

**Р.Б. Баймахан<sup>1</sup>, А.К. Рысбаева<sup>2</sup>, А.А. Сейнасинова<sup>3</sup>,  
А.Р. Баймахан<sup>4</sup>, Ж.Б. Кадилова<sup>5</sup>**

(<sup>1</sup>д.т.н., проф., Институт механики и машиноведения Комитета Науки МОН РК,  
<sup>2</sup>к.т.н., асоц. профессор КазГАСА,

<sup>3</sup>Институт механики и машиноведения Комитета Науки МОН РК,

<sup>4</sup>доктор PhD, асоц. профессор, Атырауский гос. ун-т им. Х. Досмухамедова,

<sup>5</sup> PhD докторант, и.о. асоц. проф., Евразийский нац. ун-т им. Л.Н. Гумилева)

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОПОЛЗНЕВОГО СОСТОЯНИЯ СКЛОНА ГОРЫ «ШЫМ БУЛАК»**

***Аннотация.** Приводятся данные об основных причинах вызывающего оползня на горных склонах, в частности картины оползня-обвала, произошедшего вдоль дороги между плотиной Медеу и горнолыжного спортивного комплекса Шым Булак в ущелье высоких склонов Заилийского Алатау в Северном Тянь-Шане. Также предлагаются некоторые данные о физико-механических свойствах лессовых и суглинистых грунтов, с которыми сложены в основном покровные грунты этих склонов.*

*Предлагается конечноэлементная модель исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) грунтовых отложений склонов наклонно-слоистого строения с указаниями особенности применения изопараметрических элементов четырехугольной формы с четырьмя узлами произвольной формы. Оползневой склон горы моделируется конечными элементами вместе с автодорогой и нижним склоном у подножия которой течет река Кіші Алматы.*

*Излагаются результаты исследования НДС и установленные опасные места склона уязвимые к оползню.*

***Ключевые слова:** горный склон, грунт, оползень, напряжение, деформация, наклонные слои.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

В течение последнего десятилетия резко активизировались оползневые процессы в подножиях склона горы вдоль дороги Медеу – Шымбулак.

Оползни шли в виде обвала каменно-грунтовой массы, которые скользят по горным склонам. Например, такие процессы происходят на дороге Медеу – Шымбулак, которая проложена в ущелье у подножия горы Заилийского Алатау, рядом которой протекает река Кіші Алматы. На одном из участков дороги 19 мая 2009 года произошел обвал скального грунта. В бассейне этой реки снова сошел оползень около 500 кубометров и камень весом 2 тонны 3 мая в 2011 году [1], [2], [3], [4], [5]. На одной из крутых склонов 11 мая 2016 г. в результате переувлажнения грунта опять сошел каменистый оползень объемом около 700 кубических метров. Из них непосредственно на дорогу сошло порядка 200 м<sup>3</sup>. В районе новой канатной дороги произошло обрушение 15 куб. м грунта. При этом была разрушена селеулавливающая металлическая конструкция [2].

Достаточно вспомнить оползень в районе санатория «Ак Кайн», который находится почти под Алматы, где весной 2004 года погибло 29 человек [6]. Под оползневой массой остались многочисленные хозпостройки, служебные помещения и др. Этот и другие оползни, участвовавшие в новом тысячелетии, научными методами еще не изучены.

**1. ЦЕЛЬ.** Исследованиями выяснить предоползневое напряженно-деформированное состояние последнего крупного оползня-обвала «Шымбулак». Особенно обратить внимание на механизм формирования будущих возможных оползней на остальных многочисленных склонах вдоль этой извилистой дороги ущелий. Установить характерные локальные места возникновения опасных концентрации напряжений, которые являются местами возможного обрыва грунтов на склонах возникновения с применением одного из современных методов математического моделирования – метода конечных элементов (МКЭ).

## **2. АНАЛИЗ ОБВАЛА И ОПОЛЗНЯ «ШЫМБУЛАК»**

Ниже на рисунках 1 показаны место спортивного комплекса Шымбулак в горной системе Северного Тянь-Шаня вместе с рекой Кіші Алматы (рис. 1а). Стрелкой указана дорога Медеу – Шымбулак проложенная у подножия склона горы рядом с рекой. На рисунках 1 б, 1с и 1d б показаны каменные и грунтовые оползни-обвалы 2009 года, сошедшие из верхней наклонной поверхности горного склона. В ущелье между двух гор находятся многочисленные здания и сооружения санатория и спортивного комплекса Шымбулак. Места этих обвалов находятся ближе к Шымбулак.

**Результаты анализа этих оползней-обвалов позволяет установить следующие основные их причины.**

Причиной подвижки на наклонных поверхностях горной скалы Шымбулак явились продолжительные дожди, которые вызывали набухание грунта и обвала. Через три года в 2015 году воды проникали уже в толщи чередовании водопроницаемые и водонепроницаемые слои. Осадочные горные породы здесь рыхлые, неплотные. Поэтому они легко насыщаются водой, которая значительно увеличивает их вес и уменьшает связность частиц. Под действием гравитации массы грунта начинают скользить по склону.

Нарушение устойчивости склона может обуславливаться слишком большой крутизной склона. Причинами нарушения устойчивости могут быть также тектонические процессы, денудация, деятельность поверхностных и подземных вод и инженерная деятельность людей.



Рис. 1. Вид из космоса горной ущелий Шым Булак вместе с рекой Кіші Алматы и и дорогой от плотины Медеу до спортивного комплекса. Стрелкой показано место оползня.

Фотографии оползней показаны на рисунках: а – дооползневое состояние;

б – обвал 2009г.; с – обвал 2011г.; d -оползень 2015г.

### 3. КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СКЛОНА «ШЫМБУЛАК» И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.

Для перехода к математическому моделированию оползня Шым Булак (рис. 1b, 1c, и 1d), разработана следующая расчетная схема с видом Запад – Восток, которая показана на рисунке 2. Здесь красной пунктирной линией показана поверхность склона до наступления оползня, пунктирной линией голубого цвета – после оползня, то есть сегодняшнее состояние склона. Камешками и другими линиями показаны движения оползневой массы и их скопления на дороге.

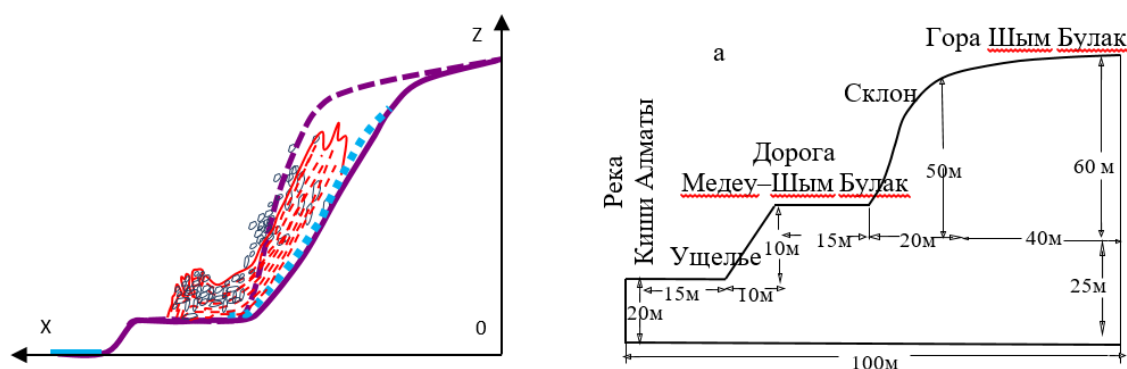


Рис. 2. Схема поперечного сечения оползня «Шым Булак», которая состоит из гранито – базальтовой скальной породы, грунтовой отложений на крутом склоне, дорогой и реки Кіші Алматы.

На рисунке 3 показана расчетная схема склона и его части с геометрическими размерами, подготовленной для математического моделирования. Здесь охвачены все реальные природные объекты с точными размерами, которые находятся вблизи оползней и обвалов, показанные на рисунках 1.

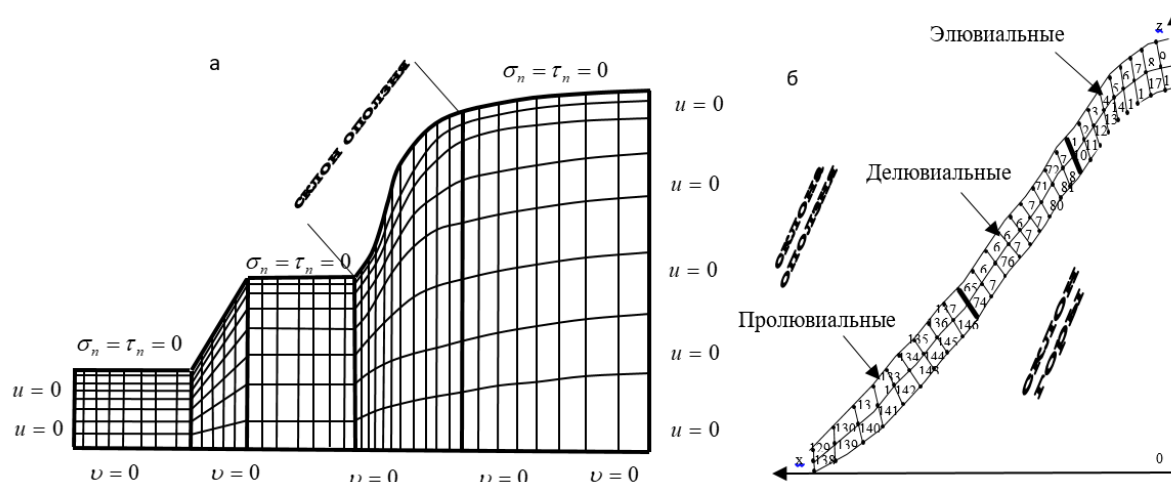


Рис. 3. Расчетная схема оползня «Шымбулак», подготовленная для моделирования методом конечных элементов.

Граничные условия задачи. Для решения этой задачи поставлены смешанные граничные условия в напряжениях и перемещениях. На двух боковых границах отсутствуют горизонтальные компоненты перемещений ( $U = 0$ ), на основании расчетной области отсутствуют вертикальные компоненты перемещений ( $V = 0$ ), везде на верхних границах – на свободной дневной поверхности отсутствуют нормальные компоненты напряжений ( $\sigma_n = \tau_n = 0$ ).

Область, показанная на рисунке 3, разбита на 1260 изопараметрические элементы четырехугольной формы с общим количеством узлов разбивки –1334. Грунты склона состоят из разновидностей суглинков полученные со смесями элювиальных, делювиальных отложений. Поэтому имеет анизотропное строение. Прочностные свойства грунтов склона приведены в таблице 1. Расчеты по определению НДС грунтов склона Шымбулак проведены алгоритмами МКЭ и программами работы [7]–[13].

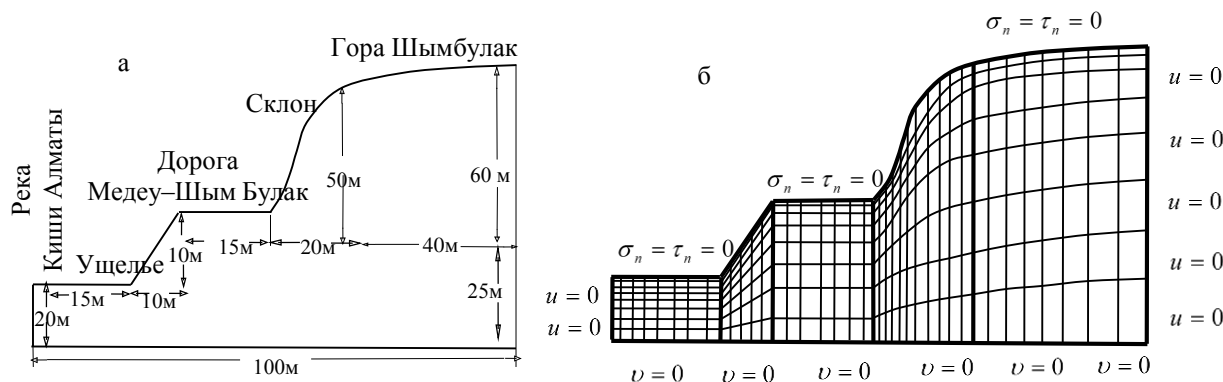


Таблица 1. Физико -механические и прочностные свойства грунтов анизотропного строения. [56]

| Грунты   | Модули Юнга, Мпа |       | Коэффициенты Пуассона |         | Модуль сдвига, Мпа | Объемный вес | Силы сцепления, Мпа |       | Углы внутреннего трения, градус |             |
|----------|------------------|-------|-----------------------|---------|--------------------|--------------|---------------------|-------|---------------------------------|-------------|
|          | $E_1$            | $E_2$ | $\nu_1$               | $\nu_2$ | $G_2$              | $\gamma$     | $C_1$               | $C_2$ | $\varphi_1$                     | $\varphi_2$ |
| Суглинок | 30.0             | 15.0  | 0.36                  | 0.24    | 7.60               | 2.00         | 0.03                | 0.06  | 19                              | 23          |
| Суглинок | 12.0             | 8.0   | 0.39                  | 0.35    | 3.40               | 0.94         | 0.010               | 0.014 | 20                              | 24          |

#### 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ АНАЛИЗЫ

Найденные основные компоненты напряжений  $\sigma_x, \sigma_z, \tau_{xz}$ , главных напряжений  $\sigma_{max}, \sigma_{min}, \tau_{max}$  и направления главных площадок  $\alpha$  для характерных зон, слоев и для элементов в систематизированном виде приведены в таблице 2.

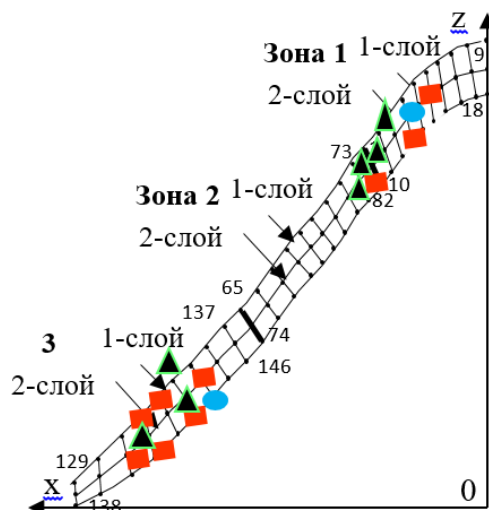
Таблица 2. Значения вычисленных напряжений, соответствующие первым двум слоям от дневной поверхности вниз по Северному склону оползня «Шым Булак», в предположения, что основание монолитно скальное

| Северный склон оползня Шымбулак |         |        |  |              |             |       |          |        |   |                |              |                          |
|---------------------------------|---------|--------|--|--------------|-------------|-------|----------|--------|---|----------------|--------------|--------------------------|
| № зон                           | №сл оев | № элем | Компоненты напряжений в элементах, Мпа |              |             | № зон | № слое в | № элем | Компоненты напряжений на главных площадках, Мпа |                |              | Главные площадки, градус |
|                                 |         |        | $\sigma_x$                             | $\sigma_z$   | $\tau_{xz}$ |       |          |        | $\sigma_{max}$                                  | $\sigma_{min}$ | $\tau_{max}$ |                          |
| I                               | 1       | 8      | -1.18                                  | -1.05        | 0.45        | I     | 1        | 8      | -0.62   | -1.53          | 0.59         | 31                       |
|                                 |         | 9      |  |              | -0.42       |       |          | 9      |   |                |              | -69                      |
|                                 | 2       | 16     | -1.67                                  | <b>-2.23</b> | -0.44       |       | 2        | 16     | -1.47   | <b>-2.16</b>   | 0.85         | 46                       |
|                                 |         | 17     |  |              |             |       |          |        |   |                |              |                          |
| II                              | 1       | 69     | 0.95                                   | -0.49        | -0.90       | II    | 1        | 69     | 1.57  |                |              | -51                      |
|                                 |         | 73     |  |              |             |       |          | 73     |   |                |              |                          |
|                                 | 2       | 77     | -1.24                                  | <b>-1.08</b> |             |       | 2        | 82     | -0.55   | <b>1.01</b>    |              | -70                      |
|                                 |         | 81     |  |              |             |       |          |        |   |                |              |                          |
| III                             | 1       | 131    | <b>-2.49</b>                           | <b>2.29</b>  |             | III   | 1        | 131    | 2.59  | <b>3.18</b>    |              | 52                       |
|                                 |         | 132    | -2.57                                  |              |             |       |          |        | 132   |                |              | <b>-3.86</b>             |
|                                 | 2       | 139    | <b>-2.61</b>                           | <b>1.82</b>  |             |       | 2        | 139    |   | <b>2.65</b>    |              | 56                       |
|                                 |         | 140    |  |              |             |       |          | -2.0   |   |                |              | 140                      |

Анализ таблиц 2 и рис. 4, показывает, что наибольшие значения как сжимающих ( $\sigma_z, \sigma_{max}$ ) так и отрывающих грунтов от состояний равновесия  $\tau_{max}$  наблюдается на границах элювиальных и делювиальных грунтов, а также у подножия склона вдоль дороги. На этих местах неоднократно шли оползни и обвалы.

Таким образом, предложенная модель, методика исследования, проведенные расчеты, полученные результаты для одного из реальных склонов Северного Тянь-Шаня показывает ее надежность.





Рис№ 4. Обнаруженные места накопления наибольших концентрации напряжений  $\sigma_z$ , (четыреугольники),  $\sigma_{max}$  (кружочки) и  $\tau_{max}$  (треугольники) на оползневом склоне горы Шым Булак

#### Источники:

1. *На ведущую к "Шымбулаку" дорогу сошел оползень обвалы.* [today.kz/news...2016-05-03/716300-na...dorogi...opolzen/](http://today.kz/news...2016-05-03/716300-na...dorogi...opolzen/)
2. *На дорогу Медео-Шымбулак в Алматы сошёл оползень* [pavlodar.city/novosti-kazakhstan/1892/](http://pavlodar.city/novosti-kazakhstan/1892/)
3. *На ведущую к "Шымбулаку" дорогу сошел оползень* [today.kz/Проишествия.../716300-na-veduschuyu-k...](http://today.kz/Проишествия.../716300-na-veduschuyu-k...)
4. Сандугаи Баймухамбетова, Мария Гареева. [informburo.kz/novosti/iz...shoda...v...na-shymbulak.html](http://informburo.kz/novosti/iz...shoda...v...na-shymbulak.html)
5. *Оползень на Шымбулаке (аудио, фото).* [nur.kz/125370-opolzen-na-shymbulake-audio...](http://nur.kz/125370-opolzen-na-shymbulake-audio...)
6. <http://www.gasu.ru/resour/photoalbum/zem3/im9.html>
7. Ержанов Ж.С., Айталиев Ш.М., Масанов Ж.К. *Сейсмонапряженное состояние подземных сооружений в слоистом анизотропном массиве.* – Алма-Ата: Наука, 1980. – С. 96-102.
8. Бугров А.К., Голубев А.И. *Анизотропные грунты и основания сооружений.* – СПб.: «Недра», 1993. – 245 с.
9. Баймахан Р.Б. *Расчет сейсмонапряженного состояния подземных сооружений в неоднородной толще методом конечных элементов /под ред. акад. НАН РК Айталиева Ш.М.).* – Алматы, 2002. – С. 18-54.
10. Qihua Ran, Yanyan Hong, Wei Li, Jihui Gao. *A modelling study of rainfall-induced shallow landslide mechanisms under different rainfall characteristics.* *Journal of Hydrology, Volume 563, 2018, p.790-801*
11. Abid Ali, Jinsong Huang, A. V. Lyamin, S. W. Sloan, J. H. Li. *Simplified quantitative risk assessment of rainfall-induced landslides modelled by infinite slopes.* *Engineering Geology. Volume 179, 2014, p. 102-116*
12. Laura Longoni, Monica Papini, Davide Brambilla, Diego Arosio, Luigi Zanzi. *The role of the spatial scale and data accuracy on deep-seated gravitational slope deformation modeling: The Roncolandslide, Italy.* *Geomorphology, Volume 253, 2016, p. 74-82*
13. Баймахан А. Р., Баймахан Р.Б. *Программа «Shymbulak» для определения места возможного оползня на склоне горы Шымбулак. Свидетельство о внесении сведений в государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом №9837 от «14» мая 2020 года.*