти факторы влияют не только на типы ледниковой эрозии, но и на ее темпы, которые обычно находятся в диапазоне 0,1–1 мм/год.

Чрезмерное увеличение крутизны задних стенок начальных частей ледников

Кеннер с соавторами [17] указывают, что начальная часть ледника обычно отделена от ее задней (вершинной) скальной стенки глубокой трещиной протаивания, называемой ранклюдом (рис. 25). Эта трещина возникает прежде всего из-за присутствия более теплой скальной поверхности над ледником, подверженной воздействию солнечных лучей (поскольку более темные скалы нагреваются от солнца сильнее, чем светлая фирновая поверхность). Такой процесс может происходить и по бокам ледника. Не стоит путать ранклюд с бергшрудом – поперечной трещиной в начале тела ледника глубиной иногда до 100 м и более, формирующейся при отрыве его движущейся тяжелой нижней части от менее подвижной верхней снежно-фирновой зоны (такая трещина также может образоваться вблизи боковых границ ледника) (см. рис. 25) [17, 24, 30, 33].

В ранклюдте происходит чрезмерное увеличение крутизны склона (рис. 26, 27, а). То есть скальный склон в пределах этой трещины становится явно круче той части склона, которая располагается выше. И этот почти вертикальный участок становится видным в виде пояса (шрудлайна) после снижения уровня или исчезновения ледника (см. рис. 23, а). Более того, над ледником может быть несколько шрудлайнов (ярусов цирка) в связи с разными уровнями его поверхности

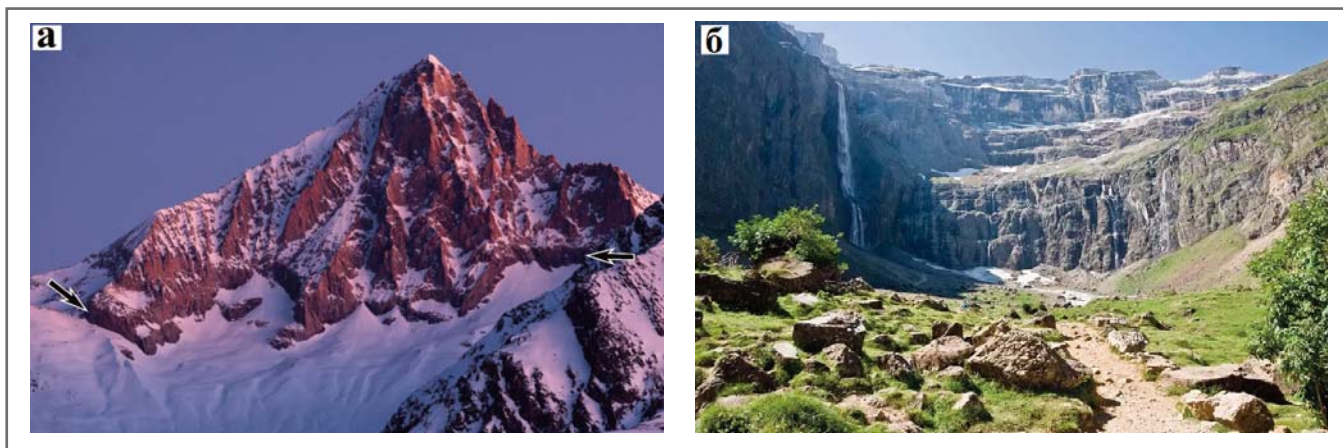


Рис. 23. Пояса из почти вертикальных стенок (шрудлайны) над одним из ледников в Западных Швейцарских Альпах, образовавшиеся при прежнем более высоком уровне ледника (показаны стрелками) (а); многоярусный ледниковый цирк после дегляциации, шрудлайны которого указывают на различные уровни ледника в прошлом (б) [17, 20]

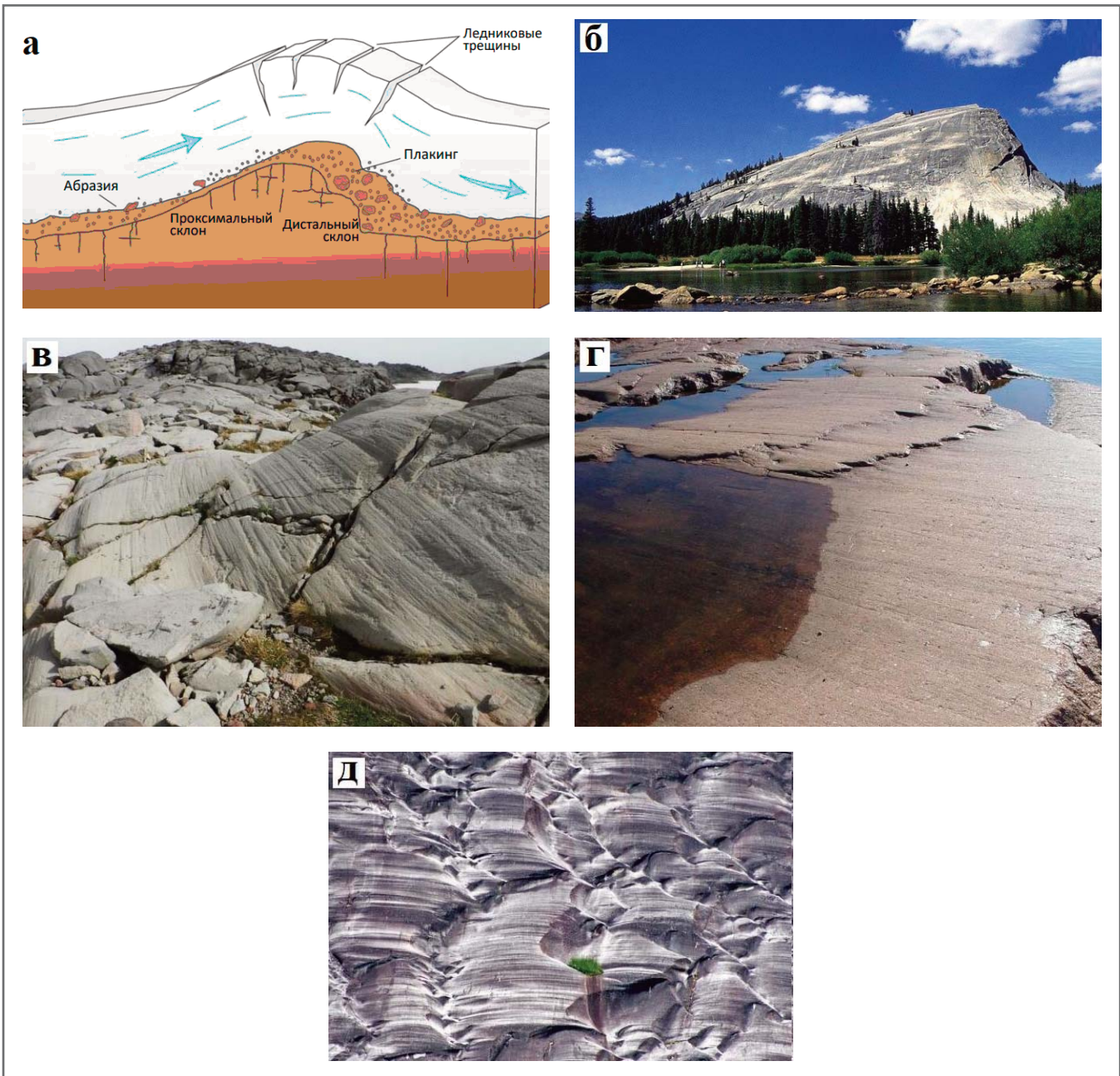


Рис. 24. Схема образования «бараньего лба» при движении ледника (а); «бараний лоб» после исчезновения ледника (Аляска); ледниковая штриховка после дегляциации (в, г); «микро бараньи лбы» с ледниковой штриховкой после дегляциации (д) [23]

в прошлом (см. рис. 23, б) [17]. (От редакции добавим, что если бергшрунд доходит до коренной породы и особенно если он продолжается вдоль подножия склона или ложа ледника, то это тоже может серьезно сказываться на ледниковой эрозии и также увеличивать крутизну подледниковой части склона (см. рис. 25, 27, б)).

Условия и процессы внутри ранклюдта до сих пор изучены мало. Только при нескольких исследованиях, на которые ссылаются авторы статьи [17], проводились прямые измерения температуры и/или скоростей деформирования и эрозии скального грунта в таких расщелинах. Обычно полагают, что чрезмерное увеличение

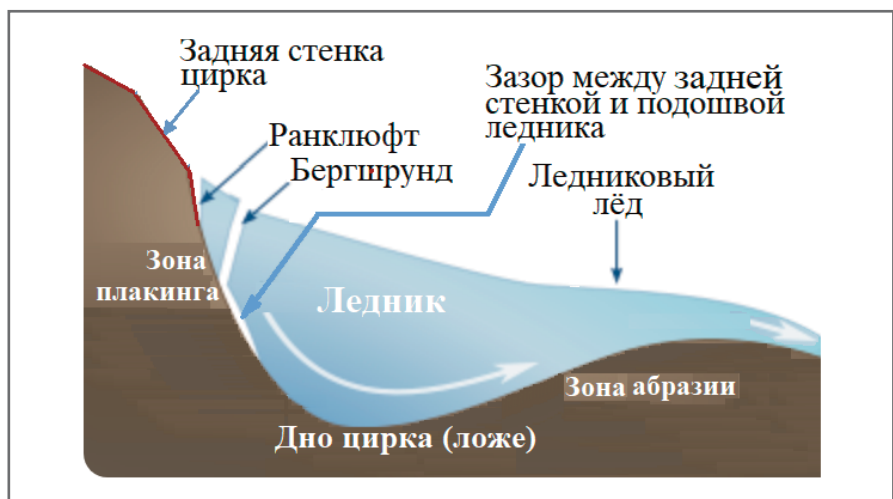


Рис. 25. Верхняя часть циркового (карового) ледника в продольном вертикальном разрезе с изображением ранклюдта и бергшрунда (по [8])

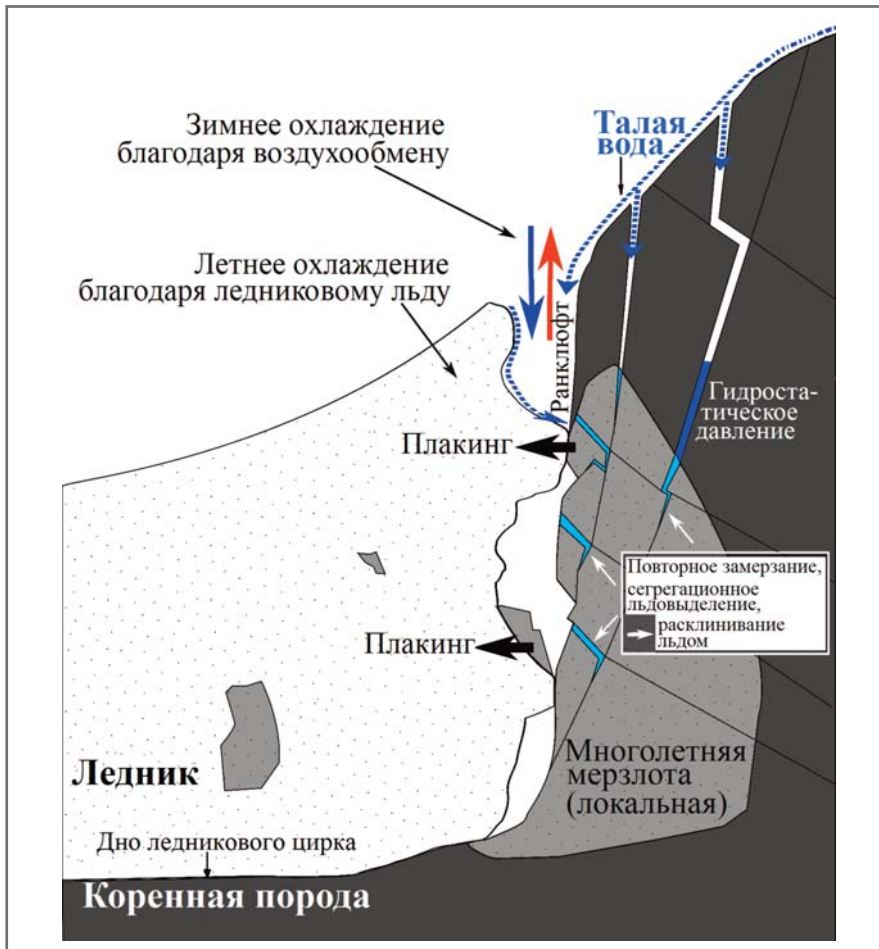


Рис. 26. Процессы, вызывающие быструю эрозию скальной стенки в ранклюдте [17]

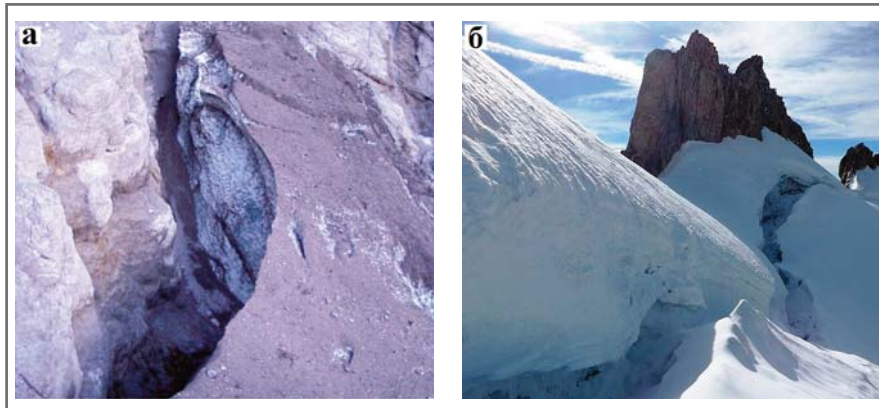


Рис. 27. Примеры многометровых ранклюдта (а) и бергшрунда (б) [5, 8]

крутизны склона там вызвано более высокими скоростями эрозии в пределах ранклюдта по сравнению со скальными склонами, не затронутыми оледенением (см. рис. 26).

Эрозия скальной стенки в зоне ранклюдта считается основной движущей силой эволюции горных цирков (каров). Есть предположение, что растущий ледник расширяет цирк прежде всего за счет плакинга при «вращательном движении» ледовой массы (возникающем из-за движения льда из цирка вниз по долине), действуя наподобие

циркулярной пилы [17, 41] (см. рис. 25, 26). Однако из-за ограниченного количества прямых наблюдений эта гипотеза пока не получила прямой количественной оценки. Некоторые исследователи, на которых ссылаются Кеннер и др. [17], думают, что для развития ледникового цирка более эффективна базальная эрозия его ложа. Но это подразумевало бы прямо противоположное объяснение чрезмерного увеличения крутизны в зоне ранклюдта, поскольку при этом более высокий ярус цирка рассматривался бы как ре-

ликт прежнего более крутого рельефа, образовавшегося в результате эрозии основания ледника и сохранившегося за счет низкой скорости эрозии в ранклюдте. Тогда более высокие скорости надледниковой эрозии вызвали бы уплощение стенки над уровнем ледника. Однако анализ размеров многих ледниковых цирков показывает, что отступление стенки цирка обычно происходит быстрее, чем нисходящая эрозия, что подтверждает первую гипотезу. Ее подкрепляют и наблюдения за многочисленными скальными фрагментами, оторванными ледником от его задней стенки и застрявшими в нем.

Как отмечают авторы статьи [17], ссылаясь на других исследователей, доступные данные указывают на то, что в пределах ранклюдтов имеются условия многолетней мерзлоты, но, вероятно, с очень тонкими или отсутствующими деятельными слоями. Наблюдения свидетельствуют о наличии там больших количеств воды в течение всего теплого периода года (весной и летом), а в холодное время происходит ее повторное замерзание. Эти условия способствуют криогенному (морозобойному) растрескиванию и сегрегационному льдовыделению, которые, вероятно, затрагивают лишь довольно тонкий поверхностный слой скального склона, но действуют очень интенсивно (рис. 28). После такой дестабилизации ледник может оторвать фрагменты породы от задней стенки в результате плакинга и унести их с собой.

Ссылаясь на других авторов, Кеннер с коллегами [17] рассказывает, что измерение температуры поверхностей скальных грунтов на несколько метров ниже верха ранклюдтов подтвердило условия многолетней мерзлоты в задних стенках, даже если над верхним уровнем ледника многолетняя мерзлота в них отсутствует (особенно если они подвергаются воздействию солнечных лучей). Это может быть результатом эффективного охлаждения внутри ранклюдтов за счет:

- а) воздухообмена, вызванного естественной конвекцией зимой;
- б) наличия в ранклюдте холодного воздуха летом (см. рис. 26).

Отсутствие многолетней мерзлоты в надледниковой части задней стенки может увеличить поступление воды в подледниковые части этого скального склона по подземным дренажным путям (вдобавок к поверхностному стоку).

Все это создает оптимальные условия для долговременных эрозионных

процессов, что и может быть объяснением наличия упомянутых выше шрундлайнов, иногда многоярусных, отчетливо видных над поверхностью льда на подвергающихся воздействию солнечных лучей стенках ледниковых цирков (см. рис. 23).

Однако, как отмечают авторы статьи [17], эффективность морозного выветривания скальных склонов в ранклюдтах варьирует и зависит от нескольких факторов. К ним относится наличие жидкой воды, которая может отсутствовать в очень холодных условиях полярных регионов или на больших высотах. Очень крутые вершинные стенки, на которых может накапливаться лишь небольшое количество снега, еще больше ограничивают количество талой воды (рис. 29). Кроме того, снежные лавины, сходящие с таких весьма крутых стенок, могут быстро заполнить ранклюдфт снегом и обеспечить его эффективную теплоизоляцию с поверхности, предотвращая воздействие мороза. То же самое относится и к очень влажным регионам, где поверх ранклюдфтов могут образовываться толстые снежные перемычки. Различная эффективность эрозии задних стенок и ледникового плакинга может быть представлена вариациями в формах ледниковых цирков и в степени покрытия краевых частей ледника каменистыми осыпями.

Независимо от соотношения между эрозией задней стенки и базальной эрозией ложа ледника в цирке, продуктом оледенения являются упомянутые выше чрезмерно крутых стенок вокруг ледниковых цирков – шрундлайны. После снижения уровня или исчезновения ледника эти пояса демонстрируют большую скорость эрозии и высокую активность камнепадов (во много раз выше, чем для других участков тех же скальных склонов).

Связь между ледниковыми циклами и нарушениями скальных склонов ▶

Ссылаясь на ряд публикаций, Кеннер с соавторами [17] пишут, что циклы наступания и отступания ледника создают меняющиеся механические нагрузки на подледниковые грунты. В зависимости от этих нагрузок, структуры и прочности грунтов, топографии и других условий, изменения в напряжениях, вызванные ледниковыми циклами, могут привести к повреждению массива. Многочислен-



Рис. 28. Обнажившаяся после камнепада задняя стенка трещины, расклиненная в свое время льдом. Эта бывшая зона ранклюдта в Швейцарских Альпах стала хорошо видна после исчезновения ледника в результате потепления климата [17]



Рис. 29. Очень крутые стенки ледникового цирка на горе Логан – самой высокой вершине Канады (5956 м), на которой всегда мороз [23, 32]

ные исследования конкретных случаев активных обрушений пород вблизи отступающих ледников (рис. 30) указывают на связь между дегляциацией и устойчивостью склонов. Однако детальная механика подготовки этих процессов остается плохо изученной. Кроме того, исследования многих крупных доисторических событий показали, что после локальной дегляциации начало активных обрушений запаздывало на несколько тысяч лет, что делает не такой уж очевидной роль прекращения подпирания склонов ледником (исчезновения укрепляющей их ледниковой «распорки»).

Исследования действия ледников в качестве «распорок» или «подпорок» для грунта, на которые ссылаются авторы статьи [17], показывают, что такая поддержка склонов является довольно ограниченной из-за вязкопластического поведения льда (рис. 31). То есть ледники нагружают прилегающие склоны только своим весом, но не обеспечивают жесткого подпирания. Более того, несколько недавних исследований исключили роль снятия этой подпорной функции в качестве прямого триггера для возникновения нестабильностей и разных видов оползневых явлений, преобладающие причи-

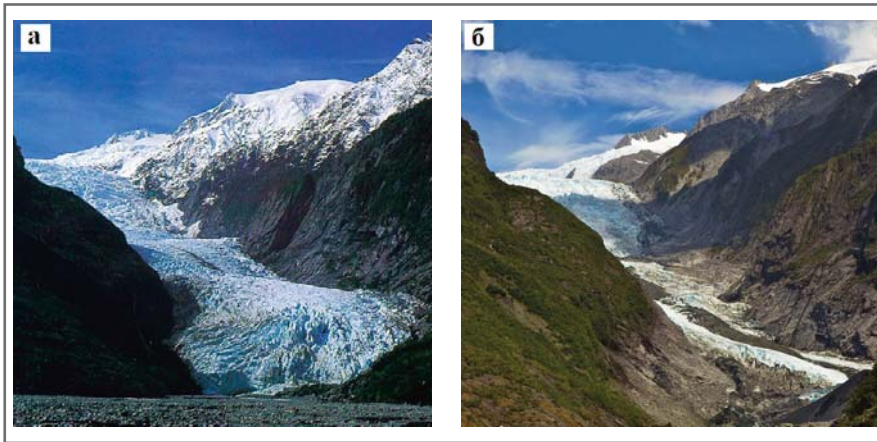


Рис. 30. Циклически отступающий и наступающий ледник Франца-Иосифа в Новой Зеландии в 2001 году (а) и в настоящее время (б) [9]



Рис. 31. Движущийся ледник нагружает прилегающие склоны своим весом, но не обеспечивает жесткого подпирания из-за своего вязкопластического поведения (Аляска) [25]

ны которых – это скорее перераспределение напряжений в массивах пород из-за снятия ледниковой нагрузки и гляциоизостатического поднятия поверхности грунта, а также эрозия подножий склонов в то время, когда они еще были под ледником.

Однако, как опять подчеркивают Кеннер и др. [17], в большинстве случаев механическая связь между ледниковыми циклами и нарушениями скальных склонов остается неясной. Эти неопределенности, вероятно, возникают из-за сложных изменений термических, гидрогеологических и гидрологических граничных условий, сопровождающих отступление ледников и влияющих на устойчивость скальных склонов. Коренная порода, соприкасающаяся с умеренным ледником, является почти изотермической при температуре около 0 °С, а отступление

ледника подвергает ее поверхность воздействию новых температурных граничных условий с суточными и сезонными температурными циклами. Температурные деформации вызывают термомеханические напряжения. Изменения температуры также приводят к вторичным термическим эффектам, таким как расклинивание льдом в условиях многолетней мерзлоты или перигляциальных условий. Кроме того, для умеренных ледников преобладает высокое давление подледниковых вод вблизи подошвы льда, что влияет на состояние грунтовых вод на прилегающих склонах. Если происходит дегляциация, то режим грунтовых вод на этих склонах меняется, а изменение давления воды в трещинах влияет на эффективные напряжения и, следовательно, на прочность скального грунта в зонах разрывов сплошности.

Численное моделирование, выполненное одним из авторов статьи [17] ранее, показало, что чисто механическая разгрузка скальных склонов ото льда вызывает относительно ограниченные новые нарушения в грунтовых массивах средней прочности. Это подтверждает ограниченность подпирющей роли ледника в стабилизации грунта из-за вязкопластического поведения ледниковых масс в течение длительного времени. С другой стороны, ледниковая эрозия вызывает удаление скальной опоры (природного «контрфорса») с подножия склона, способствуя значительному нарушению стабильности слагающего этот склон грунта, которое может быть активировано во время первой дегляциации.

Кроме того, компьютерное моделирование показало, что снятие нагрузки от ледника приводит трещины на прилегающих склонах в более критическое состояние за счет снижения нормальных напряжений и увеличения напряжений сдвига в зонах разрывов сплошности, что, в свою очередь, может повысить эффективность дополнительных процессов развития усталости скального грунта.

Следовательно, термо- и гидромеханические эффекты при дегляциации, вероятно, играют ключевую роль в подготовке склонов к разрушениям. В сочетании с температурным напряжением ледниковые циклы способны вызывать значительные нарушения скальных склонов. Тепловое расширение массива скальных грунтов из-за нагревания после отступления ледника увеличивает напряжения, что вызывает развитие трещин по критически напряженным плоскостям. Деформации от долговременных изменений температуры после дегляциации могут распространяться даже дальше соответствующих температурных фронтов. Но первое воздействие годовых температурных циклов на коренную породу после отступления ледника приводит к неглубоко расположенному фронту нарушений рядом с границей отступающего льда.

Учет в численных моделях изменений гидрогеологических условий на ближайших склонах, вызванных высоким давлением подледниковых вод, показал значительные нарушения в массивах скальных грунтов при ледниковых изменениях. При сокращении размеров ледника происходит переход от устойчивого поля высокого давления под ледовым покровом к годовым циклам грунтовых вод на склонах, связан-

ным с сезонной инфильтрацией талой и дождевой воды. И эти изменения являются основным фактором, вызывающим нарушения в массивах скальных пород. К примеру, гидромеханическая усталость является важной причиной возникновения разных видов оползней, особенно в сочетании с долгосрочными колебаниями уровней грунтовых вод (которые могут быть связаны, например, с изменениями толщины ледника).

Недавно начался и продолжается до сих пор полевой мониторинг вблизи крупного отступающего ледника Алец в Швейцарии (рис. 32), где изучаются термогидромеханические процессы в скважине. Ссылаясь на работу с анализом этих исследований, авторы статьи [17] отмечают следующее. Уже доступный временной ряд результатов измерений в указанной скважине подтверждает, что температурные и гидравлические граничные условия, связанные с присутствием ледника, коррелируют с обратимыми и необратимыми смещениями в масштабах отдельных трещин при вариациях порового давления или при экстремальных изменениях температуры.

На основе данных из различных публикаций Кеннер с соавторами [17] пишут о том, что переход устойчивого скального склона в нестабильное состояние происходит в результате непрерывного процесса накопления и развития нарушений массива скальных грунтов – обычно в течение нескольких ледниковых циклов. Хотя вышеупомянутая роль ледников в подпирании прилегающих склонов и является ограниченной, все же, как показал анализ методом предельного равновесия, вязкопластическое деформирование льда вносит важный вклад в скорости смещений в неустойчивом склоне. Поэтому в ответ на дрящущий процесс дегляциации могут так же долго развиваться глубокие гравитационные деформации склонов.

При отступании ледников часто обнажаются как скальные склоны с чрезмерно увеличенной крутизной, так и крутые поверхности ледниковых отложений. Поэтому парагляциальные процессы влияют не только на стабильность скальных склонов, но и на движение моренного материала. На территориях, с которых недавно отступили ледники, часто происходит возобновление перемещения ледниковых отложений в результате оползневых процессов (обвалов, камнепадов, оползаний и пр.) из-за наличия талой ледниковой воды, од-



Рис. 32. Алец – самый большой ледник в Альпах, который сейчас постепенно отступает (в 1973 году он имел длину около 24 км и площадь примерно 86,63 кв. км и был включен ЮНЕСКО в «Список всемирного наследия») [29]

нако ее течение замедляется как со временем, так и по мере удаления от конца ледника. Однако, как отмечают Кеннер и др. [17], исследования, посвященные механике склонов морен после недавнего отступления ледников, немногочисленны, и эта проблема осложняется сильной неоднородностью слагающего их обломочного материала. Часто считают, что исчезновение подпирającego влияния ледников является возможным триггером для возникновения крупных оползней на боковых моренах. Также высказывается мнение, что ухудшение всасывания во время дегляциации влияет на предел прочности на сдвиг неводонасыщенных ледниковых отложений, что в дополнение к разгрузке от ледника, вероятно, снижает общую устойчивость склонов морен.

Сценарии будущего

Авторы работы [17] еще раз подчеркивают следующее. Поскольку потепление климата приведет к дальнейшему отступанию ледников, снятие ледовой нагрузки может значительно повлиять на напряженное состояние скальных склонов, изменив режимы температуры и грунтовых вод, что приведет к прогрессирующим разрушениям.

Будущее потепление климата и отступление ледников подвергнут обнажившиеся ото льда скальные породы воздействию совершенно иных тепловых условий, что может привести к увеличению интенсивностей камнепадов в соответствующих регионах. Скальные стенки в более высокогорных районах, которые остались по-

крытыми льдом со времени последнего оледенения и пока еще не испытали сезонных температурных циклов, во время первой дегляциации могут особенно сильно подвергнуться неглубоким нарушениям из-за «параллельного теплового удара».

Хотя подпирющее действие ледника и невелико, его лед влияет на скорости оползневых процессов на прилегающих склонах. Поэтому дегляциация может усилить оползневую активность ранее подледниковых участков склонов, которые уже были нестабильны. Но все же ключевыми факторами в подготовке будущих разрушений парагляциальных скальных склонов являются унаследованные нарушения массивов пород и общая предрасположенность к таким нарушениям (рис. 33). Будущее отступление ледника может также далее обнажить моренные отложения и боковые моренные гребни с критической степенью неустойчивости, что может вызвать крупные моренные оползни.

Ледяные фартуки ►

Так называемые ледяные фартуки (ice argons), как поясняют Кеннер с соавторами [17], относятся к особому типу оледенения. Это довольно тонкие и гладкие слои льда, покрывающие скальные склоны со средними углами наклона приблизительно от 45 до 60 град. Этот лед является примершим к скальной поверхности и демонстрирует лишь незначительные внутренние деформации.

Ледяные фартуки являются типичными индикаторами многолетней мерз-

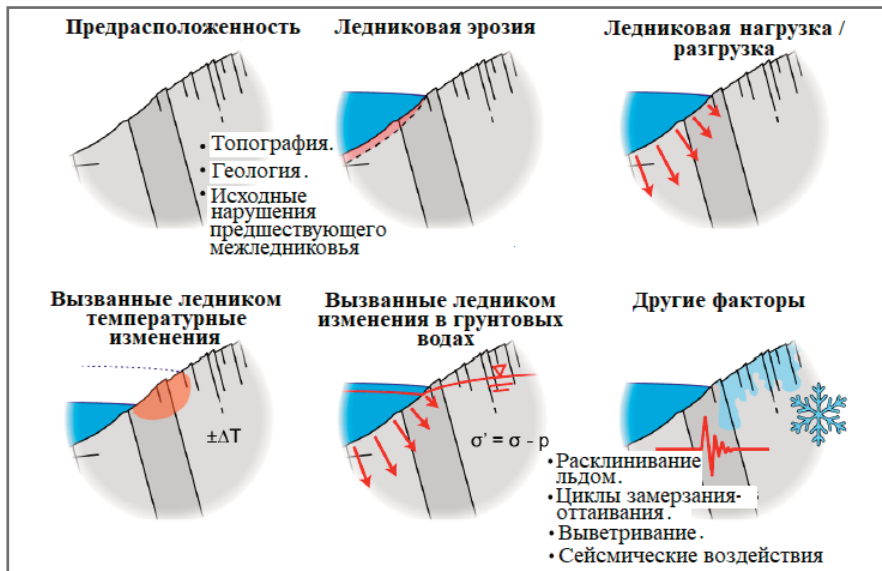


Рис. 33. Факторы подготовки неустойчивости парагляциального скального склона (по [14, 17])

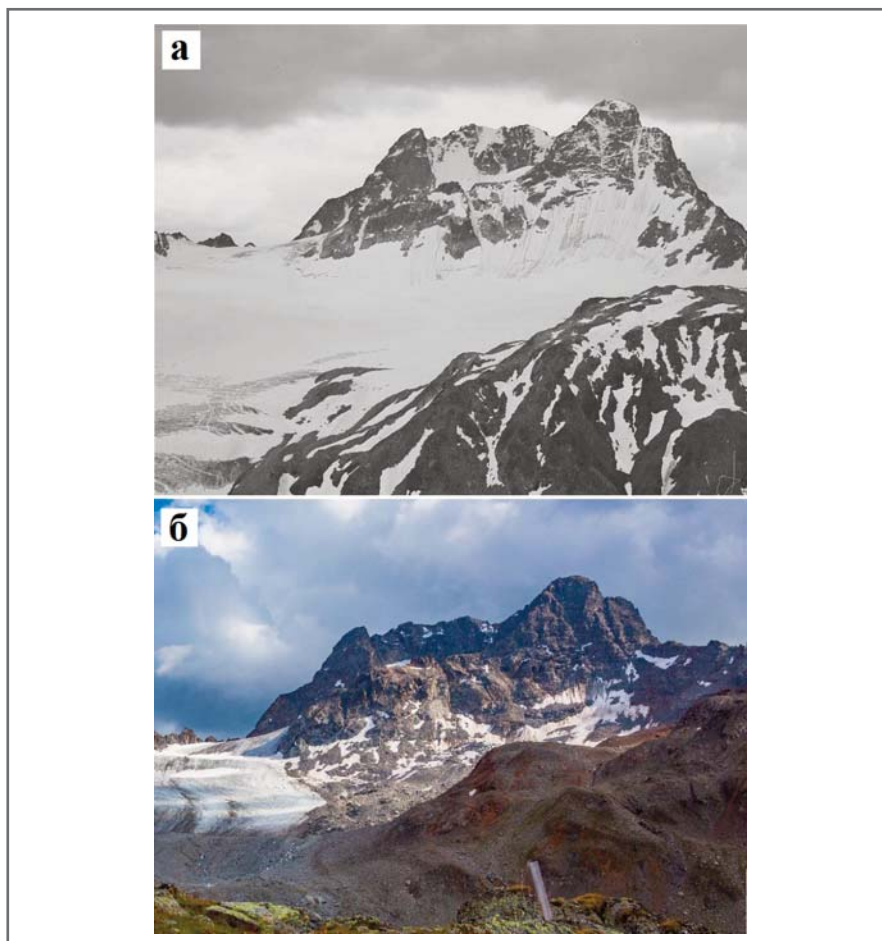


Рис. 34. Северный фланг вершины Пиц-Кеш в Швейцарских Альпах в середине августа 1936 года (а) и 2020 года (б). В 1936 году крутые скальные склоны были полностью покрыты ледяными фартуками, от которых в 2020 году почти ничего не осталось. При этом явно возросла интенсивность камнепадов разных объемов (вплоть до 150 000 куб. м). Ранее чистый ледник Порчабелла (видный как сплошной белый покров на рисунке «а») теперь почти полностью покрыт обломочным материалом (что хорошо видно на рисунке «б») [17]

лоты. Но их влияние на скальные склоны изучалось лишь при нескольких исследованиях, на которые ссылаются

Кеннер и др. [17]. При измерении температуры в неглубоких скважинах, пробуренных в постоянно покрытых

тонким слоем льда породах, не было обнаружено ни влияния ледяного фартука на среднегодовые температуры скальных грунтов, ни воздействия выделения скрытого тепла из-за их повторного промерзания. Однако налицо было явное сглаживание среднегодовой амплитуды температур, а также чисто кондуктивный теплообмен (в результате теплопроводности материала). Это подчеркнуло роль ледяного фартука в качестве эффективного изолятора от инфильтрации воды и от боковых адвективных (с воздухом) потоков тепла в массив скальных пород.

Изучение датировок разными авторами, на которых ссылаются Кеннер с коллегами [17], показало, что некоторым из изученных ледяных фартуков может быть по несколько тысяч лет. Тем не менее сейчас происходит их быстрая деградация, и многие из них уже исчезли. Как только не защищенная слоем льда скальная поверхность начинает подвергаться непосредственному воздействию атмосферы, в грунтовом массиве быстро появляется деятельный слой, иногда впервые за несколько тысячелетий. Потенциальные неустойчивости, развившиеся в течение этого длительного периода нахождения подо льдом, после исчезновения ледяного фартука очень быстро показывают себя из-за начала инфильтрации воды и действия циклов промерзания-протаивания. В результате активность камнепадов на участках скальных склонов, недавно обнажившихся от ледяных корок, многократно превышает среднюю активность камнепадов (рис. 34).

На больших высотах некоторых горных регионов ледяные фартуки, вероятно, существовали в течение всего голоцена. Следовательно, их возраст может быть значительно больше, чем было известно ранее. Степень дезинтеграции скальных пород под такими старыми ледяными покровами трудно оценить. Поэтому при продолжающейся деградации ледяных фартуков в результате потепления климата возможна дальнейшая интенсификация камнепадов на все увеличивающихся высотных отметках.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение хотелось бы еще раз подчеркнуть, что рассмотренные в статье [17] процессы разрушения скальных склонов и перемещения обломочного материала в высокогорных районах, подверженных воздействию многолетней мерзлоты и ледни-

ков, а также деградация мерзлоты и оледенения в результате наблюдающихся изменений климата в ряде случаев могут приводить к возникновению каменно-ледяных лавин, обвалов, камнепадов, потоков обломочного мате-

риала, селей и пр. И это требует большого внимания со стороны компаний, занимающихся инженерными изысканиями, проектированием инфраструктурных объектов и их инженерной защиты в горных регионах. **И**

Список литературы, использованной авторами публикации [17], который состоит из 157 пунктов, можно посмотреть в конце их статьи по адресу: [researchgate.net/publication/353592255](https://www.researchgate.net/publication/353592255).

Источники ►

1. Горбунов А.П. Горбунова И.А. География каменных глетчеров мира. М., 2010. URL: geokniga.org/bookfiles/geokniga-geografiya-kamennyh-gletcherov-mira.pdf.
2. abratsev.ru/hydrosphere/lednik2.html#:~:text=
3. Arenson L, Hoelzle M, Springman S. Borehole deformation measurements and internal structure of some rock glaciers in Switzerland // *Permafrost and Periglacial Processes*. 2002. Vol. 13. № 2. P. 117–135. DOI:10.1002/ppp.414.
4. bstudy.net/953952/estestvoznание/lednikovaya_eroziya_vidy.
5. deru.abcdef.wiki/wiki/Randkluft.
6. dic.academic.ru/dic.nsf/enc_geolog/9986/ЗАВЕСА.
7. docs.cntd.ru/document/1200000030.
8. en.wikipedia.org/wiki/Bergschrund.
9. en.wikipedia.org/wiki/Franz_Josef_Glacier.
10. en.wikipedia.org/wiki/Ice_segregation.
11. en.wikipedia.org/wiki/Zero-curtain_effect.
12. geokniga.org/bookfiles/geokniga-geokriologiya-harakteristiki-i-ispolzovanie-vechnoy-merzloty-t1.pdf.
13. geosystems.ru/use/gornaya-promyshlennost/articles/skanirovanie-kamennogo-gletcher-a-v-shveytsarii/.
14. Gramiger L.M., Moore J.R., Gischig V.S., Loew S., Funk M., Limpach P. Hydromechanical rock slope damage during late Pleistocene and Holocene glacial cycles in an Alpine valley // *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*. 2020. Vol. 125. № 8. P. e2019JF005494. DOI: <https://doi.org/10.1029/2019JF005494>.
15. ice-snow.igras.ru/jour/article/viewFile/339/191.
16. iwp.ru/upload/iblock/0ce/0ceb3c09474b805c2ae7597c5a3be865.pdf.
17. Kenner R., Arenson L.U., Gramiger L. Mass movement processes related to permafrost and glaciation // *ResearchGate*. January 2021. DOI: 10.1016/B978-0-12-818234-5.00112-7. URL: [researchgate.net/publication/353592255](https://www.researchgate.net/publication/353592255).
18. Kenner R., Arenson L.U., Gramiger L. Mass movement processes related to permafrost and glaciation // *Treatise on Geomorphology* (2d edition, ed. by J.F. Shroder). Elsevier, 2022. Vol. 5. P. 283–303. DOI: 10.1016/B978-0-12-818234-5.00112-7. URL: [sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128182345001127?via%3Dihub](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128182345001127?via%3Dihub).
19. Kenner R., Phillips M., Beutel J., Hiller M., Limpach P., Pointner E., Volken M. Factors controlling velocity variations at short-term, seasonal and multiyear time scales, Ritigraben Rock Glacier, Western Swiss Alps // *Permafrost and Periglacial Processes*. 2017. Vol. 28. № 4. P. 675–68.
20. meteorologiaenred.com/ru/circo-glaciario.html.
21. ochepyatki.ru/view_video.php?viewkey=959d83d.
22. og-mgri.ru/data/documents/04_Ekzogenny-relev-kontinentov-Sklony.pdf.
23. og-mgri.ru/data/documents/07_Ekzogenny-relef-kontinetov-Glyacialnyy-relef.pdf.
24. peakfinder.ru/term/view/5_rantklyuft.
25. pixabay.com/ru/photos/аляска-горы-пейзаж-природа-снег-4965534/.
26. pixabay.com/ru/photos/пейзаж-горы-ледник-альпы-вале-3612893/.
27. planetmountain.com/en/photos/huge-rockfall-on-tour-ronde-mont-blanc/32024?s=2.
28. risk.ru/blog/15812.
29. ru.wikipedia.org/wiki/Алечский_ледник.
30. ru.wikipedia.org/wiki/Бергшунд.
31. ru.wikipedia.org/wiki/Кумтор.
32. [ru.wikipedia.org/wiki/Логан_\(гора\)](http://ru.wikipedia.org/wiki/Логан_(гора)).
33. ru.wikipedia.org/wiki/Ранкклюфт.
34. ru.wikipedia.org/wiki/Скрытая_теплота.
35. [sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/solifluction](https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/solifluction).
36. sites.google.com/site/rockglacier/.
37. studref.com/307441/geografiya/geologicheskie_protsessy_oblasti_vechnoy_merzloty.
38. studref.com/348141/stroitelstvo/klassifikatsiya_tipam_pitaniya.
39. uibk.ac.at/projects/rockglacier/intro_surface_re_rg.html.
40. Voigtlander A., Leith K., Krautblatter M. Subcritical crack growth and progressive failure in Carrara marble under wet and dry conditions // *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 2018. Vol. 123. № 5. P. 3780–3798. DOI: 10.1029/2017JB014956/.
41. wiki.web.ru/wiki/Ледниковый_цирк.
42. wikidea.ru/wiki/Frost_heaving.
43. xn--80aegcaa6cbngm5a6c1ci.xn--p1ai/prodvizhenie-rezultatov-researchgate/.
44. [youtube.com/watch?v=desktop&v=XqteyuSZIRM](https://www.youtube.com/watch?v=desktop&v=XqteyuSZIRM).
45. [youtube.com/watch?v=9d3xzxplDm4](https://www.youtube.com/watch?v=9d3xzxplDm4).



ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ БУДУЩЕГО: КАК БЕСПИЛОТНИКИ РАЗВИВАЮТ ГЕОДЕЗИЮ В РОССИИ

РОМАН ОЛЕЙНИЧЕНКО
Инженер-геодезист Skymec

Промышленное использование дронов в геодезии на сегодняшний день является повсеместной практикой. Особенно это важно в нашей стране, где вопрос транспортной доступности многих территорий стоит очень остро.

Уровень технического развития компонентов БВС и программного обеспечения для работы с ними сейчас делает дроны эффективным решением на рынке по критерию материальных и временных затрат и получаемого результата.

На сегодняшний день беспилотные воздушные системы (БВС) используются в сельском хозяйстве, картографии, строительстве, геодезии и многих других сферах. И это неудивительно, ведь технологические преимущества дронов позволяют оперативно выполнять мониторинг и съемку больших пространств или труднодоступных объектов без дополнительных финансовых затрат.

В строительной отрасли съемка с дрона является важнейшим этапом подготовительных работ на участке земли, предназначенном для размещения будущих объектов: зданий, железных и автомобильных дорог, тоннелей, гидротехнических сооружений. Специалистами производятся замеры, создаются трехмерные модели рельефа, а также могут наноситься на карту высококачественные снимки территории.

Дроны и фотограмметрия ►

Одним из способов определения координат в геодезии является фотограмметрический метод. В его основе лежит работа с фотографиями объекта, сделанными с разных ракурсов, что позволяет создавать трехмерные модели ландшафта. Большим прорывом в фотограмметрическом методе стала возможность делать снимки с воздуха, однако до недавнего времени единственным способом получения такого материала была малая авиация, что сопряжено с большими расходами и организационными трудностями.

Дроны позволяют работать на сложном рельефе и получать необходимую информацию в меньшие сроки, не подвергая при этом опасности людей. Современные камеры делают кадры высокой четкости при использовании 32-кратного зума, а встроенный модуль RTK обеспечивает привязку кадров к местности в реальном времени с сантиметровой точностью.

Благодаря устойчивому сигналу система передачи данных может направлять видеосигнал на расстояние до 15 километров, а система управления позволяет оператору задавать дрону схему полета заранее, не отвлекаясь на управление в ходе миссии. Всё это позволяет вывести фотограмметрию в геодезии на новый уровень работы. Этому способствует развитие программного обеспечения и получаемые с БВС данные.

Существуют объекты, на которые доступ может быть ограничен по со-



Рис. 1. Дрон в полете

ображениям безопасности. Дистанционное использование дронов, а также фотограмметрический метод обработки данных позволяет работать без прямого взаимодействия с объектом. На таких миссиях активно используется метод мониторинга с прямым геопозиционированием, который позволяет определять точное положение объектов на основании известных координат центров фотографирования.

О точности данных ►

Точность определения координат модели состоит из трех частей.

Формула среднеквадратической погрешности для определения координат методом прямого геопозиционирования в аэрофотосъемке имеет следующий вид:

$$m^2 = m_{\text{внеш}}^2 + m_{\text{внутр}}^2 + m_{\text{расп}}^2, \quad (1)$$

где $m_{\text{внеш}}^2$ — среднеквадратическая погрешность, образованная ошибкой внешнего ориентирования, то есть позиционирования дрона в пространстве, и измерения углов наклона фотокамеры; $m_{\text{внутр}}^2$ —

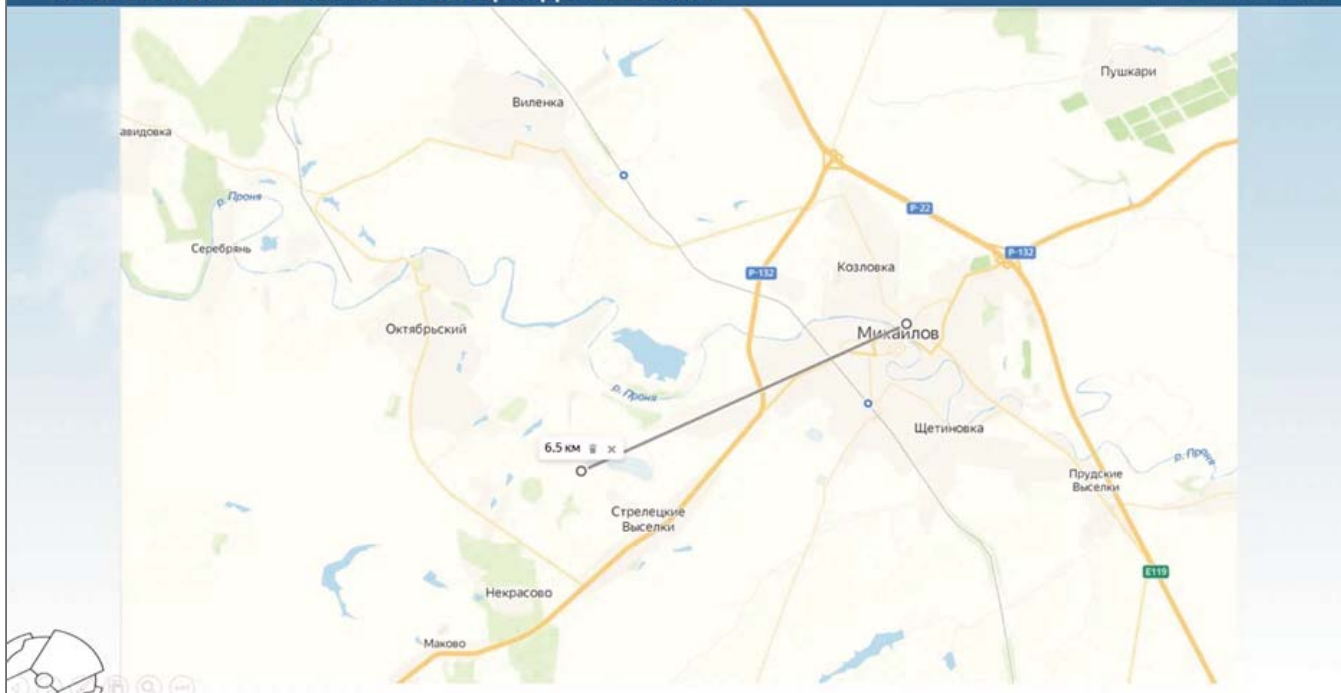
ОБЪЕКТ: КАРЬЕР В РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ
РАССТОЯНИЕ ОТ БАЗОВОЙ СТАНЦИИ ДО ОБЪЕКТА


Рис. 2. Использование БВС в карьере в Рязанской области

Таблица №1	
Дата проведения измерений	08.09.2021, 29.09.2021
Локация	54.210659, 38.934157 Рязанская область, Михайловский район
Тип местности	Равнинный
Температура	19°C, 16°C
Влажность	50%, 35%
Общая площадь участка	0.40кв.км
Объект измерений	Карьер
Площадь объекта измерения	0.40кв.км
Скорость ветра	6м/с, 5м/с
Направление ветра	юго-юго-запад юго-юго-восток
Тип дрона	Phantom 4 RTK
Принцип построения маршрута	Площадной, 2D-mapping
Скорость, на которой проходил полет	5м/с
Рабочая высота	120м
Степень перекрытия	80%-продольное 70%-поперечное
Результат и итог	Плотное облако точек, ортофотоплан, DSM

среднеквадратическая погрешность, образованная ошибкой в исходных параметрах внутреннего ориентирования камеры, а $m_{\text{расп}}^2$ — ошибки распознавания точек на фотограмметрической модели.

Соответственно, ошибки внешнего ориентирования камеры могут быть представлены в следующем формате:

$$m_{\text{внеш}}^2 = [m]_{\text{XYZ}}^2 + m_{\omega\text{фк}}^2, \quad (2)$$

где m_{XYZ}^2 — среднеквадратическая погрешность определения координат центров фотографирования, а $m_{\omega\text{фк}}^2$ — среднеквадратическая погрешность определения углов наклона фотоизображения.

Таким образом, мы получаем формулу среднеквадратической погрешности для определения координат методом прямого геопозиционирования в аэрофотосъемке следующего вида:

$$m^2 = m_{\text{XYZ}}^2 + m_{\omega\text{фк}}^2 + m_{\text{внутр}}^2 + m_{\text{расп}}^2 \quad (3)$$

При этом красным цветом в ней выделены те компоненты, которые могут быть проигнорированы, т.к. современные системы фотограмметрической обработки фотоизображений при работе с исходными данными позволяют уточнить углы наклона фотографии и параметры внутреннего ориентирования до такого предела, что их влияние на конечный результат в определении координат методом прямого геопозиционирования стремится к нулю. В таком случае остаются лишь два фактора, формирующих погрешность в измерениях: ошибка в определении координат центров фотографирования и ошибка распознавания точки в самой фотограмметрической модели.

Средняя квадратическая погрешность определения положения дроном относительно своего местоположения составляет 10-20 мм базовой погрешности + 1 мм на каждый километр удаления беспилотника от базовой станции. Средняя квадратическая ошибка в определении БВС своего положения в глобальной системе координат при расстоянии до базовой станции 5 километров не должна превышать 25 мм.

$$m_{\text{XYZ}} = m_{\text{RTK}} = 10-20(\text{мм}) + 1(\text{мм}) \times S(\text{км}) \quad (4)$$

Основное влияние на корректность определения координат методом пря-



мого геопозиционирования при использовании фотограмметрии имеет точность распознавания изначальной точки на фотоизображениях. Увеличивая число изображений, на которых распознается (или измеряется) точка, оператор может повысить точность определения координат. При выполнении рекомендованных условий ожидаемая точность определения координат соотносится с разрешением фотоснимка и составляет примерно $1 \times \text{GSD}$ — в плане и $1,5-2 \times \text{GSD}$ — по высоте (GSD — ground sample distance — это расстояние между центрами двух соседних пикселей, спроецированное на землю).

Пример из практики ►

В России есть множество примеров применения дронов для определения координат объекта методом прямого геопозиционирования, одним из которых является кейс, проведенный компанией Skymec с использованием БВС Phantom 4RTK в карьере в Рязанской области. Специалисты при помощи беспилотников создали фотограмметрическую модель ландшафта. С высоты 120 метров при удалении от базовой

станции на 6 километров получена трехмерная модель карьера с разрешением снимков 3 сантиметра на пиксель. По этой модели сразу же построены в режиме онлайн трехмерные полилинии, отправленные в дальнейшем в обработку в AutoCAD. Там трехмерная модель была сравнена с такой же моделью, сделанной тремя неделями ранее, для визуализации динамики изменения рабочего участка. Такой формат использования актуален для объектов, где динамика изменения ландшафта высока, а оперативность ее отслеживания и контроля имеет приоритет над точностью.

Заключение ►

Таким образом, промышленное использование дронов в геодезии стало повсеместной практикой, особенно в нашей стране, где вопрос транспортной доступности и обширности территории стоит остро. Уровень технического развития компонентов БВС и программного обеспечения для работы с ними сейчас делает дроны эффективным решением на рынке по критерию материальных и временных затрат и получаемого результата. **И**



Заглавное фото: maccaferri.com

АЛЕКСАНДР НАЗАРОВ: НАШ МОСТ ВЫСТОЯЛ, ВОЗМОЖНО, БЛАГОДАРЯ НАШЕМУ КОНТРОЛЮ СТРОИТЕЛЬСТВА

Итальянская транснациональная компания Maccaferri («Маккаферри») разрабатывает эффективные и экологически безопасные проектные решения и производит продукцию для строительной, геоинженерной и горнодобывающей отраслей на основе обычных габионов и габионов матрасного типа, георешеток, геотекстиля, геокомпозитных материалов, сочлененных бетонных блоков и пр. «Маккаферри» предлагает уникальные инновационные системы для армирования грунтов, укрепления берегов, стабилизации грунтов, снижения рисков стихийных бедствий. При этом желаемые результаты могут быть получены только в случае правильных расчетов на этапе проектирования и точного соблюдения предлагаемых технологий во время строительства, причем этому в огромной степени способствуют контроль и поддержка со стороны разработчика. В таком случае построенный объект прослужит не меньше заявленного срока и не потребует дополнительных затрат на ремонт.

«Маккаферри» с 1994 года имеет подразделение в России, представительства в остальных странах СНГ и собственный завод в Московской области (maccaferri.com/ru/). Специалист этой компании по техническому надзору Александр Михайлович Назаров за 20 с лишним лет работы накопил большой опыт в области сопровождения строительства по всей стране при тесном взаимодействии с заказчиками, подрядными организациями и надзорными органами. Он поделился своими наблюдениями о том, как шефмонтаж (организационно-техническое руководство поставкой материалов и монтажом конструкций) и авторский надзор за соблюдением технологий экономят средства и обеспечивают надежность сооружаемых объектов.

Ред.: Александр Михайлович, расскажите, пожалуйста, в чем заключаются услуги компании «Маккаферри» по шеф-монтажу?

А. Н.: Шефмонтаж – это комплексная услуга. Технический отдел компании «Маккаферри» тесно сотрудничает с проектными организациями. Наши специалисты помогают проводить расчеты, выбирать типы продукции для строительства, разрабатывать конструктивные решения. После утверждения проекта и подготовки рабочей документации для наших сотрудников начинается этап шефмонтажа. Поскольку многие организации сталкиваются с продуктами «Маккаферри» впервые, им необходима помощь при монтаже. Для этого специалисты нашего технического отдела выезжают на место стройки, общаются с заказчиком и подрядной организацией, проводят обучение участников строительству по технологиям «Маккаферри», а в процессе реализации проекта взаимодействуют со службами авторского надзора, технического надзора и строительного контроля со стороны проектной и строительной организаций. Наша ключевая задача – объяснить и показать, как надо проводить входной контроль поступившей продукции, какие нормативы необходимо использовать при возведении сооружений с использованием технологий «Маккаферри» и как не допустить ошибок. Кроме того, как представитель компании-производителя я стараюсь рассказать заказчику и подрядчику, как оптимизировать процесс монтажа без лишних финансовых и временных затрат или даже с их экономией.

Ред.: Расскажите, пожалуйста, подробнее о том, как выполняется авторский надзор и чем он отличается от шефмонтажа.

А. Н.: Авторский надзор осуществляется генеральным проектировщиком строительного объекта и/или крупными проектными организациями. Подписавшие договор стороны (например, заказчик и проектная организация) в рамках этого договора и в соответствии со строительными стандартами помогают быстро решать проблемы, возникающие у подрядчика. Скажем, они могут оперативно изменить проектную документацию. Что касается компании «Маккаферри», то она ведет авторский надзор за строительством сооружений по договору с генеральными проектными организациями. Длительность выполне-

ния авторского надзора зависит от того, на какой срок заказчик подписал контракт.

Ред.: Приведите, пожалуйста, какой-нибудь конкретный пример.

А. Н.: В нашей практике было участие в создании подходов к мосту через реку Туапсе к «Туапсинскому нефтеперерабатывающему заводу» по заказу ПАО «Роснефть». Проектная организация доверила техническому отделу нашей компании выполнение проекта инженерной защиты и прохождение экспертизы. Когда началось возведение моста, сотрудники проектной организации поняли, что строителям нужна помощь в устройстве армогрунтовой системы «Макволл» (из георешеток, послойно армирующих массив грунта, и сборных бетонных блоков Keystone Compac II, с помощью которых крепится наружный откос сооружения). Тогда компании «Маккаферри» как разработчику этой системы поручили проводить авторский надзор за ее монтажом. И мы успешно справились с этим. Общими усилиями весь объект был построен к 2015 году. Интересно отметить, что в октябре 2018 года в Туапсе произошло катастрофическое наводнение, вызванное сильными ливнями. Мосты, связывающие берега одноименной реки, практически смыло, а наш мост выстоял, причем вполне возможно, что именно благодаря нашему контролю строительства.

Ред.: Что чаще всего приходится объяснять строителям?

А. Н.: Здесь можно было бы привести другой пример, касающийся самой востребованной на сегодня технологии «Маккаферри» – возведения армогрунтовых насыпей. Многие организации не имеют должного представления о принципах работы таких армогрунтовых систем, как «Террамеш», «Макволл» или «МакРес». Строители часто ошибочно принимают их облицовочные элементы за несущие конструкции. И тогда приходится объяснять принцип технологии: несущими здесь являются армирующие панели и геосинтетические материалы, спрятанные внутри насыпи. Именно они воспринимают все нагрузки и сохраняют стабильность сооружения. Мы всегда стараемся объяснить заказчикам и строителям, что главное – правильно выполнить укладку материала и уплотнение грунта. Только то-

гда сооружение будет устойчивым долгие годы.

Ред.: Насколько часто сооружения из продуктов «Маккаферри» монтируются на месте без помощи ваших специалистов?

А. Н.: Такие случаи не так уж и редки. Многие компании, надо отдать им должное, имеют грамотных специалистов, которые глубоко изучают тему, правильно выполняют расчеты и проектирование и прекрасно проводят строительство, соблюдая все технологии, без нашей помощи. И в то же время очень радует, если проектировщики и подрядчики, которые не имеют необходимого опыта, обращаются к нам за помощью. Мы консультируем их, помогаем в составлении проектной документации и всячески поддерживаем в остальном.

Но, к сожалению, некоторые компании ведут строительство самостоятельно, не разобравшись в технологиях «Маккаферри», да еще стараются сэкономить на материалах и на квалифицированных рабочих. Но это может привести к серьезнейшим последствиям и огромным незапланированным затратам. Например, на объездной трассе Седанка – Патрокл (г. Владивосток) часто случаются обрушения грунта и подпорных конструкций, в том числе один раз рухнула армогрунтовая стенка высотой около 10 м. По проекту она должна была быть выполнена из модулей системы «Террамеш». Однако подрядчики вместо них закупили во владивостокском представительстве компании «Маккаферри» партию коробчатых габионов, а также дополнительные материалы китайского производства. Они строили эту подпорную стенку самостоятельно и, как оказалось, с грубыми нарушениями рекомендаций и стандартов «Маккаферри». Это привело к частичному обрушению данного объекта почти сразу после его ввода в эксплуатацию. В результате пришлось выполнять реконструкцию стенки, что привело к большим дополнительным расходам со стороны заказчика.

Все-таки я считаю, и со мной многие согласятся, что лучше строить один раз и на весь заявленный срок службы, чем потом несколько раз перестраивать.

А вот еще один пример халатного отношения к строительству армогрунтовых сооружений, с которым пришлось столкнуться компании «Маккаферри». Мы участвовали в проекте по

созданию инженерной защиты одного поселка под Анапой. Наши специалисты подготовили проектные решения и вели авторский надзор за строительством нескольких подпорных стенок высотой от 4 до 10 м из блоков системы «Макволл». При проектировании мы полагались на результаты инженерно-геологических изысканий, предоставленных заказчиком. Но, приступив к надзору за монтажом, мы поняли, что результаты этих изысканий не соответствуют действительности. Тогда наш проектный отдел потребовал от заказчика проведения дополнительных исследований. После этого пришлось менять проектные решения и рабочую документацию. В результате строительство затнулось и время действия авторского надзора, отпущенное по договору, истекло. Поэтому основная часть реализации проекта проходила уже без контроля со стороны «Маккаферри».

Ред.: В такой ситуации даете ли вы заказчику и подрядчику какие-либо рекомендации по поводу дальнейшей работы без вашего надзора?

А. Н.: Конечно. Перед тем, как выйти из проекта, мы предоставляем службе технадзора и подрядной организации всю информацию по технологии строительства. Например, в рассмотренном выше случае мы обратили внимание заказчика на необходимость устройства инженерных коммуникаций для поселка непосредственно перед возведением подпорной стенки или одновременно с ним. Но, к сожалению, эта рекомендация не была принята во внимание. В результате после интенсивного ливня одна из стенок рухнула. Как показала экспертиза, проектные решения и расчеты были выполнены верно, а обрушение случилось из-за нарушений технологии строительства. В итоге строителям пришлось все разбирать и строить заново.

Ред.: И в заключение такой вопрос. Если вы даете исчерпывающие инструкции по монтажу своих изделий, почему для большинства проектов на основе продукции «Маккаферри» необходимы шефмонтаж, авторский надзор или хотя бы консультации?

А. Н.: Да, действительно, наш отдел продаж вместе с любой крупной партией изделий обязательно высылает подробные инструкции по их монтажу. Сами по себе технологии их уста-



новки не так уж и сложны. Если предельно во всем тщательно разобраться и ответственно подойти к делу, то подрядчик вполне может возвести сооружение самостоятельно. Но проблема заключается в том, что некоторые не считают нужным разбираться в нюансах и соблюдать все рекомендации «Маккаферри». А вот авторский надзор как раз и позволяет

своевременно выявлять и ликвидировать недоработки. Но при этом обучение наших технологиям сотрудников компаний, нанятых заказчиком, может позволить им впоследствии самостоятельно вести проекты по возведению сооружений из продуктов «Маккаферри» и обучать этому своих коллег. Только так можно минимизировать риски. **и**

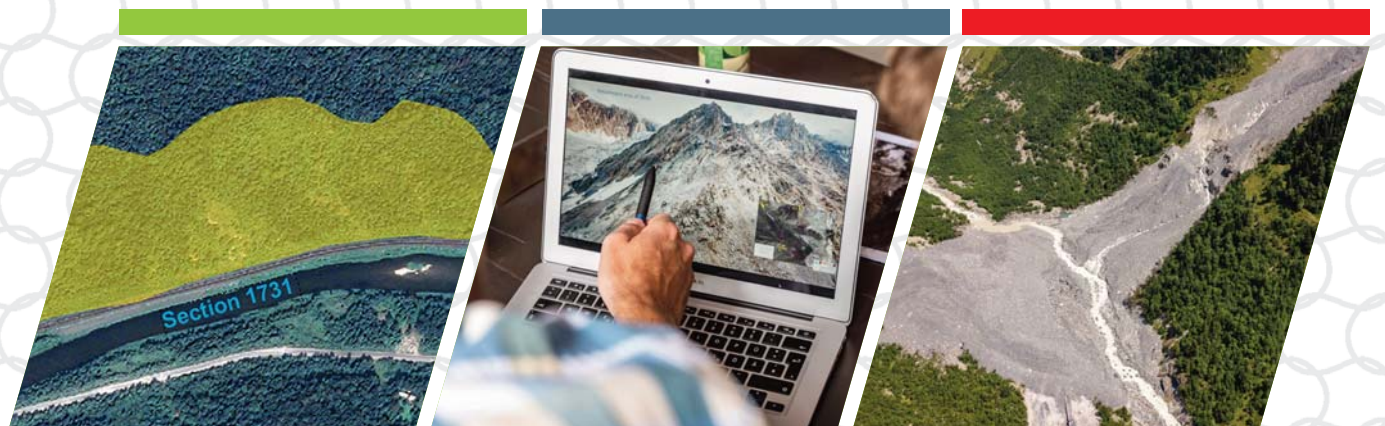


Mountain
Risk
Consultancy

ЗАЩИТА ОТ ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ И СНИЖЕНИЕ РИСКОВ ПОСЛЕДСТВИЙ КАТАСТРОФ



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



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





ГРУНТОВЕДЕНИЕ И МЕХАНИКА ГРУНТОВ ДОПОЛНИЛИ ДРУГ ДРУГА. В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ ПРОШЛИ XXIII СЕРГЕЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ

МИХАИЛ ВАСИН
Обозреватель

31 марта – 1 апреля в Санкт-Петербурге Институт геоэкологии РАН после почти трехлетнего перерыва провел XXIII Сергеевские чтения. Мероприятие получилось, с одной стороны, очень позитивным, а с другой – информативным и интересным. Все участники отметили, что в этом году из чисто научной конференции Сергеевские чтения превратились в научно-практический форум. И действительно, приглашенные докладчики выступили по темам, связанным с механикой грунтов и геотехникой. И такое расширение темы оказалось очень удачным. Все подробности в статье.

В кулуарах XXIII Сергеевских чтений генеральный директор ООО «Геоцентр МГУ» Михаил Никитин очень точно пошутил, что научная конференция отличается от практической тем, что на научной ни у кого нет бейджей. Действительно, среди, наверное более 100 очных участников, приехавших в зал отеля Азимут в Санкт-Петербурге, было очень мало незнакомых лиц. От того атмосфера получилась удивительно камерной и дружеской. Сергеевские чтения именно тем и хороши.

Впрочем, несмотря на отсутствие бейджей, в этом году традиционно научный форум серьезно изменил свой формат. Прежде всего, чтения прошли не в Москве, а в Санкт-Петербурге – организаторы выбрали, возможно, один из лучших залов – расположенный на 18 этаже отеля, с огромными панорамными окнами и просто потрясающими видами. Последнему, кстати, очень способствовала погода – оба дня в Северной столице светило солнце.

К научным выступлениям по грунтоведению добавилось несколько интересных и при этом исключительно практических докладов, сделанных приглашенными специалистами в области механики грунтов, геотехники, морских исследований – Алексеем Шашкиным, Анатолием Мирным, Андреем Локтевым и другими.

Наверное, именно к такому симбиозу теории и практики и стремился в этом году организатор конференции, директор ФГБУН «Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН» Евгений Вознесенский. Выступая с первым докладом «Новые методические задачи и походы в изучении грунтов», профессор показал важность такой работы как с научной, так и с практической точки зрения.

Это, кстати, в беседе с нашим корреспондентом подчеркнул и генеральный директор ООО НПП «Геотек» Илья Идрисов. В этом году компания впервые привезла на эту конференцию свое оборудование и нашла интересную аудиторию. «Мы никогда не участвовали в чисто научных мероприятиях, потому что наша компания все-таки занимается инновационной практической работой, хотя и тесно связанной с научной деятельностью. Однако в этом году мероприятие расширило формат, здесь появились не только научные, но практические доклады по теме грунтоведения. И поэтому мы считали, что и нашей компании, наше-





му оборудованию есть здесь место. И, как мне кажется, наше присутствие, демонстрация нескольких приборов тоже помогло придать практическое значение конференции. При этом сегодня здесь много наших клиентов, в том числе тех, кто находится чуть впереди основной массы пользователей и с кем мы работаем над развитием оборудования и технологий исследования грунтов. Поэтому нам здесь очень интересно, мы получаем важную обратную связь», - рассказал он.

При этом И.Идрисов отметил, что многие доклады на конференции, а также кулуарное общение, касались именно вопросов развития технологий изучения грунтов, что само по себе очень важно и полезно. Он особо отметил выступление Евгения Вознесенского, посвященное развитию и совершенствованию методов исследований грунтов. «То, как профессор Вознесенский формулирует направления развития грунтоведения и механики грунтов, очень совпадает с нашими целями в части развития оборудования. Это, прежде всего, дальнейшее повышение точности, качества и информативности испытаний, а также проведение исследований на уровне малых деформаций», - подчеркнул он.

Медаль профессору Болдыреву ►

Засвидетельствовал, что время для совместного развития грунтоведения и механики грунтов настало, еще один яркий момент конференции, отмеченный всеми специалистами, с которыми нам удалось пообщаться. Речь идет о вручении медали имени Е.М. Сергеева за вклад в развитие инженерной геологии Геннадью Болдыреву – строителю по образованию и практикующему геотехнику, директору по научной работе и инновациям НПП «Геотек». По мнению доцента геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова Анатолия Мирного, «это означает, что начинается обмен мнениями между геотехниками и изыскателями, между грунтоведами и специалистами в области механики грунтов».

Впрочем, вклад Геннадия Григорьевича в развитие инженерной геологии сложно переоценить.

«Любому специалисту для того, чтобы выполнять свою работу хорошо, нужны инструменты. А Геннадий Григорьевич предоставил эти самые инструменты инженерам-геологам, причем самого разного уровня для самых

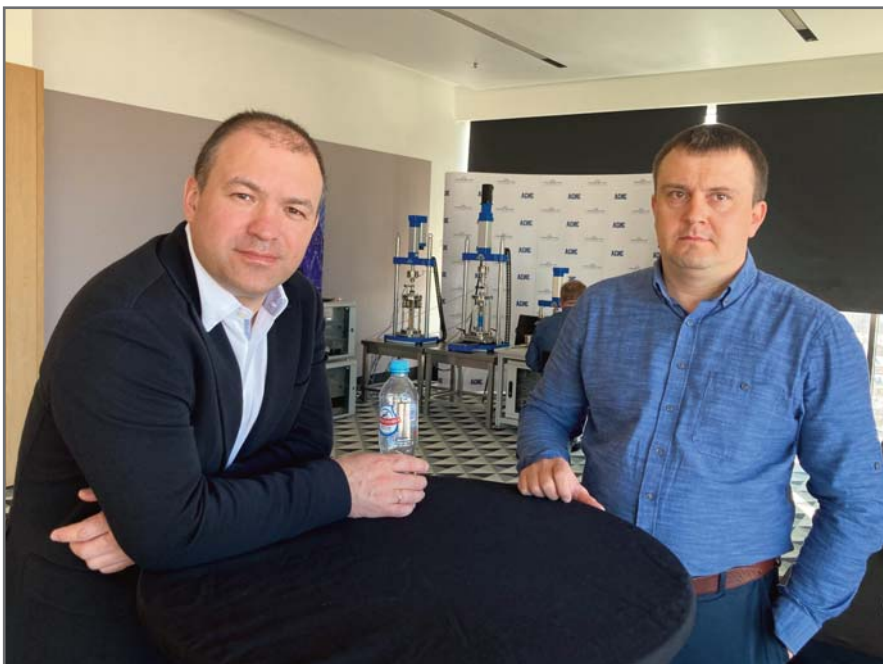
разных задач – как для исследовательских, так и для исключительно производственных. Именно НПП «Геотек» оснастило большинство российских лабораторий качественным, функциональным оборудованием. Таким образом они создали базу для экспериментального изучения свойств грунтов на много лет вперед», - считает Анатолий Мирный.

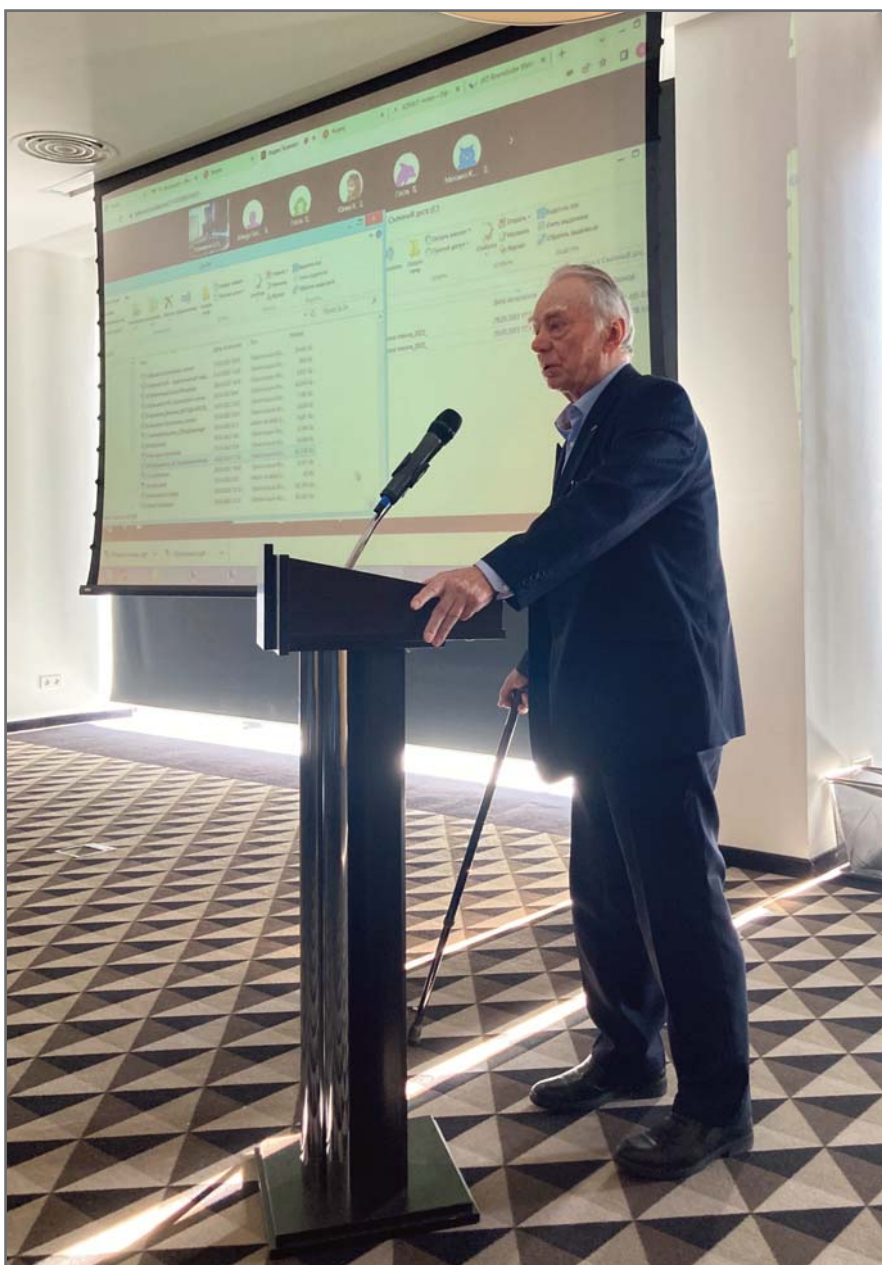
Согласен с этим и генеральный директор ООО «Петромоделинг» Алексей Бершов. «Инженеры-геологи, грунтоведы видят и понимают природу, но это должно быть доведено до математических решений. И эта линия ни у кого из присутствующих специалистов не вызвала отторжения. Потому что это две стороны одной большой интересной системы. И это, кстати, подчеркивает факт вручения медали им. Е.М. Сергеева за вклад в развитие инженерной геологии практикующему геотехнику, специалисту по механике грунтов профессору Болдыреву. Я уверен, что это абсолютно заслуженно. Если бы не люди, которые работают в НПП «Геотек», если бы не приборы, которые они разрабатывают и производят уже много лет, инженерная геология в части лабораторного изучения грунтов потеряла бы очень многое, а возможно и вовсе остановилась бы в развитии», - отметил он в разговоре с нашим корреспондентом.

Сам лауреат сказал, что для него было полной неожиданностью получить столь весомую награду. «Мы работаем уже больше тридцати лет, начали еще в Советском Союзе оснащать лабораторными приборами организации, занимающиеся инженерно-геологическими изысканиями. Конечно, за это время мы накопили огромный опыт, много сделали для практического внедрения приборов и новых методов для испытаний грунтов. Наверное, все это и стало причиной того, что уважаемое сообщество геологов решило меня представить к столь почетной награде. Хотя, конечно, я не геолог, а строитель, больше занимался механикой грунтов. Но, по всей видимости, научился и геологии, работая бок о бок с профессионалами в этой области», - рассказал нам Геннадий Болдырев.

Новые подходы для совместной работы ►

Конечно, научное значение прошедшей конференции описать в редакционной статье невозможно, да у нас и нет такой задачи. Для ученых и





профильных специалистов специально был издан сборник трудов, где все желающие могут ознакомиться с содержанием сделанных докладов. Тем не менее, совсем обойти этот вопрос стороной мы не можем. Ведь он также напрямую касается необходимости сближения грунтоведов и геотехников. Именно это подчеркнул в своем выступлении в конце первого дня научный руководитель Института геоэкологии, академик РАН Виктор Осипов. По его словам, на сегодняшний день наблюдается сближение геотехники и инженерной геологии, что очень здорово. Специалисты этих двух направлений многое заимствуют друг у друга. Развиваются методы прогнозирования, моделирования для применения в компьютерных расчетах. Но вместе с тем, и это очень большая проблема, для изучаемых процессов до сих пор не получается раскрыть их физическую сущность. Процессы рассматриваются с технической точки зрения, а физическая суть не известна и не используется в моделях. «Буквально на первой лекции профессора Сергеева я услышал от него, что свойства грунтов зависят от генезиса. Эту фразу он повторял на каждой лекции. Проблема в том, что пока мы не узнаем физической сути происходящих процессов, мы никогда не сможем сделать грамотный проект», - отметил академик.

В развитие этой мысли он особо подчеркнул, что и грунтоведам, и геотехникам необходимо использовать в работе научную теорию литогенеза. «В процессе литогенеза за многие тысячи лет формируется грунт. Именно это определяет то, что грунт – это динамичная, непрерывно изменяющаяся система, он не может оставаться неизменным. Наши попытки найти давление, при котором деформации грунта прекращаются, не имеют смысла, потому что это невозможно, такого состояния не существует. Нет предельного напряжения, после которого прекращаются деформации грунта. Потому что литогенез идет непрерывно».

Кстати, именно этому был посвящен доклад Анатолия Мирного, который без преувеличения вызвал огромный интерес аудитории. Представитель Московского государственного университета рассказал о том, что те параметры физико-механических свойств, которые в настоящее время используются, пришедшие из механи-



ки сплошной среды, не отражают физического смысла происходящих описываемых ими процессов.

«Фактически с их помощью специалисты описывают поведение черного ящика, пытаются описать реакцию грунта на некоторое воздействие. Применяющиеся подходы позволяют получать достоверные данные, но только в каждом конкретном случае, без возможности экстраполировать полученные знания. То есть не рождается никакого нового знания, специалисты по-прежнему не всегда понимают, почему в той или иной ситуации грунт ведет себя так или иначе», - пояснил он нам.

Энергетический подход, который предложил Анатолий Мирный, разделяет различные процессы, происходящие в грунтах, с энергетической точки зрения. Он позволяет описать отдельные процессы с помощью энергетических параметров. Проанализировав каждый параметр, можно понять, например, что один из них отвечает исключительно за внутреннее трение,

другой – за работу контактов различной природы, третий зависит от granulометрического состава, то есть от тех физических параметров грунта, которые как раз исследуются в грунтоведении. Вероятно этот подход может стать определенным мостиком между прикладными расчетами в механике грунтов и его особенностями, как физического тела, которые изучает грунтоведение.

Комментируя нам данный доклад, профессор Вознесенский отметил, что заслуга А.Мирного заключается в том, что «он известный в целом энергетический подход к оценке работы материалов, в том числе, грунтов, очень квалифицированно применил к грунтам для решения тех задач, для которых это ранее не применялось. И показал связь с другими решавшимися задачами. И при этом у него получилось действительно новое знание, и тут открываются очень интересные перспективы».

Ну а правильность выбранного Евгением Вознесенским формата кон-

ференции еще раз нам подчеркнул геотехник, доктор технических наук Алексей Шашкин. По его словам, «инженерная геология и грунтоведение – это то, от чего мы зависим напрямую в своих расчетах, в своих представлениях о том, как работает грунтовая среда. Поэтому тут благодаря докладам коллег происходит и расширение сознания, и углубление знаний».

Новый формат удался ►

Подводя итоги, хочется еще раз отметить, что переформатированные Сергеевские чтения, прошедшие после практически трехлетнего перерыва из-за действовавших в мире ограничений, вызвали не только большой интерес участников, но и принесли радость от общения с коллегами в прекрасном зале в замечательном Санкт-Петербурге. Организаторами явно было приложено много усилий для того, чтобы именно так и получилось. И за это им отдельная благодарность! **И**



ИЛЬЯ ИДРИСОВ: РАССМАТРИВАЕМ ВАРИАНТ КОНТРАКТНОГО ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОНИКИ В КИТАЕ

Сегодня, когда наша страна оказалась в условиях жестких санкций, многие производители оборудования столкнулись с серьезными проблемами. Ведь практически у всех так или иначе часть комплектующих поставлялась из западных стран. Соответственно, теперь сроки поставок значительно выросли, стоимость увеличилась иногда в разы, а часть деталей и оборудования и вовсе оказалась под запретом.

В такой ситуации оказался и основной производитель оборудования для геотехнических лабораторий нашей страны НПП «Геотек».

Мы поговорили с генеральным директором организации Ильей Идрисовым о том, с какими трудностями столкнулась компания и как будет их преодолевать.

Ред.: *С какими сложностями НПП «Геотек» столкнулось после введения западных санкций?*

И.И.: В первые же дни после введения санкций мы столкнулись с проблемой доступности импортных комплектующих. Из всего объема деталей, которые используются в нашем производстве, примерно 40% импортные, половина из которых поставляется из Европы. Наши европейские поставщики практически мгновенно объявили о приостановке поставок в связи с пересмотром цен и сроков доставки. Да и вообще появились сомнения, что поставки будут возможны.

И действительно, спустя две недели самой меньшей проблемой стало серьезное подорожание – от 40 до 300%. Это просто привело к росту наших затрат и, соответственно, повышению себестоимости конечной продукции. Значительно возросли сроки доставки. Грузовое автомобильное и авиационное сообщение с большинством стран сейчас у России отсутствует. То, что раньше мы завозили напрямую, теперь приходится поставлять через третьи страны, например, Казахстан. Соответственно, это серьезно увеличило риски при транспортировке и добавило еще какой-то процент к стоимости.

Третья проблема – самая серьезная. На часть комплектующих был введен жесткий запрет на импорт в Россию. У НПП «Геотек» в списке импортных комплектующих более 1000 позиций, из них 400 поставляются из Европы. 40 единиц – оказались под полным запретом из-за санкций или личных взглядов поставщиков –

последние часто даже не идут ни на какой контакт. И вот из-за этих 10% европейских комплектующих нам, возможно, придется в будущем приостановить производство отдельных приборов.

Ред.: *Какие приборы пока невозможно выпускать?*

И.И.: У нас производится три линейки приборов. Первая – наиболее простая, связанная с серийным производством и предназначенная для массовых лабораторий. Это оборудование практически не страдает из-за санкций, потому что не требует сложной автоматизации, тонкой механики. А вот оборудование, выпускаемое для исследовательских целей, включая приборы для динамических испытаний, для испытаний в условиях резонансной колонки, сложные стабилометры и т.д., оказалось в зоне риска.

Ред.: *Неужели этим комплектующим невозможно найти замену в России или даже в Китае?*

И.И.: Вся приводная техника – двигатели, линейные приводы и пр. закупается нами из Китая или Тайваня. С этим сложностей, соответственно, нет. Даже когда Тайвань отказался продавать оборудование, мы нашли способ решить этот вопрос. Радиоэлектронную и измерительную аппаратуру, к сожалению, так легко не заменить. Хотя я знаю, что в России определенные компоненты производятся для военных нужд, но срок поставки достигает одного года, что, конечно, нам не подходит.

Повезло, что в этом году в январе мы заказали электронные компоненты

на год вперед, и в этом плане вполне защищены, хотя с некоторыми микросхемами есть проблемы.

Что делать в 2023 году еще не знаем. Рассматриваем два варианта. Первый – контрактное производство в Китае. Поставки оттуда пока запрещать не планируем, поэтому это может стать выходом.

По измерительным датчикам, многие из которых поставлялись из Европы, однозначного решения пока нет. Особенно это касается сложных датчиков погружного типа, которые используются для динамических установок.

Третья группа комплектующих – это мелкие детали: всевозможные фитинги, разъемы, ручки и пр. С этим сложностей мы не ожидаем, поставщики все обязательства готовы выполнять, правда с удлинением сроков.

Ред.: *Как все эти сложности скажутся на конечной стоимости оборудования в этом году?*

И.И.: К сожалению, цены мы вынуждены поднимать и с этим ничего нельзя сделать, т.к. стоимость на комплектующие в среднем выросла на 50%. И, несмотря на восстановившийся курс рубля, тенденции к снижению стоимости нет. Понятно, что в долгосрочной перспективе цены у поставщиков не смогут сохраняться высокими, но до этого момента должно пройти какое-то время. Все это привело к повышению стоимости оборудования в среднем на 25%. Стандартные серии подорожали меньше, а сложные исследовательские приборы, соответственно, больше.

Ред.: *Вы планируете какие-то сокращения для того, чтобы поддерживать компанию?*

И.И.: Мы планировали в этом году строительство нового производственного корпуса. Эти инвестиции были отложены. Однако пока не сокращаем инвестиции в опытно-конструкторские работы. У нас в этой области запланировано 15 проектов. Людей также пока не сокращаем, но с подходом «не до жиру быть бы живы». То есть зарплаты остаются на прежнем уровне, без индексации. Наша главная задача – сохранить потенциал компании, и мы приложим к этому все усилия. Будем надеяться, что заявленную руководством страны задачу не выживать, а стремительно развиваться получится реализовать, и наше оборудование будет по-прежнему востребовано. **И**





НЕТВОРКИНГ-СЕССИЯ ДЛЯ ИЗЫСКАТЕЛЕЙ И ПРОЕКТИРОВЩИКОВ: КАК ВЛИЯТЬ НА ГЛОБАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ

ЛЮДМИЛА ДЬЯЧЕНКО
Специальный корреспондент

В марте в онлайн формате состоялась первая нетворкинг-сессия, организованная Павлом Сёмочкиным – соучредителем изыскательской компании «Гектар Групп» и основателем Telegram-канала «ПИР на весь мир». Для проектно-изыскательской сферы это совершенно новый формат. Собравшиеся специалисты обсудили будущее проектно-строительной отрасли, поделились своим видением ситуации и планами по дальнейшей работе в реалиях российского рынка и санкций. В рамках трех раундов нетворкинг-сессий участники за короткое время познакомились с новыми для себя людьми, попытались найти ответы на свои вопросы, исполнителей или заказчиков.

Новая мировая повестка непредсказуема. Соучредитель изыскательской компании «Гектар Групп» и основатель Telegram-канала «ПИР на весь мир» Павел Сёмочкин считает, что стопроцентно можно влиять только на себя и своё ближайшее окружение, тем самым меняя мир вокруг.

Свою идею он реализовал в виде нетворкинг-сессий «Будущее проектно-строительной отрасли». Первая состоялась в марте в онлайн-формате. Вторая планируется на апрель, и потом будет еще много встреч онлайн и офлайн в Москве или в других городах, если местные специалисты сами договорятся собраться.

Приглашения на первую встречу распространяли среди подписчиков рассылки «Гектар Групп» и канала «ПИР на весь мир». Собралось порядка 70 человек из разных городов. Все они остались в отдельном Telegram-чате и до сих пор продолжают обмениваться информацией и впечатлениями, подтверждая тем самым силу профессионального нетворкинга.

Мартовская онлайн-встреча на платформе «Зум» длилась два часа и состояла из выступлений четырех спикеров и трехкратной разбивки слушателей по онлайн-комнатам. В комнатах каждый раз оказывались новые люди, представлялись, рассказывали откуда они и что им интересно.

Корреспондент «ГеоИнфо» также поучаствовал в нетворкинге. Дальше расскажем о самых интересных моментах встречи.

Доверять отечественному ПО ▶

В числе выступающих был руководитель продукта nanoCAD компании «Нанософт» Сергей Спиринов. Он затронул проблему зарубежного и отечественного софта.

Ситуация острая, и будущее российского бизнеса зависит от того, как быстро он сумеет перестроиться. Из-за санкций многие западные IT-компании ушли с нашего рынка или закрыли даже оплаченный доступ к облачным платформам. И хотя для некоторых пользователей это чуть ли не крах карьеры, бизнеса и жизни, Спиринов не видит здесь никакой катастрофы.

Вот цитата из его выступления: «Процесс перехода на российское ПО потребует времени и сил, но этого не нужно бояться. Есть nanoCAD – российская платформа для проектирования и моделирования. У nanoCAD не-

сколько программных продуктов, начиная от грубой замены AutoCAD, как средства для редактирования чертежей в формате dwg, до различных приложений в части BIM-проектирования и отдельных решений. В части BIM есть «nanoCAD BIM-Конструкции» – альтернатива Revit, «nanoCAD Инженерный BIM» – это шесть продуктов проектирования, куда входит электротехническая часть, слабые токи, водоснабжение, водоотведение, вентиляция, система отопления».

Словом, на каждый случай есть аналоги, позволяющие совершить переход на российское ПО без потерь. И уже есть реальные кейсы. Конечно, потребуется время для переноса файлов, адаптации сотрудников. Спиринов подчеркнул, что отечественное ПО, в отличие от зарубежного, никто не забереет, техподдержка всегда ответит на русском языке.

К импортозамещению в сфере ПО давно шли. Никто не знал, когда и как это произойдет, и вот случилось. Ассоциация разработчиков программных продуктов «Отечественный софт» была создана еще в 2009 году, она готова помогать российскому бизнесу.

Генеральный директор компании «ЖилПромПроект», член экспертного совета по строительству Госдумы РФ Мария Илюхина подтвердила, что западные партнеры повели себя жестко и отключили россиян даже от оплаченных технологий BIM. Пользователи лишились доступа к облачному хранилищу файлов, ежедневным рабочим инструментам. Однако она не увидела в этом катастрофы.

BIM в полном комплекте, по мнению Илюхиной, даже не нужен, потому что дорог, объемов, а программы долго грузятся. Вдобавок вследствие санкций изменилось российское законодательство, которое требовало повсеместное использование BIM-технологий в строительстве и проектировании. Теперь это всего лишь один из рабочих инструментов специалистов.

Видеть возможности ▶

Следующая тема, поднятая на нетворкинге, – отношение к кризису. Популярно, например, мнение, что событий, подобных нынешним, никогда не было, перспектива неизвестна. Есть и другой вариант – считать, что перед нами очередной кризис, следовательно, есть опыт преодоления.

Партнер ГК «Смарт инжиниринг» Алексей Никитин сказал, что в 2020 го-

ду, когда объявили пандемию, тоже было ничего непонятно, но предприниматели все равно что-то делали: меняли продукты, модернизировали цепочку подрядчиков, чтобы влиять на сроки. Тогда строительные объекты не замораживались, и сейчас это коснется разве что самых дорогих, ведь заморозить строительство дороже, чем завершить.

Вряд ли будут остановлены стройки с госучастием, отменены строительные планы, поэтому предпринимателям надо быть готовым быстро перейти на другие рельсы, особенно если не работали с госструктурами.

А, например, Мария Илюхина помнит кризисы 1998, 2004, 2008, 2014 годов. Она только пришла в бизнес в 90-х, и сразу грянуло испытание в виде резкого подорожания доллара и падения рубля. Нынешний кризис для нее очередной, и, как она предполагает, такова наша новая реальность – постоянные кризисы. По предположению Илюхиной, сейчас будет хорошо чувствовать себя промышленность, и в этой нише могут найти себе надежных заказчиков проектировщики и изыскатели.

Стоит беречь кадры, не ухудшать условия труда, чтобы не растерять людей. Кто-то из лучших сам не уйдет в крупную фирму, потому что там уже нет высоких зарплат, и даже сокращают персонал.

Еще идея. Поскольку искать работу будут и бывшие сотрудники международных консалтинговых фирм, можно пригласить такого специалиста и открыть новое бизнес-направление – консалтинговое, разнообразить свои услуги, увеличить чек.

Развивать гибкость ▶

Организатор нетворкинга Павел Сёмочкин также обозначил свое отношение к геополитике и дал свои рекомендации слушателям.

По его мнению, не следить за новостной лентой нельзя. Мы не можем изменить новости, но способны влиять на степень негатива, который потребляем и испытываем, это и есть гибкость мышления и поведения.

Реальность непростая. Вследствие мировых событий проекты, которые должны были стартовать в февралемарте, замерли. Заказчики не спешат платить за выполненную работу. Подорожали стройматериалы, иностранные работники уезжают, несмотря на снятие пандемических ограничений. Падает платежеспособный спрос, уходят иностранные инвесторы.

Все это можно обозначить словом стресс. Сценарий человека в стрессе – драться, замирать или бежать. По мнению Сёмочкина, оптимально быстро бежать, отказаться от перфекционизма, соблюдать цифровую гигиену, обратить внимание на госзакупки, обраться новыми знакомствами, и личные связи помогут выжить.

Общаться продуктивно ►

Участники мартовского онлайн-нетворкинга искали не только новых

единомышленников. Они хотели найти ответы на какие-то свои внутренние вопросы, понять, что будет с отраслью.

У команды «ПИРа» много идей, как активизировать очное и виртуальное общение. Возможно, будет изобретен какой-то новый вид нетворкинга, специально для проектировщиков и изыскателей, в котором есть что-то от мастермайндов, деловых клубов, бизнес-встреч.

«Общение обязательно должно

быть приятным и продуктивным. Если это есть, значит, цель достигнута», – подчеркнул Павел Сёмочкин. Профессиональные нетворкинги, по его наблюдениям, позволяют завести долгосрочные знакомства, в отличие от бизнес-мероприятий для всех.

Всю информацию о предстоящих событиях можно найти на канале «ПИР на весь мир» и чатах от этого канала. Здесь же опубликованы тезисы выступлений с прошедшей встречи. **и**

Независимый электронный журнал ГеоИнфо

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



WWW.GEOINFO.RU



Институт
экологического
проектирования
и изысканий

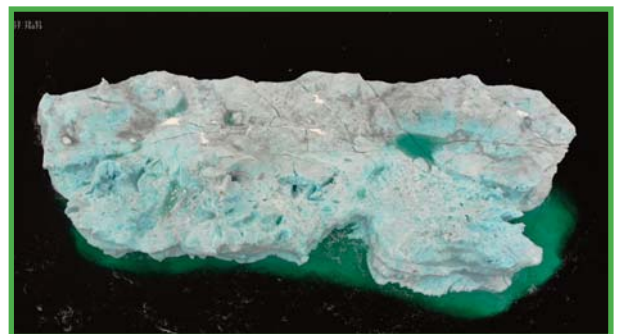
- Информационное сопровождение управления ледовой обстановкой (ИСУЛО)
- Оперативный спутниковый экологический мониторинг
- Производственный экологический мониторинг
- Программы сохранения биоразнообразия

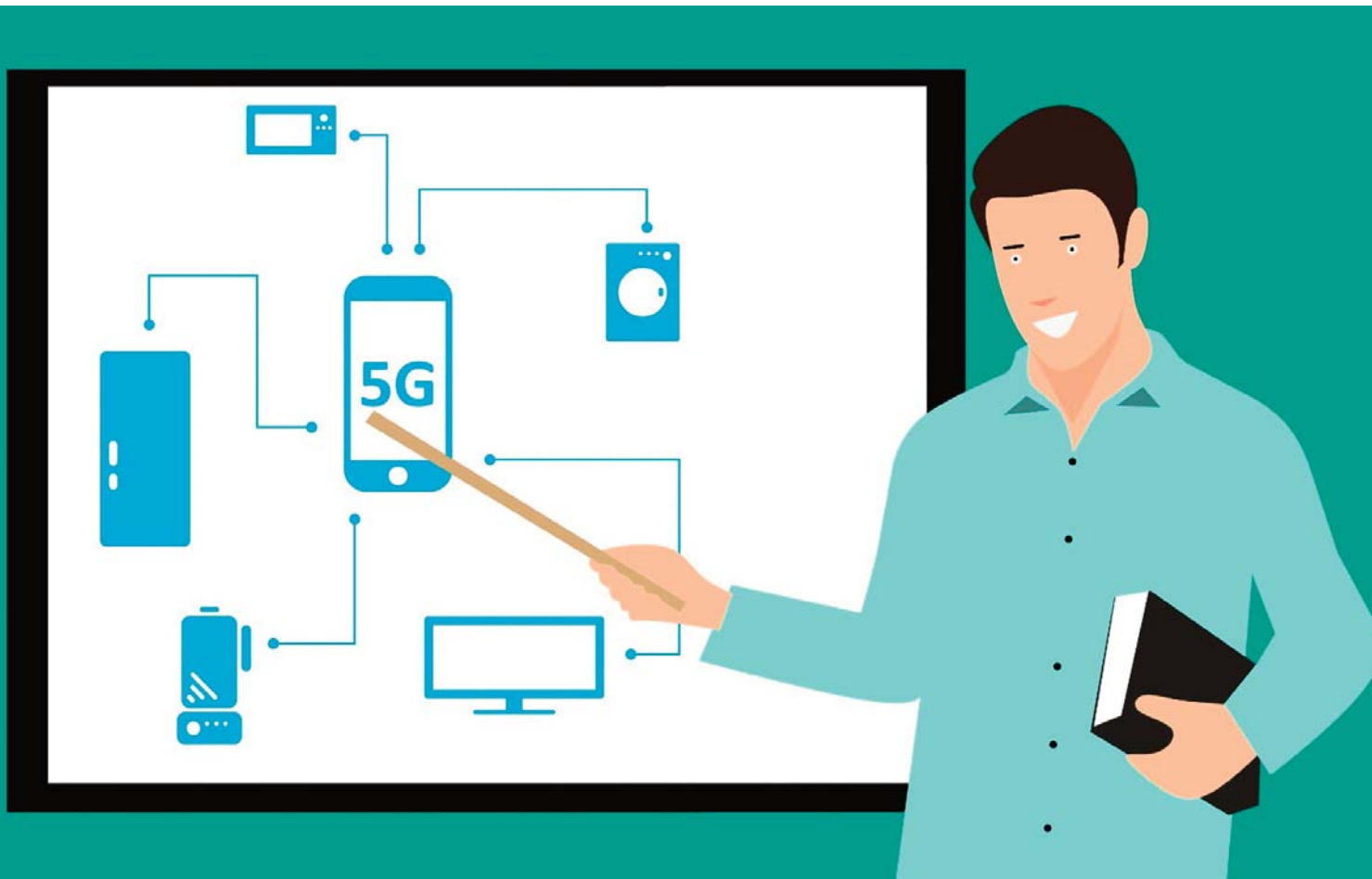


119234, г. Москва,
Ленинские горы, д. 1, стр. 75Г
Телефон: +7 (495) 930-8751
E-mail: info@iepi.ru

WEB: WWW.IEPI.RU

®  Институт экологического проектирования и изысканий ИЭПИ зарегистрированный товарный знак





ТЕОРИЯ ПОКОЛЕНИЙ: ЧЕМ 20-ЛЕТНИЕ СОТРУДНИКИ ОТЛИЧАЮТСЯ ОТ ТЕХ, КОМУ 30, 40 И 50 ЛЕТ

ЛЮДМИЛА ДЬЯЧЕНКО
Специальный корреспондент

Сегодня бизнесу, ориентировал ли он на поддержание стабильности или на прорыв, нужны гибкие и простые решения, смелость отказываться от старых идей и реализовывать новые.

При этом еще нужно, чтобы сотрудники сохраняли высокую мотивацию, работали с высокой отдачей, а клиенты получали качественный результат. И надо, чтобы конкуренты не опередили или не отобрали часть рынка.

Один из инструментов достижения целей – теория поколений, которую разработали американцы Уильям Штраус и Нил Хоув. Они выпустили в 1991 году книгу «Поколения» и, вероятно, хорошо вложились в ее раскрутку, потому что во многих странах, в том числе в России, теория стала предлагаться бизнесу как передовой инструмент управления человеческими ресурсами.

Хотя на практике оказалось все не так звездно, и академические ученые раскритиковали теорию поколений, мол, слишком много обобщений, нет доказательной базы, она обросла поклонниками. Некоторые предприниматели строго ей следуют, а бизнес-консультанты рекомендуют ее клиентам для коммерческого прорыва.

Корреспондент «ГеоИнфо PRO» поучаствовал в онлайн-мероприятии такого коуча и расспросил читателей портала, что они думают о разнице поколений и необходимости нанимать новых сотрудников без опыта.

Онлайн-диалог с предпринимателями из разных регионов России и стран СНГ инициировал Центр финансовой грамотности Южного федерального университета. Коуч Дмитрий Воликов рассказал, откуда непонимание между молодыми и умудренными жизнью сотрудниками, и рассказал о некоторых возможных шагах для развития бизнеса.

Молчуны и беби-бумеры ►

Согласно теории, одно поколение – это люди, живущие в определенных исторических условиях на отрезке времени примерно в 20 лет. События влияют на граждан, и если руководитель это учтет, ему будет проще направить подчиненных в нужное русло.

Родившихся в 1924-1944 годы авторы теории назвали молчаливым поколением. На их долю выпала вторая мировая война, суровые времена «не дай бог что лишнее скажешь». Представители той эпохи предпочитали не высказывать свое мнение, молчали и очень бережно относились к вещам, потому что хорошо знали, что такое дефицит.

Появившиеся на свет с 1945 по 1966 годы – беби-бумеры. После войны экономика восстанавливалась, шла на взлет, люди стремились к звездам и много работали на благо светлого будущего. Из руин поднимались города, строились электростанции, государство призывало: «Пятилетку – досрочно!», и действительно пятилетние проекты выполнялись за три года.

Не случайно среди людей тех лет рождения много депутатов, губернаторов, директоров, чиновников на руководящих должностях. Но в массе население жило скромно, в дефиците, люди продолжали беречь и ценить вещи, новое не покупали без особой необходимости.

Иксы, игреки, зеты ►

Поколение X (иксы) – граждане 1967-1984 годов, основная масса ныне работающих. К слову, рубежи поколений, по разным источникам, могут отличаться на три-пять лет, и родившиеся в это время люди обладают чертами смежных поколений.

Иксов называют потерянными поколением, потому что родители много работали, и дети были предоставлены сами себе. Зато они привыкли сами со всем справляться, некоторые стали фарцовщиками, а позже первыми предпринимателями. А вот дети их не

такие, потому что иксы устремились дать наследникам все, что, по их мнению, недополучили в детстве.

Игреки (поколение Y) – избалованное поколение. Их родители предоставили им максимум возможностей для реализации, этим и объясняется, что, когда такой человек приходит на работу, он не хочет вкладываться в перспективу. Ему не важно, что будет потом, ему надо все здесь и сейчас.

Поколение Z, они же зеты, цифровое поколение, поколение «соцсетей», миллениалы и миллениумы, родились в 2000 и позже. Поскольку у них с детства есть все, они не ценят материальные блага.

Особенности работы с иксами и игреками ►

По словам Дмитрия Воликова, представителей каждого поколения надо мотивировать по-своему.

Поскольку иксы захватили время, когда страна трудилась ради светлого будущего, то работать такой человек будет с большей охотой и отдачей, если будет видеть перспективу. Перспектива в данном случае – не компания, а личная в рамках компании.

Иксы хорошо реагируют на премии, возможности роста зарплаты, социальные блага, карьерное продвижение. Если иксы видят, что начальство их ценит, они готовы работать сверхурочно и в выходные дни бесплатно. Боятся увольнений, потому что помнят, что творилось с профессиями и рынком труда в 90-е годы.

Игрекам в отличие от иксов нужна не перспектива, а важность и ценность работы. Если новобранец не видит этого уже в первый день, он скажет, мол, пойду пообедаю, и не вернется.

Иксам нужен фиксированный график работы, а игрек хочет понимать смысл сидения в офисе. Чтобы с ним сладить, ему нужно обрисовать смысл его труда. Игреки хотят иметь во время работы время на себя, и с этим лучше согласиться.

Икса достаточно похвалить раз в месяц, дать почетную грамоту лучшего работника и фото повесить на доску почета. Игреку чаще нужна обратная связь, понимание результата труда, пространство для креатива, и тогда он горы свернет.

Особенности работы с зетами ►

20-летних сотрудников еще мало, но с каждым годом их будет все боль-

ше, и потому предпринимателю важно понимать, что это за люди, которые не знают, как это – жить без компьютера, интернета и сотового телефона.

Зеты хотят много зарабатывать, которым это уже удается. Но это не мешает им считать, что деньги – не самое важное, и работа – не главное. Часто хотят, чтобы им объяснили, зачем им вообще работать.

70% молодежи не рвется «пахать на дядю» в офисе и желает, чтобы можно было работать где угодно и не обязательно с понедельника по пятницу.

«Допустимо ли дать молодому специалисту свободу? – поделился размышлениями Дмитрий Воликов. – Думаю, да, если поставить конкретные задачи, определить результат, интересоваться, как идет процесс, обговорив контрольные точки».

По словам эксперта, зетам крайне важна положительная атмосфера в коллективе, ежедневная обратная связь и похвала, иначе они уйдут. Зеты запросто меняют одно место на другое и предпочитают арендованную квартиру, чтобы можно было быстро переехать поближе к новой работе.

Что ценят работодатели ►

Некоторые предприниматели вообще не принимают кандидатов до 30 лет и тем более без опыта, «чтобы не нянькаться». Другие обращают внимание не на возраст, а на ценности и интеллект новобранца.

«Я не беру на работу балбесов и ценю в людях стремление постоянно учиться», - сказал генеральный директор ООО «ЗВ Групп» Дмитрий Ларин (Ростов-на-Дону).

«Мы создаем комфортные условия для всех, а насколько быстро человек вписывается в коллектив, зависит от него. Поскольку важны различные экспертные мнения, приветствуем и опытных специалистов, и начинающих. Нехватка практики может компенсироваться новыми интересными идеями, которые пригодятся для развития компании», - сообщила руководитель отдела продаж ООО «Инженерная геодезия» Ярослава Никитченко (Москва).

«Из двух претендентов, высокой квалификации и начинающего, предпочту того, кто соответствует команде по духу. Тонкостям производственного процесса специалиста с профильным образованием обучить проще, чем привить несвойственные ему личностные качества. А вообще, я ценю в

сотрудниках ответственность, требовательность к себе, нацеленность на результат, усидчивость», - прокомментировала независимый эксперт Алиса Зубарева (Москва).

Осознанное использование теорий ►

По признанию Дмитрия Воликова, он задумался о разнице людей разного возраста и о теории поколений, когда ему исполнилось 40 лет. Возможно, что в молодом коллективе с юным директором таких проблем и потребностей вообще не возникает.

На крупных предприятиях, где есть специалисты разных возрастов, своя особенность. Тут неопытные видят пе-

ред собой пример и понимают, куда идти, не придумывают и не навязывают старшим собственные правила.

Подобные положительные примеры были раньше не только на каждом предприятии, но и в масштабах страны. «Это была элита инженерной геологии», - поделился воспоминаниями геолог-консультант ООО «ГеоСИМ» Николай Самусь (Волгоград).

Ценились люди, способные, решать сложные технические вопросы, своевременно принимать необходимые решения. В обществе была востребована инженерная геология, потому что страна нуждалась в безаварийном строительстве, крупном, массовом и разнообразном.

Сейчас, по мнению эксперта, такой интерес к строительству пропал, инженерная элита тает на глазах. Начинаящим специалистам не на кого равняться, и предпринимателям придется ломать голову, где взять кадры, и как ими управлять. И это одно из объяснений, почему теории по управлению персоналом обретают большую популярность, - есть спрос.

Конечно, чрезмерное увлечение любым методом может обернуться крахом фирмы, но для кого-то вот такой вариант, как теория поколений, способен послужить маяком, особенно если бизнес не развивается и не совсем понятно, куда двигаться и что делать. **и**

Независимый электронный журнал ГеоИнфо

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



WWW.GEOINFO.RU

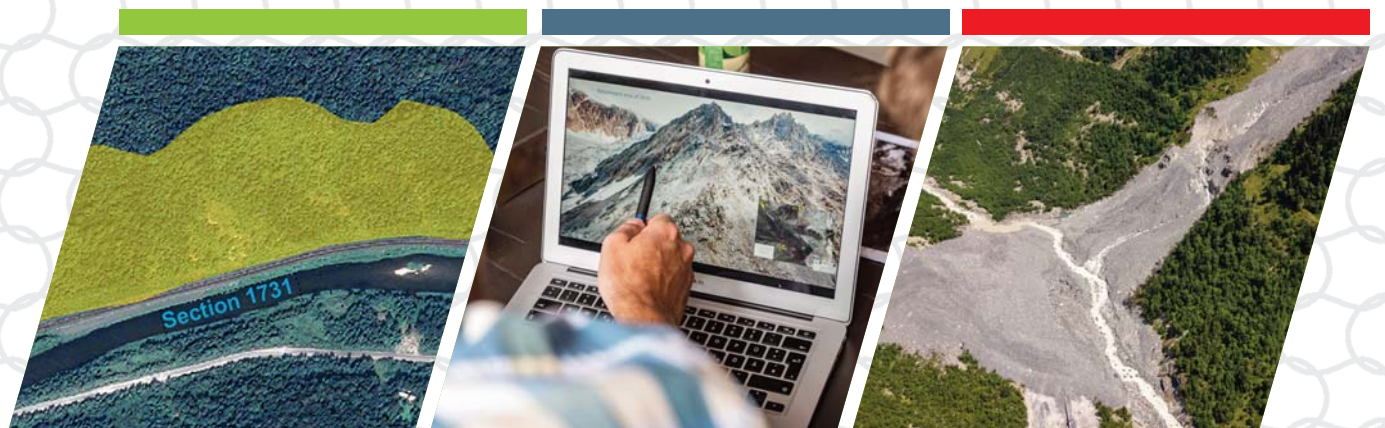


Mountain
Risk
Consultancy

ЗАЩИТА ОТ ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ И СНИЖЕНИЕ РИСКОВ ПОСЛЕДСТВИЙ КАТАСТРОФ



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



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



«ГеоИнфо» 04-2022
подписан в печать
30.04.2022

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

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

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